

Министерство образования Республики Беларусь  
Министерство транспорта и коммуникаций  
Республики Беларусь  
Белорусский национальный технический университет  
Департамент «Белавтодор»

Факультет транспортных коммуникаций  
ГП «БелдорНИИ»



**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ,  
СТРОИТЕЛЬСТВА  
И ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОРОГ, МОСТОВ И ПОДЗЕМНЫХ  
СООРУЖЕНИЙ**

Материалы  
Международной научно-практической конференции,  
посвященной 90-летию Белорусского национального технического  
университета  
21–22 октября 2010 г.  
г. Минск

В 2 частях

Часть 1

**АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ,  
МОСТЫ И ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ**

Минск  
БНТУ  
2010

УДК 625.7/.8+625.745.1+624.035.4 (082)

ББК 39.311.я43

П 27

Редакционная коллегия:

доктор технических наук, профессор И.И. Леонович  
(ответственный редактор);

доктор технических наук, профессор А.В. Вавилов;

кандидат технических наук, доцент И.Н. Вербило;

кандидат технических наук, доцент С.Е. Кравченко;

доктор технических наук, профессор Г.П. Пастушков

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор Белорусского  
государственного технологического университета Н.П. Вырко;

доктора технических наук, профессора

Белорусского национального технического университета Я.Н. Ковалев,

В.Н. Яромко, В.В. Яцкевич;

кандидат технических наук, доцент, директор ГП «БелдорНИИ»

В.К. Шумчик

В сборнике представлены доклады ученых и специалистов Республики Беларусь, России, Украины и Литвы, вошедшие в программу научно-практической конференции «Перспективные направления проектирования, строительства и эксплуатации дорог, мостов и подземных сооружений», г. Минск, БНТУ, 21 – 22 октября 2010 г.

ISBN 978-985-525-427-1 (Ч.1)

© БНТУ, 2010

ISBN 978-985-525-429-5

*Международная научно-практическая  
конференция, посвященная 90-летию  
Белорусского национального  
технического университета*

**Предисловие**

В текущем году исполняется 90 лет со дня образования Белорусского политехнического института (ныне Белорусский национальный технический университет). За годы существования наш вуз подготовил более 150 тысяч инженеров, магистров, кандидатов и докторов наук. В настоящее время является крупнейшим техническим вузом Республики Беларусь, признанным ведущим научным центром мирового значения. В БНТУ ведется подготовка инженерных кадров по 84 специальностям и около 150 специализациям, охватывающим основные направления в области строительства, машиностроения, автомобилестроения, приборостроения, энергетики, транспорта, металлургии, экономики, маркетинга, менеджмента, предпринимательства и др. Структурно университет включает 16 факультетов, Международный институт дистанционного образования, 104 кафедры, филиал в г. Солигорске и развитую сеть научных лабораторий и центров. Учебный и научный процесс в университете осуществляют профессорско-преподавательский состав (2141 чел.), среди которого 4 академика, 8 членов-корреспондентов, 209 докторов наук, 823 кандидатов наук. По основным направлениям научной деятельности сформировались и успешно функционируют научные школы, объединяющие ученых разных поколений. Контингент студентов по всем формам обучения превышает 30 тыс. человек, а магистрантов – 200 чел. Для обеспечения учебно-научно-производственной деятельности в университете создана необходимая материально-техническая база. Связь вуза с производством осуществляется по договорам о сотрудничестве и путем создания филиалов кафедр на предприятиях и в организациях. Поддерживаются тесные межвузовские и международные связи. БНТУ в 2005 г. был присвоен статус базового вуза по высшему техническому образованию среди стран – участниц Содружества Независимых Государств.

Факультет транспортных коммуникаций ведет подготовку специалистов по пяти специальностям: 1-70 03 01 «Автомобильные дороги», 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены»,

1-56 02 01 «Геодезия», 1-36 11 01 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование», 1-27 01 01 «Экономика и организация производства». По утвержденным стандартам, учебным планам и программам организован учебный процесс, осуществляется с использованием новейших достижений науки и техники, мультимедийных средств передачи информации, современных методов организации самостоятельной работы студентов. В практической подготовке инженерных кадров в период производственных практик участвуют ведущие предприятия и организации системы РУП «Белавтодор» и КУП «Облдорстрой». Особенно эффективные учебно-научные контакты при этом поддерживаются с ГП «БелдорНИИ», РУП «Белгипродор» и РУП «Белдорцентр», дорожно-строительными трестами и дорожно-эксплуатационными управлениями Минского района.

Учебный воспитательный процесс на ФТК тесно увязан с научной деятельностью профессорско-преподавательского состава, докторантов, аспирантов и магистров. Результаты этой деятельности используются при разработке нормативно-правовых технических документов, совершенствовании технологии и организации дорожного строительства и подготовке учебной и методической литературы. Для апробации результатов научных исследований ученые и специалисты прибегают к коллективным формам обсуждения, публичному обмену мнениями, дискуссиям на семинарах и т.п.

Международная научно-практическая конференция «Перспективные направления проектирования, строительства и эксплуатации дорог, мостовых и подземных сооружений» посвященная 90-летию Белорусского национального технического университета, проводится Министерством образования Республики Беларусь совместно с департаментом «Белавтодор» Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. Для участия в работе конференции заявки поступили от учреждений Беларуси, России, Украины, Литвы и др. Всего более 100 заявок. Научные и методические доклады касаются вопросов инновационных технологий строительства, реконструкции, содержания и ремонта автомобильных дорог и мостов, контроля качества дорожно-строительных материалов, конструирования и эксплуатации строительных машин и механизации дорожных работ, дорожно-транспортной и экологической безопасности автомобильных дорог, подготовки инженерных и научных кадров.

Учитывая тематическую направленность докладов, было принято решение их рассмотреть частично на пленарном заседании, а остальные на секциях. На пленарном заседании предусмотрено выступление проректора по научной и инновационной работе БНТУ доктора технических наук, профессор Романюк А.Ф. и десять докладчиков. Доклады распределены следующим образом: секция № 1 «Автомобильные дороги»; Секция № 2 «Мосты и подземные сооружения»; секция № 3 «Строительные машины и механизация дорожных работ». Руководителями секции были назначены соответственно: кандидат технических наук, доцент Кравченко С.Е., доктор технических наук, профессор Пастушков Г.П., доктор технических наук, профессор Вавилов А.В.

Представленные на конференцию доклады в тематическом отношении в основном соответствуют научному направлению конференции, но по уровню обобщения информации, а также по стилю изложения имеют существенные различия. Учитывая это, организационный комитет конференции поставил перед ее участниками требования нести полную ответственность за достоверность, форму и стиль изложения представленных для опубликования материалов. Этих требований редакционная коллегия придерживалась при подготовке настоящего сборника.

Пользуясь случаем, выражаю благодарность руководителям секций за активное участие в формировании программы конференции, а Елене Вячеславовне Баяревич, начальнику ВЦ ФТК, – за компьютерную верстку и редактирование материала.

Замечания и предложения по докладам конференции и по проблемам, которые подняты в настоящем сборнике, просьба направлять по адресу:

220013 г. Минск, проспект Независимости, 65.

Белорусский национальный технический университет.

Кафедра «Строительство и эксплуатация дорог».

Тел. 267-93-89; 237-04-57.

Email: [ftk@bntu.by](mailto:ftk@bntu.by)

Председатель оргкомитета  
заслуженный деятель науки и техники БССР  
доктор технических наук, профессор

И.И. Леонович

УДК 625.72.002.5

**ОБСЛЕДОВАНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЙ УЧЕТ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
GPS ПРИЕМНИКОВ**

**Адашкевич В.И.<sup>1</sup>, Вишняков Н.В.<sup>2</sup>, Клибашев С.М.<sup>3</sup>**

*<sup>1,2</sup> Белорусский национальный технический университет*

*<sup>3</sup>РУП «Белдорцентр»*

*(г. Минск, Республика Беларусь)*

В настоящее время навигационные спутниковые системы ГЛОНАСС и GPS применяются для определения координат на местности при создании государственной системы отсчета координат и съёмочного обоснования. Предлагается расширить область их применения с использованием спутниковой геодезической аппаратуры на основе глобальной навигационной спутниковой системы в задачах паспортизации автомобильных дорог.

Анализ существующей ситуации в Республике Беларусь в области нормативных актов показал, что на данный момент времени отсутствуют технические нормативные правовые акты (далее ТНПА) по технологии применения спутниковой геодезической аппаратуры при паспортизации автомобильных дорог. Существующий ТНПА [1] лишь рекомендует применение GPS-оборудования для координатной привязки объектов автомобильных дорог, но не саму технологию паспортизации автомобильных дорог с применением данного оборудования.

Разработка эффективных методов измерений с использованием спутниковой геодезической аппаратуры на основе глобальной навигационной спутниковой системы в задачах паспортизации автомобильных дорог является актуальной, поскольку ее успешное решение и последующее развитие вносят важный вклад в обеспечение надежности, достоверности и безопасности производства. Решение этой задачи создает условия для повышения эффективности использования капитальных вложений в строительство, помогает

рационально планировать различные регламентные работы, а также приносит определенный социальный эффект.

При использовании спутниковых методов точность координатных определений в сочетании с оперативностью получения конечных результатов определяются степенью необходимой детальности исследований, а также экономическими возможностями организации данного вида работ. По результатам спутниковых измерений одновременно определяются точные значения координат как в плане, так и по высоте. Поэтому современные спутниковые методы координатных определений на основе применения глобальных навигационных систем GPS и ГЛОНАСС создают условия для создания плановой и высотной привязки объектов технического учета при паспортизации автомобильной дороги.

Внедрение новых методов и средств геодезических измерений должно сопровождаться и новой методикой обработки результатов измерений. Только комплексное решение задачи позволит добиться максимальной эффективности и будет отвечать современным требованиям.

На этапе подготовительных работ для определения доступных пунктов государственной геодезической сети (ГГС) при привязке базовых станций в ГИС-проекте была создана буферная зона вокруг автомобильной дороги Р-18.

Было рассмотрено 50 пунктов ГГС. Согласно [1], для достижения высокой точности измерений использовались короткие базисные линии<sup>1</sup> не более 20 – 30 км, было определено три основных пункта ГГС.

За опорный пункт привязки был принят пункт ГГС № 167 (base1), расположенный в районе населенного пункта Махировка. Отметка опорного пункта передавалась на остальные существующие пункты ГГС, таким образом, была создана опорная сеть, относительно которой производились измерения участков автомобильной дороги Р-18. При выборе основных пунктов ГГС для размещения базовой станции, учитывалась, обзорность пункта – отсутствие преград (лес, строения, ЛЭП и т.д.), тип пункта (открытый пункт, без пирамиды, с металлической пятой).

---

<sup>1</sup> Базисная линия – расстояние между двумя точками, наблюдающими одновременно одни и те же созвездия спутников.

Перед началом измерений каждого участка были произведены подготовительные работы для измерений, т.е. контрольный сбор данных при помощи базовой станции.

По предварительным данным, данные альманаха<sup>2</sup>, были запланированы временные интервалы измерений для обеспечения высокой точности измерений: выбор хорошего окна, видимость достаточного количества спутников, и минимальные значение показателя качества съемки (DOP) (рис. 1, 2).

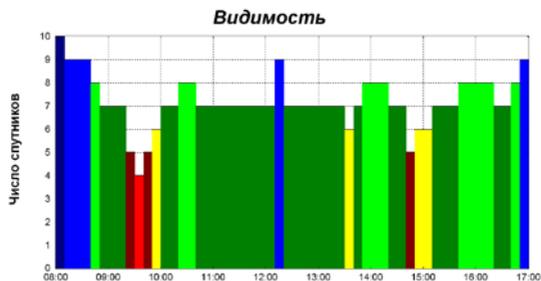


Рис. 1. Видимость числа спутников на момент производства измерений

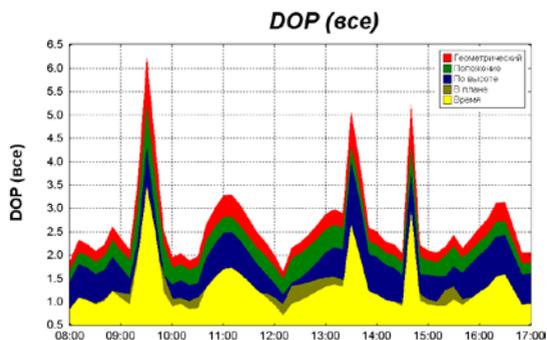


Рис. 2. Значение DOP на момент производства измерений (чем меньше значение DOP, тем точнее измерение)

<sup>2</sup> GPS-спутники передают два вида данных – альманах и эфемериды. Альманах содержит параметры орбит всех спутников. Эфемериды содержат очень точные корректировки параметров орбит и часов для каждого спутника, что требуется для точного определения координат.

Анализ графиков видимости спутников и значений DOP дал возможность спланировать временные интервалы измерений для обеспечения высокой точности измерений.

На этапе подготовительных работ были определены используемые методы относительных спутниковых определений и применимость их в различных условиях при паспортизации автомобильной дороги Р-18.

Основные методы, используемые при измерениях, были выбраны – статический (для разбивки базисного хода вдоль дороги), кинематический (для координирования оси дороги) и кинематический в режиме «стой-иди» (для детальной съемки объектов и определение геометрических параметров конструктивных элементов дороги).

Так как измерение навигационными приёмниками координат осуществляется по временным интервалам, то на этапе планирования работ был определен интервал временем сбора данных для статической съёмки, кинематической съёмки и кинематический в режиме «стой-иди».

Для продольного координирования участка автомобильной дороги при кинематическом методе измерения была принята скорость движения автомобиля 72 км/ч при времени интервала сбора данных 1 секунда. При дальнейшем анализе и обработки полученных данных, выявилось их избыточность, которая заключалась в больших объёмах данных и сложности обработки. При необходимости можно изменять как скорость при производстве измерений, так и интервал сбора данных.

Производство измерений

Измерения осуществлялись в 2 этапа:

1) разбивка базисного хода и координирования оси автомобильной дороги;

2) детальная съёмка объектов и определение геометрических параметров конструктивных элементов дороги.

Для разбивки базисного хода и координирования оси автомобильной дороги с последующей постобработкой использовались два способа измерения: кинематический и статический.

Кинематический метод использовался непосредственно для координирования оси участка автомобильной дороги.

Статический метод использовался для разбивки базисного хода вдоль дороги и привязки точек базисного хода к существующим

пунктам ГГС и для передачи отметок последующим пунктам установки базовой станции.

Кинематическим методом производились измерения в прямом и обратном направлении по оси дороги.

Базовая станция на момент измерения находится на репере. Расстояние от базовой станции до подвижного приёмника не превышало 20 км, что обеспечивало, совместную работу с подвижным приёмником одного и того же созвездия спутников и допустимую точность измерения.

Процесс измерений:

- 1) установка на пункте ГГС базовой станции;
- 2) измерения в прямом направлении на расстояние до 20–30 км (не выходя за пределы буферной зоны) и съёмка следующего пункта ГГС;
- 3) измерения в обратном направлении;
- 4) данный процесс повторяется при измерении следующего участка.

Обработка полученных данных

Обработка измеренных данных осуществлялась непосредственно после измерений на персональном компьютере.

В проекте строго оговаривались свойства проекта: систем координат, зона, трансформированная система координат, модель геоида. От этого зависит точность решения задач неоднозначности, что в свою очередь обеспечивает заявленную точность измерений производителем.

После GPS-обработки базовых линий получаем результаты (координаты точек, перевычисленных относительно базовых станций в различных системах координат: плоскость, реф-эллипсоид, WGS-84.

При использовании спутниковой навигационной системы GPS координаты земных объектов получаются в системе координат WGS-84. При выполнении геодезических работ обычно используются местные системы координат. При обработке результатов спутниковых измерений при координировании объектов на автомобильной дороге возникает необходимость точно определить высоты пунктов на основе которых создавался базисный ход, поэтому система координат WGS-84 не полностью отвечает поставленным задачам. В связи с этим был рассмотрен процесс определения средних квадратических ошибок определения топоцентрических координат.

Камеральные работы показали трудности обработки большого количества данных. Т. е. при большой длине объекта необходимо разбивать на более короткие участки, и затем передавать полученные координаты базовых точек из проекта в проект, что увеличивает время вычисления. Или использовать больший временной интервал измерений, что уменьшит количество измеренных данных, но при этом увеличится расстояние между соседними точками измерения по участку дороги, т. е. их дискретность.

Программный пакет Trimble Geomatics Office позволяет полученные результаты перевычислений экспортировать в AutoCad с атрибутами (\*.dxf); Arcview shape файлы-точки (\*.dbf, \*.shp, \*.shx); Arcview shape точки, линии (\*.dbf, \*.shp, \*.shx); Имя x(север), y(восток), отметка, все атрибуты; Имя, широта, долгота, высота, все атрибуты (Реф-эллипсоид); Файлы MapInfo (\*,mif, \*.mid); Файлы Microstation (\*.dgn).

После получения координат точек в системе координат WGS-84 они были преобразованы в местную систему координат. Далее по пикетажному журналу и вычисленным координатам точек был сформирован план и профиль автомобильной дороги Р-18. В зависимости от технических ведомостей, были по координатам рассчитаны геометрические параметры того или иного объекта.

### **Заключение**

В основу разработки метода измерений положены современные возможности определения координат объектов автомобильной дороги на основе применения топоцентрических прямоугольных координат с применением глобальных спутниковых навигационных систем. При этом в процессе реализации упомянутого комплекса решаются следующие задачи:

1. Разработка методики обработки результатов спутниковых измерений с целью определения координат объектов автомобильной дороги, используя топоцентрическую систему координат.

2. Точностные исследования разработанной методики обработки результатов спутниковых измерений показали, что средние квадратические ошибки определений координат объектов зависят только от точности определения приращений координат и не зависят от точности определения абсолютных координат и от точности знания аномалий высот в районе выполненных работ.

3. Предложенный метод спутниковых измерений при паспортизации автомобильных дорог позволит существенно сократить время полевых работ и повысить качество измерений.

Новые принципы установления и дальнейшего развития системы топоцентрических прямоугольных координат при паспортизации автомобильных дорог на основе современных спутниковых технологий обуславливают необходимость изменения структуры геодезического обеспечения.

Результаты экспериментальных производственных работ, подтверждают высокую эффективность применения GPS-методов при паспортизации автомобильных дорог.

### **Литература**

ДМД 02191.2.021-2008 «Рекомендации по применению GPS-оборудования для координатной привязки объектов автомобильных дорог». – Минск, 2008.

УДК 625.75:536.2

## **ОБОСНОВАНИЕ ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ ДОРОЖНОГО ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ**

**Бабаскин Ю.Г., канд. техн. наук, доцент**

*Белорусский национальный технический университет*

*(г. Минск, Республика Беларусь)*

### **Введение**

Эксплуатационное состояние цементобетонных покрытий характеризуется количеством и качеством дефектов, возникших в дорожном покрытии в результате воздействия климатических и эксплуатационных факторов. Учитывая, что цементобетон – это материал с кристаллизационными связями, которые при разрушении не восстанавливаются, то любой вид дефекта ведет к разрыву этих связей, а ремонт может быть обеспечен только путем герметизации трещин и разработкой композиционных материалов, способствующих адгезионному сцеплению старого бетона и нового ремонтного материала.

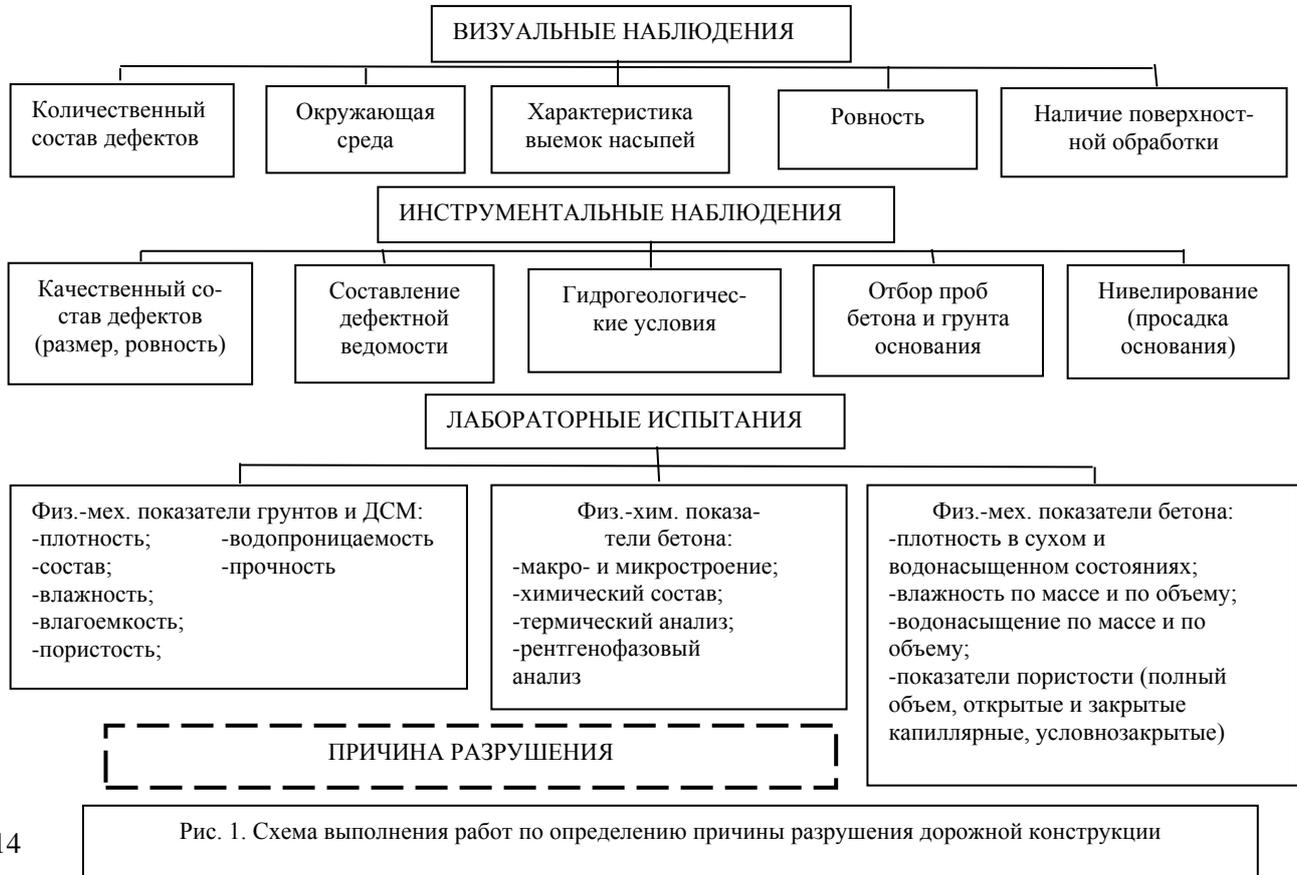
Для отражения качества выполненных ремонтных работ по устранению дефектов на цементобетонных покрытиях с помощью новых материалов и прогрессивных технологий, необходимо устранить причину вызывающую возникновение дефекта. Но чтобы ее устранить необходимо с достоверной точностью ее определить.

Следовательно, необходимо разработать концепцию, выполнение которой позволит получить необходимые сведения для анализа существующей ситуации. Такая концепция включает в себя три вида основных работ: визуальные, инструментальные наблюдения и лабораторные испытания (рис. 1).

### **Характеристика визуальных и лабораторных исследований.**

Визуальные наблюдения включают в себя работы по обследованию участка дороги, подверженного разрушению. Необходимо оценить ситуацию участка, характер и качество покрытия, собрать статистический материал по количественному составу дефектов. Данные визуальных наблюдений служат определяющим фактором для выполнения второй стадии, включающей в себя инструментальные наблюдения, проводимые на участках, подверженных разрушению, и лабораторные испытания, проводимые в камеральной обстановке на отобранных образцах.

С отобранными пробами в лабораторных условиях проводятся испытания по определению физико-механических показателей грунта и бетона и физико-химических показателей бетона. Дальнейший цикл исследований включает изучение макро- и микроструктуры, определение химического состава и выполнение термического и рентгенофазового анализов.



При химическом анализе определялось содержание восьми групп-ионов, свидетельствующих о процессах происходящих в цементобетоне. Сравнению подвергались образцы, выпиленные из покрытия одной и той же автомобильной дороги, но разных участков. Один с участка с хорошим, качественным покрытием, второй с участка подверженного разрушению. Содержание ионов кальция свидетельствует о полноте протекающей кристаллизации в цементобетоне. Содержание ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  связано с наличием солей, например в противогололедных смесях, и их возрастающее содержание, ведущее к повышенной концентрации хлора, что со временем может привести к разрушению бетона. Содержание ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  указывают на протекающую сульфатную агрессию, сопровождающуюся выщелачиванием бетона.

В результате обработки данных полученных методами титрования, аргентометрическим, весовым, а также с использованием пламенного фотометра ФПМ-1 было установлено процентное содержание каждой группы ионов, которые при сравнении эталонного и разрушенного бетонов позволяют установить пониженное или повышенное содержание компонента.

Проведенные исследования позволили установить, что содержание ионов  $\text{Ca}^{+2}$  составляет 0,13 %, а содержание ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  составляет 0,23 %, что указывает на сильную сульфатную агрессию. Это объясняется выщелачиванием бетона под действием сульфатов. Действие растворимых сульфатов на портландцемент выражается в образовании сульфатоалюмината кальция и гипса с заметным расширением бетона за счет рекристаллизации сульфатоалюмината.

Водные вытяжки образцов, взятых с покрытия имеющего шелушение, имеет некоторое увеличение в водной вытяжке ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ , что может быть связано с накоплением в самом бетоне хлора из солей, используемых в качестве противогололедных материалов.

Определение гидратных новообразований в бетоне, их превращений и изменений во времени под действием эксплуатационных и климатических факторов производились на дериватографе термогравиметрическим методом. При этом изучались физические и химические процессы, происходящие при нагревании до 1000 °С порошковой пробы бетона и сопровождающиеся изменением энтальпии системы (эндотермические и экзотермические эффекты).

Дериватограммы включали в себя данные по четырем кривым: TG – потери массы при термическом процессе; DTG – скорость потери массы; TA – изменение энтальпии и T – изменение температуры.

Результаты термогравиметрического анализа, записанного на фотобумаге в виде кривых DTG и DTA, указывают на эндотермические эффекты, протекающие при определенных температурах.

На кривой DTG кроме характерной для цементного камня первой серии эндотермических эффектов в интервале от 100 до 300 °С, связанных обычно с удалением межслоевой и капиллярной влаги из геля (эндоэффект при 140 °С) и обезвоживанием гидросульфоалюминатов кальция (эндоэффект при 220 °С), а также эндотермического эффекта декарбонизации кальцита при 870 °С появилась небольшая эндотермическая остановка в интервале температур от 700 до 800 °С, связанная с разложением ватерита. Кроме того, на интегральной кривой изменения скорости потерь массы отмечается эффект при 790 °С, свидетельствующий о наличии новой фазы в цементном камне. Не типичным для обычных бетонов на портландцементе является также отсутствие эндотермического эффекта дегидратации портландита при температуре 500 – 520 °С.

Определение качественного фазового состава производилось рентгенофазовым анализом, основанном на том, что порошковая рентгенограмма полиминерального образца представляет собой сумму рентгенограмм отдельных фаз. По рентгенограммам определяли интенсивность дифракционных максимумов и значение угла дифракции, по которым с помощью таблиц находили межплоскостное расстояние для соответствующего антикатада. По отношению межплоскостного расстояния к порядку отражения определяли фазовый состав исследуемого вещества.

Цементный камень состоял из кварца ( $d/n = 4,24; 3,34; 1,81$  А), кальцита ( $d/n = 3,86; 3,03; 2,49$  А), этtringита ( $d/n = 9,8; 5,6$  А) и ватерита ( $d/n = 3,53; 3,03; 2,73$  А). Результаты рентгенофазового анализа подтвердили данные термического анализа.

Петрографические исследования макроструктуры свежих сколов бетонных образцов, макропористость, визуальные характеристики заполнителей и цементного вяжущего, а также микроstructures образцов в проходящем свете на прозрачных шлифах проводилось с помощью микроскопа МБС-1.

При макроскопических исследованиях установлено, что крупный заполнитель представлен остроугольными обломками гранита, иногда базальта, а мелкий заполнитель окатанными зернами песка, в основном кварца, реже гранита и полевого шпата. Вяжущее имеет серый цвет с плотной структурой. Макропоры распределены равномерно и имеют основные размеры в интервале от 0,1 до 1,25 мм. Контакт заполнителя с вяжущим веществом плотный, контактных изменений нет. Однако, в единичных случаях зерна кварца размером около 0,55 мм имеют размытые контуры, что свидетельствует о хорошем сцеплении мелкого заполнителя с вяжущим.

Электронно-микроскопические исследования производились на просвечивающем микроскопе ЭМВ–10БР с растровой приставкой с увеличением 10000<sup>x</sup>. Для исследований в электронном микроскопе бетонов применялся косвенный метод угольных реплик.

Участки игольчатых гидросиликатов по площади небольшие и располагаются по границам порового пространства. Чешуйки гидросиликатов, сросшиеся между собой, свидетельствуют о процессе собирательной рекристаллизации. В образце еще сохраняются незначительные по площади участки исходных клинкерных минералов.

### **Заключение**

На основании проведенных исследований можно сделать следующее заключение.

Результаты химического анализа водных вытяжек бетонов показали, что водная вытяжка из бетона является раствором с повышенным в четыре раза содержанием сульфат-ионов и с пониженным в 3,8 раза содержанием ионов кальция и в 3,2 раза содержанием ионов калия. Значение  $pH = 10,65$  свидетельствует об изменении структуры, поскольку гидросиликаты цементного камня устойчивы при  $pH \geq 11,7$ , а любая перекристаллизация фаз бетона приводит к снижению прочности. Низкое содержание ионов кальция и то, что не обнаружено содержание гидроксил-иона, свидетельствует об очень низком содержании портландита  $Ca(OH)_2$ . Повышенное содержание сульфат-ионов позволяет предположить сульфатную коррозию.

На дериватограмме обнаружен эндотермический эффект, связанный с разложением ватерита  $\mu CaCO_3$ . Отсутствие в цементном

камне портландита свидетельствует о полном выщелачивании и о наличии глубокой коррозии первого вида.

Таким образом, для установления причины возникновения дефектов на дорожном цементобетонном покрытии необходимо проделать комплекс исследований, включающие визуальные и лабораторные. Основным разделом лабораторных испытаний является определение физико-химических показателей бетона. На основании химического, термогравиметрического, рентгенофазового, петрографического, электронно-микроскопического анализов можно сделать вывод о процессах протекающих в бетоне и ведущие к различным видам коррозии. Если результаты вышеперечисленных анализов свидетельствуют о том, что коррозия в бетоне отсутствует и бетон находится в нормальном эксплуатационном состоянии, то причину возникновения дефекта необходимо искать в температурных напряжениях, состоянии основания цементобетонного покрытия или в нагрузках, действующих со стороны колеса автомобиля, т.е. механических разрушениях.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРУПНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АСФАЛЬТОВЫХ СМЕСЕЙ В ЛИТВЕ**

**Булявичюс М.<sup>1</sup>,  
Петкявичюс К.<sup>2</sup>, д-р техн. наук, профессор,  
Жиленене Д.<sup>3</sup>, канд. техн. наук, доцент**

<sup>1</sup>ПУ «*Problematika*»,

<sup>2,3</sup>*Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса  
(г. Вильнюс, Литва)*

### **Введение**

Ученые Литвы и других стран, исследуя конструктивные слои дорожных одежд, с целью улучшения свойств покрытий и условий движения, анализируют влияние свойств этих слоев на эксплуатационные показатели дорожных покрытий, и физико-механические свойства асфальтовых смесей, применяемых для слоев дорожных

покрытий и др. (Bhasin *et al.* 2009; Petkevičius *et al.* 2009; Radziszewski 2007). Крупный заполнитель (гранит, доломит, гравий) отличается величиной, формой и свойствами функционирования материала, зависящими от величины и характера нагрузки, рабочей температуры, агрессивности среды и др. Физико-механические свойства крупных заполнителей, применяемых для производства асфальтовых смесей, оказывают воздействие на показатели качества конструкций дорожных покрытий, т. е. на их функциональность, надежность и долговечность.

Особое внимание должно уделяться выбору составных частей с компонентов асфальтовых смесей. Должны быть выполнены исчерпывающие исследования всех составных частей асфальтовой смеси и осуществлен контроль качества (пригодности) этих смесей. В настоящее время в Литве заполнители для асфальтовых смесей подбираются на основании требований TRA MIN 07:2007. В связи с тем, что испытаний по определению пригодности крупных заполнителей для производства асфальтовых смесей проведено недостаточно, в настоящей статье представлен анализ физико-механических свойств крупных заполнителей, определенных в Литве.

Одним из наиболее точных испытаний по определению прочности крупных заполнителей является сопротивление дроблению по *LST EN 1097-2:2001*. Основным методом этого испытания является определение сопротивляемости дроблению по методу Лос Анджело, однако в Литве чаще применяется альтернативный – ударный метод. Для того чтобы точно определить прочность крупного заполнителя и найти связь между методами этого испытания, пробы испытывались обоими способами. Показатели *LA* и *SZ* указывают на то же свойство материала, однако методы испытаний различаются.

Такому испытанию подверглись 238 опытных образцов тех же пород (гранита, доломита, гравия). Методом Лос Анджело проведена 49 испытаний (рис. 1), ударным методом – 189 испытаний (рис. 2).

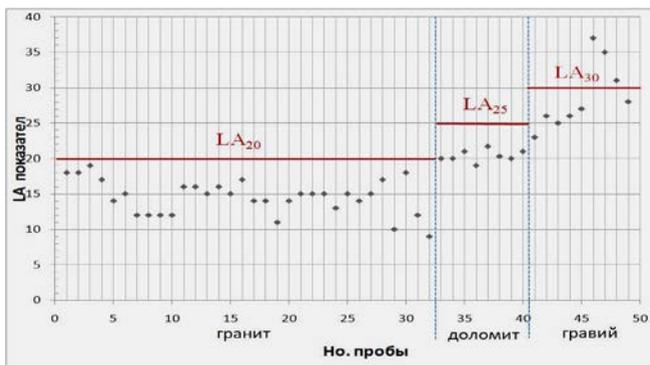


Рис. 1. Результаты определения сопротивляемости дроблению методом Лос Анджело

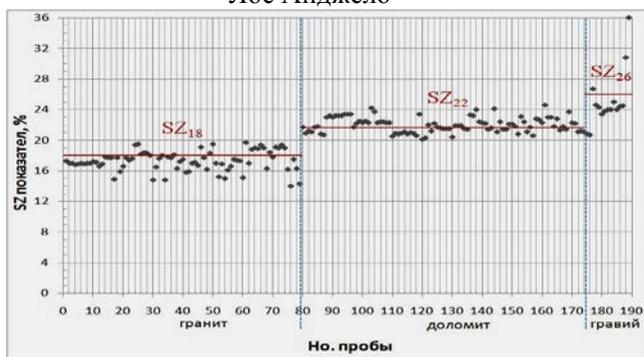


Рис. 2. Результаты определения сопротивляемости дроблению ударным методом

В таблицах 1 и 2 представлен статистический анализ показателей *LA* и *SZ*. Наибольшие среднеквадратические (стандартные) отклонения получены для щебня из гравия. Это указывает на наибольшую вариацию результатов физических свойств исследованной породы. Наименьшее среднее квадратическое отклонение получено для доломитного щебня, что свидетельствует о наименьшей вариации результатов свойств исследованной породы. Коэффициент вариации полученных данных показывает разброс результатов испытаний. Чем меньше коэффициент вариации, тем уже разброс результатов. Наименьшие коэффициенты вариации получены результатов сопротивляемости породы дроблению (показателя дробимости).

Таблица 1

Значения показателей  $LA$ 

Показатель	Значение		
	гранит	доломит	гравий
Сред. отклонение $s_x$	2,385	0,779	4,447
Дисперсия $s_x^2$	5,69	0,607	19,78
Коэф. вариации $V_x$	0,164	0,0382	0,155

Таблица 2

Значения показателей  $SZ$ 

Показатель	Значение		
	гранит	доломит	гравий
Сред. отклонение $s_x$ , %	1,284	0,986	3,479
Дисперсия $s_x^2$ , %	1,65	0,973	12,10
Коэф. вариации $V_x$ , %	0,0743	0,0449	0,135

Это свидетельствует о точности и достоверности методов исследования. Предъявляемые к асфальтовому покрытию требования  $LA_{20}$ , удовлетворяют 94 % всех испытанных по методу  $LA$  образцов крупного заполнителя. Границу требований  $LA_{30}$  превышают 33 % всех образцов щебня гравия. Требования, предъявляемые к асфальтовому покрытию, удовлетворяет 69 % всех испытанных по ударному методу образцов крупного заполнителя. Границу  $SZ_{18}$  превышает 27 % исследованных образцов гранитного щебня, границу  $SZ_{22}$  превышает 36 % испытанных образцов доломитного щебня, а границу  $SZ_{26}$  – 23 % образцов щебня из гравия.

Одним из новейших испытаний прочности крупного заполнителя в Литве является испытание на определение сопротивляемости полированию ( $PSV$ ). Это испытание проводится при определении пригодности материала для производства асфальтовых смесей, применяемых для верхних слоев асфальтового покрытия, и определения износостойкости камня под воздействием покрышек колес автомобилей.

В связи с тем, что в большинстве случаев для верхних слоев асфальтобетонных покрытий применяется только гранитная и доломитовая порода, испытания на сопротивляемость камня полированию проводятся лишь для образцов этих пород (рис. 3).

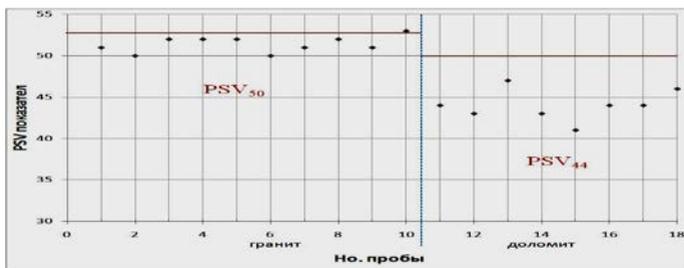


Рис. 3. Результаты значений  $PSV$  полируемости камня  
Таблица 3

Значения показателей  $PSV$

Показатель	Значение	
	гранит	доломит
Сред. отклонение $s_x$	0,917	1,732
Дисперсия $s_x^2$	0,84	3,000
Кэф. вариации $V_x$	0,0178	0,0394

Небольшие коэффициенты вариации обеих испытанных пород свидетельствуют о равномерности и постоянстве разброса результатов испытаний. Большинство испытанных образцов (83 %) удовлетворяют требованиям  $PSV_{50}$  и  $PSV_{44}$ , предъявляемым к асфальтобетону.

Одним из наиболее ценных свойств – сопротивляемости воздействию окружающей среды – крупного заполнителя, применяемого для верхнего слоя асфальтового покрытия, является его сопротивляемость повторным циклам замораживания и оттаивания (рис. 4).

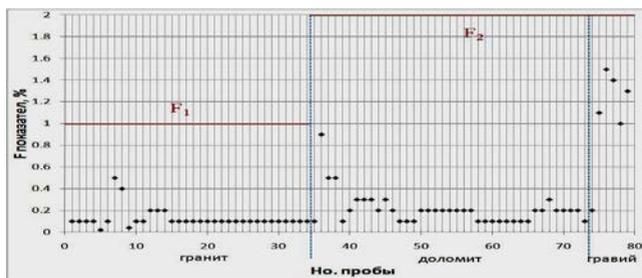


Рис. 4. Результаты значений сопротивляемости крупного заполнителя замораживанию и оттаиванию  $F$

Таблица 4

Значения показателей  $F$ 

Показатель	Значение		
	гранит	доломит	гравий
Сред. отклонение $s_x$ , %	0,089	0,146	0,185
Дисперсия $s_x^2$ , %	0,0079	0,0214	0,0344
Кэф. вариации $V_x$ , %	0,709	0,697	0,147

Стандартные отклонения испытанных пород невелики, что свидетельствует о небольшой вариации результатов определения сопротивляемости замораживанию и оттаиванию. Самое малое стандартное отклонение получено для гранитного щебня, а наименьший коэффициент вариации – для щебня из гравия.

Все результаты испытаний крупных заполнителей на сопротивляемость замораживанию и оттаиванию на 100 % удовлетворяют требованиям  $F_1$  и  $F_2$ , предъявляемым к асфальтобетону. 91 % результатов гранитного щебня не превышает  $1/10 F_1$ , 80 % результатов доломитного щебня не превышают  $1/5 F_1$ .

### Заключение

Результаты исследований показали, что при испытании того же минерального материала по *LST EN 1097-2:2001* методом Лос Анджело и ударным методом, чаще всего полученное значение  $LA$  бывает меньше. Это означает, что сравниваемые категории сравнены некорректно, а ударный метод предпочтительнее метода Лос Анджело.

Испытания по *LST EN 1097-8:2009* показали, что для верхнего слоя асфальтового покрытия целесообразно применять гранитный щебень. Увлажненный доломитовый щебень очень нестоек, его поверхность становится слабой.

Испытания по *LST EN 1367-1:2007* показали, что даже породы из доломита, гравия не превышают допустимых 2 % потерь их массовой доли. В то же время показатели прочности  $LA$ ,  $SZ$  и  $PSV$  образцов не соответствуют требованиям, предъявляем к крупным заполнителям, применяемым для производства асфальтовых смесей. В связи с этим метод испытаний по *LST EN 1367-1:2007* не позволяет достаточно точно исследовать прочность крупных заполнителей. Указанное в методе испытание на сопротивляемость замораживанию

и оттаиванию недостаточно для установления сопротивляемости пород в агрессивных погодных условиях Литвы, а границы оценочных категорий  $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_4$  слишком широки. Для того, чтобы усовершенствовать оценку указанных свойств пород, необходимо уточнить границы категорий по сопротивляемости пород замораживанию и оттаиванию или же применять другой, альтернативный метод исследований.

### **Литература**

1. Bhasin, A. Quantative comparison of energy methods to characterize fatigue in asphalt materials / A. Bhasin, V.T.F. Castelo Branco, E. Masad, D.N. Little // Journal of Materials Civil Engineering. – 2009. – 21(2): 874–883.
2. Petkevičius, E. Effect of components content on properties of hot mix asphalt mixture and concrete / E. Petkevičius, A. Laurinavičius, R. Petkevičius, R. Babickas // The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. – 2009. – 4(4): 161–167.
3. Radziszewski, P. Modified asphalt mixtures resistance to permanent deformation / P. Radziszewski // Journal of Civil Engineering and Management. – 2007. – 13(4): 307–315.

УДК 504.5:625.768.6

## **СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПОЧВЫ ПРИДОРОЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

**Бурова, О.В.<sup>1</sup>, Демидович И.А.<sup>2</sup>,  
Лопатина С.Н.<sup>3</sup>, Лясковская Л.П.<sup>4</sup>,**

**Яковлев А.П.<sup>5</sup>, кандидат биологических наук**

*<sup>1,2,3,4</sup>«Белорусский дорожный научно-исследовательский  
институт «БелдорНИИ»,*

*<sup>5</sup>ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси»  
(г. Минск, Беларусь)*

### **Введение**

В Республике Беларусь в качестве противогололедных материалов наиболее часто применяют смесь технической соли с песком. Этот метод является одним из наиболее эффективных для

расплавления снежно-ледяных образований. Однако использование противогололедных материалов способствуют галогенезу, т.е. засолению почвы.

При отрицательных температурах и отсутствии стока противогололедные материалы, использующиеся при зимнем содержании дорог, интенсивно впитываются слоем снега и вместе с ним перебрасываются уборочными машинами в стороны от проезжей части до 50 м. Часть солей, не вступивших в реакцию со льдом, остается на покрытии и с брызгами от колес автомобилей, вместе с пылью и снегом переносится ветром на значительное расстояние. Таким образом, противогололедные материалы попадают на придорожную растительность, а после таяния снега проникают в почву [1].

Существует также мнение, что основное воздействие на древесные растения оказывает аккумуляция надземной частью побегов частиц хлорида натрия, захваченных растениями в виде аэрозолей. При этом ветки небольшого диаметра являются более эффективными ловителями частиц, чем ветки крупного диаметра [2].

В последние годы отмечается значительное ухудшение состояния придорожных древесных насаждений, поскольку увеличение интенсивности движения автотранспорта и объемов применения противогололедных материалов приводит к засолению почв и повреждению растительности.

Периодичность применения и суммарные дозы распределения солей меняются от года к году и во многом зависят от конкретных погодных условий. Процессы техногенного засоления придорожных почв практически не изучены.

Таким образом, существует необходимость в получении объективной информации о степени загрязненности почв придорожных экосистем противогололедными реагентами в различные сезонные периоды для определения воздействия именно почвенного компонента на состояние древесных растений.

#### **Исследование загрязнения противогололедными материалами почв придорожных территорий на выбранных участках**

В 2006 – 2008 гг. сотрудниками лаборатории безопасности движения БелдорНИИ совместно с ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» были проведены исследования по определению уровня загрязнения почв придорожных территорий в зависимости от количества распределенных по дорожному покрытию

противогололедных материалов. Все выбранные участки автомобильных дорог для проведения исследований расположены в трех агроклиматических зонах (северная, центральная и южная) относятся к первому уровню зимнего содержания и имеют различный поперечный профиль (дорога в выемке, на насыпи и в нуле). Было выбрано 14 участков на а/д М1/Е30 «Брест – Минск – граница Российской Федерации» и 3 участка на а/д М3 «Минск – Витебск».

За отчетный период были собраны и проанализированы данные ДЭУ о выполнении работ при зимнем содержании автомобильных дорог за 3 года, начиная с 2006 по 2008 гг.

Сравнительный анализ количества соли, израсходованной в зимние периоды 2005 – 2006 гг., 2006 – 2007 гг., 2007 – 2008 гг., показал, что больше всего соли израсходовано в зимний период 2005 – 2006 гг., что связано с погодными условиями данного периода (раннее образование и позднее таяние снежного покрова, большее число выпадения осадков), которые учитываются при расчете потребности в противогололедных материалах.

Отбор проб почвы проводился в весенний, летний и осенний сезоны с целью получения объективной информации о степени загрязненности почвы и выявления уровня сезонного засоления придорожных экосистем автомобильных дорог, связанных с поступлением легкорастворимых солей, накопленных в придорожной полосе за период зимнего содержания.

При анализе отобранных проб почвы определялись такие показатели как рН в КСl, содержание ионов  $Cl^-$ , мг/ 100г, содержание обменного  $Na^+$  % от ЕКО. Всего за период проведения исследования было отобрано 228 проб почвы.

Дерново-подзолистые почвы, к которым относится большинство почв Республики Беларусь, имеют сильно кислую и кислую реакцию рН 4 – 5,5. Рост щелочности почвы, в сочетании с присутствием ионов натрия в составе обменных катионов, который наблюдается в придорожной полосе, свидетельствует о солонцовом процессе (повышение дисперсности и гидрофильности твердых фаз почвы, сопровождающееся ростом щелочности).

За период наблюдений (2006 – 2008 гг.) выявлена следующая тенденция: среднее значение рН имеет достаточно высокое значение в апреле месяце, в мае оно снижается, вновь повышаясь в июле и снижаясь в сентябре (рис. 1).

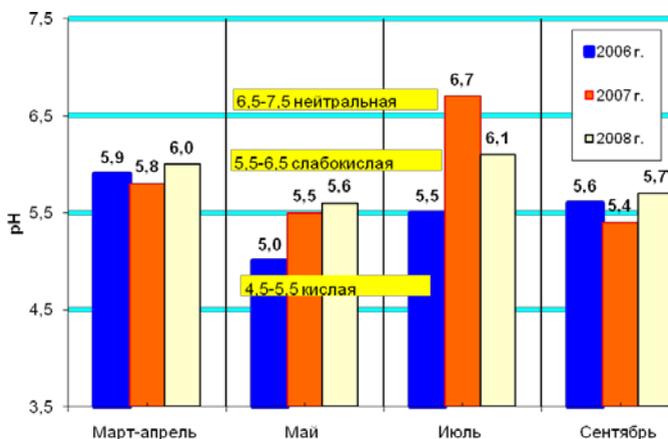


Рис. 1. Средние значения рН в КСl проб почвы, отобранных в придорожных насаждениях вдоль а/д М1/Е30 и М3 в марте-апреле, мае, июле и сентябре 2006 – 2008 гг.

Такие результаты, возможно, связаны с тем, что в апреле после таяния снега наблюдается достаточно высокая засоленность почвы, поскольку распределенные за зиму соли еще не успели проникнуть в нижние слои грунта. В мае же, благодаря осадкам, произошло вымывание солей в нижележащие горизонты почвы. В июле среднее значение рН вновь растет, поскольку с повышением температуры возрастает испарение содержащейся в почве воды, что вызывает восходящее движение капиллярной каймы грунтовых вод. В сентябре, в связи с понижением температуры количество испаренной из почвы воды уменьшается и ионы натрия, вызывающие защелачивание почвы, смываются из ее поверхностных слоев в более глубокие горизонты.

Накопление хлора в результате обработки дорог в зимний период зависит от количества израсходованного реагента, уклона поверхности почвы, а также условий фильтрации стока. На накопление хлора в почве большое влияние оказывают выпадающие осадки. В засушливый период преобладают восходящие токи почвенной влаги, в результате чего хлор не только не вымывается, но даже поднимается из нижележащих горизонтов. При большом

количестве осадков содержание хлора в почве, особенно в ее верхних горизонтах, заметно снижается.

По отношению к иону  $\text{Cl}^-$  выделяются 5 категорий солевности растений (таблица 1) [3]. Очень тесная связь между состоянием растительности и содержанием хлоридов в почвах дает основание использовать этот показатель в качестве основного при определении степени их засоления.

Таблица 1

Солевность растений по отношению к хлору

Степень солевности пород	Содержание ионов $\text{Cl}^-$ %		
	допустимое	угнетающее	токсичное
Очень слабо солевные	< 0,005	0,05 – 0,01	> 0,01
Слабо солевные	< 0,01	0,01 – 0,02	> 0,02
Солевные	< 0,03	0,03 – 0,06	> 0,06
Наиболее солевные	< 0,04	0,04 – 0,07	> 0,07
Солеустойчивые	< 0,50	0,50 – 0,70	> 0,70

За период наблюдений, среднегодовое процентное содержание ионов  $\text{Cl}^-$  в пробах почвы колеблется от 0,010 до 0,022 %, что является допустимым только для солевных растений.

Среднее значение содержание ионов  $\text{Cl}^-$  в почве в 2006 г. имеет достаточно высокое значение в апреле месяце, в мае оно снижается, вновь повышаясь в июле и снижаясь в сентябре. Среднее значение содержание ионов  $\text{Cl}^-$  в почве в 2007 г. возрастает с апреля по июль месяц, снижаясь в сентябре. Среднее значение содержание ионов  $\text{Cl}^-$  в почве в 2008 г. максимально в апреле, снижается в мае и возрастает в июле и сентябре (рис. 2).

Преобладающее большинство всех почвенно-химических реакций и процессов осуществляется в почвенном растворе или с участием его компонентов, он же служит важнейшим источником элементов питания для растений. Этим объясняется исключительно важная, часто доминирующая роль почвенного раствора в формировании почв и развитии растений. Почвенный раствор – это жидкая часть почвы в природных условиях.

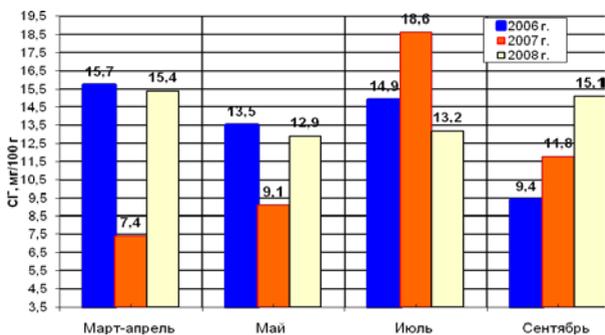


Рис.2. Среднее содержание ионов  $\text{Cl}^-$ , % от состава земной коры в пробах почвы, отобранных вдоль а/д М1/Е30 и М3 в 2006 – 2008 гг.

Важнейшей характеристикой почвенного поглощающего комплекса и почвы в целом является емкость катионного обмена (ЕКО). Под ЕКО понимают общее количество катионов одного рода, удерживаемых почвой в обменном состоянии при стандартных условиях, способных к обмену на катионы взаимодействующего с почвой раствора. Величину ЕКО выражают в мг-экв./100 г почвы.

Состав обменных катионов в различных типах почв изменяется в широких пределах. Эти изменения закономерны, обусловлены типом почвообразования, водно-солевым режимом почв и хозяйственной деятельностью человека. Для дерново-подзолистых почв, к которым относится большинство почв Республики Беларусь, не характерно наличие ионов  $\text{Na}^+$  в составе обменных катионов почвы [4].

Однако в составе обменных катионов техногенно измененных почв придорожной полосы ионы  $\text{Na}^+$  присутствуют практически во всех пробах.

Присутствие ионов  $\text{Na}^+$  вызывает проявление солонцеватости почв. Под солонцовым процессом понимают повышение дисперсности и гидрофильности твердых фаз почвы, сопровождающееся ростом щелочности. Это приводит к резкой дифференциации почвенного профиля и появлению неблагоприятных агрономических свойств солонцового горизонта.

В зависимости от количества поглощенного натрия почвы подразделяются на слабосолонцеватые, содержащие от 5 до 10 %  $\text{Na}^+$  от ЕКО, солонцеватые от 10 до 20 %  $\text{Na}^+$  от ЕКО и солонцы – более 20 %  $\text{Na}^+$  от ЕКО [4].

В пяти образцах содержание ионов  $\text{Na}^+$  % от ЕКО в пробах почвы, отобранных в июле 2008 г., находится в интервале от 5 до 10 %  $\text{Na}^+$  от ЕКО – слабосолонцеватые почвы, а на одной точке попадает в интервал от 10 до 20 % – солонцеватая почва. Таким образом, натриевое загрязнение достигает такого уровня, при котором солонцеватость почвы может оказать существенное негативное влияние на растительный мир.

Среднее максимальное содержание ионов  $\text{Na}^+$  % от ЕКО в 2006 г. и 2008 г. наблюдалось в июле, а в 2007 г. – в сентябре. В июле 2008 г. среднее содержание ионов  $\text{Na}^+$  % от ЕКО 3,2 % в почве самое высокое за весь период наблюдений. Среднее минимальное содержание ионов  $\text{Na}^+$  % от ЕКО 0,47 % наблюдалось в апреле 2008 г. Среднее значение содержания ионов  $\text{Na}^+$  % от ЕКО в почве в 2008 г возрастает с апреля по сентябрь (рис. 3).

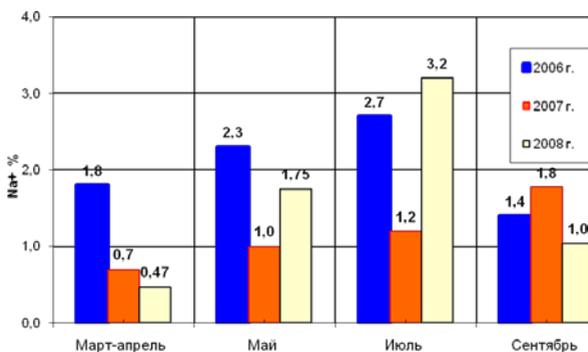


Рис. 3. Средние значения рН в КС1 проб почвы, отобранных в придорожных насаждениях вдоль а/д М1/Е30 и М3 в марте-апреле, мае, июле и сентябре 2006 – 2008 гг.

### Заключение

В почвах промывного режима, к которым относятся почвы Республики Беларусь, периоды нисходящего движения растворов чередуются с восходящими в зависимости от погодных условий. Поэтому солевой профиль этих почв формируется под влиянием чередующихся по направлениям и меняющихся по интенсивности потоков влаги. Концентрация ионов  $\text{Na}^+$  нарастает пропорционально уменьшению влажности почвы.

Летом создаются худшие почвенные условия для вегетации растений в связи с загрязнением почвы противогололедными материалами. Таким образом, натриевое загрязнение достигает такого уровня, при котором солонцеватость почвы может оказать существенное негативное влияние на растительный мир.

У проб, отобранных за отчетный период, большинство образцов имеет содержание  $Cl^-$ -ионов допустимое для слабосолевыносливых растений, следовательно, для создания придорожных насаждений необходимо использовать только солевыносливые растения.

### **Литература**

1. Подольский, В.П. Экология зимнего содержания автомобильных дорог / В.П. Подольский, Т.В. Самодурова, Ю.В. Федорова // Информавтодор. – 2003. – № 3.
2. Смит, У. Лес и атмосфера / У. Смит. – Минск: Прогресс, 1985. – 429 с.
3. Мигунова, Е.С. Лесонасаждения на засоленных почвах / Е.С. Мигунова. – Минск: Лесная промышленность, 1978. – 144с.
4. Орлов, Д.С. Химия почв: учебник / Д.С. Орлов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: Изд-во МГУ, 1992. – 400 с.

УДК 625.70

## **ВОПРОСЫ ВЗАИМОСВЯЗИ РОВНОСТИ И ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ С АСФАЛЬТОБЕТОННЫМ ПОКРЫТИЕМ**

**Буртыль Ю.В.,  
Леонович И.И., д-р техн. наук, профессор**  
*РУП «Белдорцентр»,  
Белорусский национальный технический университет  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

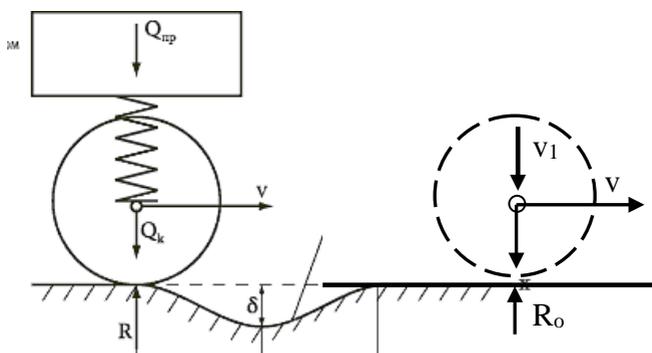
### **Введение**

Ввиду многообразия факторов, определяющих прочность дорожной одежды и их изменением с течением времени, определить истинное прочностное состояние дорожной одежды затруднительно.

В то же время продольная ровность покрытия является величиной однозначной и определяется как отклонение покрытия дорожной одежды от истинно плоской поверхности. При измерении индекса ровности IRI основным фактором, влияющим на точность измерения, является состояние покрытия. Однако, и прочность, и ровность зависят от одного и того же показателя – суммарной массы брутто пропущенных автомобилей, что позволяет сделать предположение о связи их между собой.

**Анализ существующих исследований, устанавливающих взаимосвязь между ровностью покрытия и прочностью дорожной одежды**

При движении по автомобильной дороге транспортное средство в любой момент времени может оказаться на выступе или впадине волны различной формы и длины. При этом, вектор его скорости ( $V$ ) в момент нахождения на выступе направлен по касательной к поверхности, отрывая колесо от покрытия на доли секунды. Опускаясь на покрытие со скоростью ( $V_1$ ), колесо свою потенциальную энергию, в момент соприкосновения с покрытием, преобразует в кинетическую, воздействуя на покрытие динамической силой (рис. 1).



**Рис. 1. Схема воздействия колеса автомобиля на дорожное покрытие**

**в момент прохождения неровности:**

$Q_{пр}$  – вес автомобиля с грузом;  $Q_k$  – вес колеса с мостом;  $v$  – горизонтальная составляющая скорости;  $v_1$  – вертикальная составляющая скорости;

$R$  – сила давления на покрытие от веса автомобиля и веса колеса;

$R_0, R$  – сила реакции опоры,  $\delta$  – величина неровности

При динамическом ударе колеса изменение результирующего контактного воздействия исходя из законов кинематики определяется выражением

$$R \cdot \Delta t = m_k \cdot V, \quad (1)$$

где  $R$  – результирующая контактного взаимодействия, кН;  
 $\Delta t$  – время контактного воздействия, с;  
 $m_k$  – масса автомобиля, кг;  
 $V$  – скорость движения колеса, м/с.

Скорость колеса в момент контакта с поверхностью определяется законами динамики из выражения

$$V_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \delta}, \quad (2)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  
 $\delta$  – высота падения колеса (амплитуда волны), м.

Значение контактного давления на дорожное покрытие определяется по формуле

$$P = \frac{R}{\pi \cdot r^2}, \quad (3)$$

где  $P$  – сила давления на покрытие, МПа;  
 $r$  – радиус отпечатка колеса, м.

Подстановкой в выражение (3) параметров полученных по зависимостям (1), (2) получаем значение давление на покрытие в виде выражения

$$P = \frac{m_k \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \delta}}{\Delta t \cdot \pi \cdot r^2}. \quad (4)$$

Из формулы (4) видно, что при постоянных значениях параметров массы и радиуса отпечатка колеса транспортного средства, значение давления на асфальтобетонное покрытие зависит от времени воздействия  $\Delta t$  (скорости движения) и амплитуды волны  $\delta$  (величины неровностей). При этом, чем больше скорость движения и амплитуда колебания кузова, тем больше сила воздействия на дорогу.

Физическая сущность силы воздействия объясняется скоростью изменения кинетической энергии. Чем больше скорость движения и меньше время воздействия, тем величина силы больше.

В подтверждение приведенных выкладок экспериментальными исследованиями А.Р. Рзаева установлено влияние формы и размера отдельных коротких неровностей проезжей части на динамику автомобиля. По его утверждению, увеличение динамического давления колеса на покрытие возникает с ростом радиуса неровности, давления воздуха в шинах и скорости движения автомобиля. Также подробно рассмотрел влияние дорожных условий на колебания ходовой части Бомхард, установив зависимость коэффициента динамичности от состояния проезжей части (очень хорошее, хорошее волнистое, с большими неровностями) и скорости движения автомобиля. А.Г. Малофеев установил, что в зависимости от величины и шага неровностей водители выбирают такую скорость движения, при которой динамическое воздействие характеризуется коэффициентом динамичности в пределах 1,3–1,35 [1].

Искомое выражение ровности на момент ее оценки зависит от начального значения ровности покрытия, времени эксплуатации автомобильной дороги и прочностных характеристик дорожной одежды. По данным исследований О.А. Красикова установлено, что величина относительного изменения ровности покрытия зависит в основном от прочности и однородности дорожной одежды, характеризуемой стандартом отклонения модуля упругости, а также суммарной интенсивностью движения [2]. Полученное выражение математической модели, описывающее изменение ровности дорожных покрытий во времени ( $S_t$ ) представлено выражением

$$S_t = S_o \left[ 1 + c \cdot E_{\min}^d \cdot N_c(t)^{a \cdot E_{\min}^b} \right], \quad (6)$$

где  $S_o$  – начальное значение ровности покрытия, см/км;

$E_{\min}$  – минимальный модуль упругости с заданной надежностью при односторонней доверительной вероятности, МПа;

$N_c$  – суммарная интенсивность, приведенная к расчетной нагрузке, авт.;

$t$  – время службы дорожной одежды, с;

$a, b, c, d$  – параметры значения которых устанавливаются на основании эксперимента.

Модель деградации ровности с учетом результатов изменения коэффициента прочности дорожной конструкции предложена учеными Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета [3]. Приведенные математические модели адекватны экспериментальным данным в соответствии с критерием Фишера для асфальтобетонных и чертосебеночных покрытий

$$S(t) = \frac{S(to) \cdot 0,5}{\sqrt[3]{0,12 \cdot K_{i\delta}}} \cdot \exp(0,08 \cdot t), \quad (7)$$

$$S(t) = \frac{S(to) \cdot 0,6}{\sqrt[3]{0,10 \cdot K_{пр}}} \cdot \exp(0,09 \cdot t), \quad (8)$$

где  $S(t)$  – ровность покрытия на момент прогнозирования, см/км;  
 $S(to)$  – начальная ровность покрытия, см/км;  
 $K_{пр}$  – коэффициент прочности дорожной одежды;  
 $t$  – время эксплуатации дорожной одежды, лет.

Опыт эксплуатации автомобильных дорог показывает, что ровность покрытий постоянно меняется, а неровности имеют тенденцию накапливаться со временем. Степень изменения ровности покрытия во времени зависит от несущей способности оснований и земляного полотна. Чем мощнее основание, тем более гарантирована стабильность ровности покрытия дороги, а значит и постоянное значение коэффициента динамичности автомобильной нагрузки. По мнению Смирнова А.В., уменьшение прочности или сдвиг в слоях дорожных одежд приводит постепенно к накоплению неровности на поверхности покрытия и к соответственному возрастанию коэффициентов динамичности [4, с. 170].

Изучение зависимости ровности покрытий от прочностных характеристик дорожных одежд проводилось не только на стадии эксплуатации автодороги, но и на стадии ее проектирования. Так, на основании значений минимальных требуемых модулей упругости дорожных одежд и исследований И.А. Золоторя по изучению вопросов изменения требуемой ровности к концу срока службы дорожной одежды получена зависимость требуемого модуля упругости ( $E_{мин}$ ) от ровности покрытия [5]:

$$E_{\min} = -11,477 \cdot S + 294,77,$$

где  $S$  – допустимая ровность покрытия к концу срока службы дорожной одежды, измеренная по трёхметровой рейке, мм.

### **Заключение**

Результаты приведенных исследований позволяют предположить, что при известных размерах движения и требованиях к ровности возможно установить требуемый показатель прочности и соответствующую ему конструкцию дорожной одежды. Кроме того, при известной начальной ровности и начальной прочности дорожной одежды, а также при известном размере движения, можно определить уровень надежности дорожной конструкции в целом. Такой подход позволит в дальнейшем прогнозировать возможные скорости движения, а также уточнить сроки проведения ремонтов.

### **Литература**

1. Малофеев, А.Г. Исследование динамического воздействия автомобиля на нежесткие дорожные одежды в процессе эксплуатации дорог: автореф. дис... канд. техн. наук: 12.08.78 / А. Г. Малофеев; Сиб. автодор. инст. – Омск, 1978. – 22 с.
2. Красилов, О.А. Обоснование стратегий ремонта нежестких дорожных одежд: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 16.03.00 / О.А. Красилов; Моск. автом.- дор. инст. – М., 2000. – 44 с.
3. Демишкан, В.Ф. Усовершенствования управления состоянием автомобильных дорог при условиях ограниченных ресурсов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.11 / В.Ф. Демишкан; Харк. гос. автом.- дорож. техн. ун-т. – Харбков, 2000. – 17 с.
4. Смирнов, А.В. Теоретические и экспериментальные исследования работоспособности нежестких дорожных одежд : дис. ... д-ра техн. наук : 1989 / А.В. Смирнов; СибАДИ. – Омск, 1989. – 391 с.
5. Каленова, Е.В. Совершенствование методики расчета при проектировании нежестких дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 19.03.09 / Е.В. Каленова. – М., 2009. – 22 с.

## **ПОЛУЧЕНИЕ АКТИВИРОВАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ НА ОАО «ДОЛОМИТ»**

**Бусел А. В.,**

**Куприянчик А. А., канд. техн. наук**

*Белорусский институт системного анализа и информационного  
обеспечения научно-технической сферы,*

*Белорусский национальный технический университет  
(г. Минск, Беларусь)*

В исследованиях последних лет, направленных на повышение качества и долговечности покрытий, а также в практике работы многих дорожно-строительных организаций как в СНГ, так и за рубежом, утвердилось новое направление – строительство дорожных и аэродромных покрытий из асфальтобетона, получаемого на основе активированных минеральных материалов.

Традиционная технология асфальтобетона (как и многих других искусственных многокомпонентных строительных материалов) основывается на использовании естественных минеральных материалов с присущими им природными физико-химическими свойствами. Предварительная обработка минеральных материалов связана лишь с изменением их «геометрии» и заключается в искусственном измельчении (дробление или размол) и сортировке на фракции требуемых размеров.

В результате такой обработки меняются размеры частиц, а с ними и удельная поверхность применяемых материалов, но мало или совсем не меняется характер поверхности частиц.

Проведенные рядом ученых и научно-исследовательских институтов, исследования привели к разработке технологии асфальтобетона, предусматривающей использование в нем минеральных материалов, подвергаемых предварительной физико-химической активации, обеспечивающей повышение качества асфальтобетонных покрытий, а также улучшение технологического процесса их строительства.

Одна из основных предпосылок, принятых в проведенной работе, состоит в том, что направленное структурообразование

в асфальтобетоне может быть осуществлено в результате искусственного изменения природы минеральных поверхностей, взаимодействующих с битумом.

В настоящее время улучшение свойств ряда природных и искусственных материалов химическим модифицированием является одним из важных направлений в развитии физической химии и технологии производства ряда материалов.

Модифицированием минеральных поверхностей предусматривается: улучшение условий взаимодействия минеральных материалов с битумом (это позволяет улучшить важнейшие структурно-механические свойства асфальтобетона); улучшение свойств битума в адсорбционных слоях и предотвращение избирательной фильтрации компонентов битума в минеральных материалах; расширение ассортимента и улучшение свойств используемых минеральных материалов.

Наиболее благоприятным для химического модифицирования является момент образования новых поверхностей, поскольку в этом случае возможно использование особого энергетического состояния, присущего лишь свежееобразованным поверхностям. Оно резко изменяет реакционную способность поверхностей и способствует такому их взаимодействию с различными реагентами, используемых для модифицирования, которое невозможно при обычных условиях обработки материалов.

Высокая активность новой поверхности, вовремя неиспользованная, практически может иметь только отрицательное значение. Это происходит потому, что свежееобразованная поверхность так или иначе адсорбирует различные вещества, ухудшающие затем взаимодействие с вяжущими материалами.

Эффект, связанный с использованием свежееобразованной поверхности, настолько высок, что он в ряде случаев оправдывает затраты энергии, на обнажение новых поверхностей в частицах материала, тем более оправдано использование любого процесса дробления или тонкого измельчения минеральных материалов (связанного, как известно, с большой затратой энергии) для соответствующей физико-химической активации получаемых продуктов.

Важнейшими актами, сопровождающими механохимические процессы, протекающими при физико-химической активации

минеральных материалов по указанной технологии, являются: возникновение парамагнитных центров (свободных радикалов) вследствие разрыва химических связей; изменение структуры поверхностных слоев минеральных частиц, образующихся в процессе диспергирования. Свободные радикалы обладают исключительно большой активностью, позволяющей им легко вступать в химическое взаимодействие с обычными молекулами других веществ.

Изменение структуры поверхностных слоев также способствует повышению реакционной способности свежесформированных поверхностей. Проведенные исследования показали, что предварительная физико-химическая активация позволяет коренным образом изменить свойства минеральных материалов и приготовляемых на их основе асфальтобетонов.

Сказанное выше об основных принципах физико-химической активации минеральных материалов выявляет основу рассматриваемой технологии, заключающейся в том, чтобы путем активного воздействия на молекулярные процессы регулировать макроскопические свойства асфальтобетона.

При этом, можно выделить две разновидности существующих механо-химических методов активации минерального порошка: помол сырья в присутствии различных ПАВ и активация частиц уже полученного минерального порошка путем их газифицирования в газовом потоке от сжигания различных органических веществ.

Первая разновидность технологически более проста, и прогресс в этом направлении возможен за счет расширения номенклатуры сырья путем использования нетрадиционных местных материалов и отходов производства в сочетании с эффективными и доступными активаторами. Вторая разновидность активационных технологий требует более сложного оборудования и нуждается в дальнейших исследованиях.

Анализ производства минерального порошка на ОАО «Доломит» показывает, что введение активатора в процессе помола затруднено в связи с высокой температурой в помольных агрегатах типа «Аэрофол». Активатор выгорает в открытом пламени, поскольку помол и сушка в мельницах «Аэрофол» совмещены. Поэтому был апробирован второй вариант активационной технологии – введение

активатора в распыленном состоянии в зоне осаждения нагретого минерального порошка в циклонах.

В настоящее время производственные мощности по производству минеральных порошков на ОАО «Доломит» используются не в полную силу, имеется возможность перевести одну из 11 технологических линий на производство нового материала. Для этого необходимо разработать технологию введения активирующих веществ; оптимизировать режим помола доломита для доведения тонкости помола порошка до требований межгосударственного стандарта ГОСТ 16557-2005, действующего на территории Республики Беларусь и Российской Федерации; разработать нормативную базу для нового вида продукции (технологический регламент, технические условия на активирующие материалы).

В 2008 – 2009 г.г. специалистами Белорусского национального технического университета совместно со специалистами ОАО «Доломит» и ОАО «ДСТ-1 г. Витебск» были проведены поисковые исследования по получению активированного минерального порошка и его применению в составе асфальтобетона, которые подтвердили перспективность данной работы.

Учитывая имеющиеся положительные результаты проведенных исследований в 2009 г на производственных базах ОАО «Доломит» и ОАО «Дорожно-строительного треста № 1 г. Витебск», были проведены опытные работы по отработке технологии получения и применения активированного минерального порошка.

В производственных условиях ОАО «Доломит» был осуществлен выпуск опытной партии активированного минерального порошка по технологии, разработанной специалистами БНТУ совместно с ИОНХ НАН РБ, которая заключается в помоле доломита в присутствии активатора материалов из карбонатных пород (АкВ) по ТУ ВУ 101474788.3-2009 (1,5–2,0 % от массы доломита).

Сравнительные испытания полученного активированного минерального порошка и традиционного неактивированного порошка были произведены в соответствии с ГОСТ 16557-2005, результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование показателя	Значение для порошка		
	Активированный порошок	Неактивированный порошок	Требования ГОСТ 16557-2005 для активированного порошка
Зерновой состав, % по массе: менее 1,25 мм менее 0,315 мм менее 0,071 мм	100 99 81	100 91 72	не менее 100 не менее 90 не менее 80
Пористость, %	23	29	не более 30
Набухание образцов из смеси порошка с битумом, %	1,4	2,2	не более 1,8

Были проведены сравнительные испытания на битумоемкость по ГОСТ 12784-78. Битумоемкость активированного порошка составила 49 г/100 см<sup>3</sup>, неактивированного – 65 г/100 см<sup>3</sup>.

Партия АМП отгружена в адрес асфальтобетонного завода «Ксты» ДСУ-2 (г. Полоцк).

По данным планово-экономического отдела ДСУ-2 в июле-сентябре 2009 г на АБЗ «Ксты» с применением АМП было выпущено 8516,24 т асфальтобетонных смесей пяти составов.

Смеси были уложены на объектах городов Полоцк и Новополоцк, а также Полоцкого района. В качестве опытного участка для наблюдения за состоянием асфальтобетона с применением АМП был принят участок на а/д Р-20 Витебск – Полоцк – гр. Латвийской республики (км 114,5–128,0).

Выполненные планово-экономическим отделом ДСУ-2 расчеты позволили оценить экономический эффект от применения опытной партии АМП, который только за счет снижения расхода битума в составе смесей составил при приготовлении одной тонны асфальтобетонной смеси 1212 руб.

Выводы и предложения:

1. Разработанная технология получения АМП приемлема для ОАО «Доломит».

2. Полученный в условиях ОАО «Доломит» активированный минеральный порошок обеспечивает производство асфальтобетонных смесей, удовлетворяющих требованиям СТБ 1033-2004.

3. Предлагается рассмотреть возможность снижения стоимости активирующего вещества за счет уменьшения расхода активатора путем замены части его более дешевыми добавками в процессе производства АМП, что позволит увеличить экономический эффект от применения АМП.

### **Литература**

1. Ковалев, Я.Н. Активационно-технологическая механика дорожного асфальтобетона / Я.Н. Ковалев. – Минск: Вышш. Шк., 1990. – 180 с.

2. Ковалев, Я.Н. Активационные технологии дорожных композиционных материалов: монография. – Минск: Бел.эн., 2002. – 336 с.

3. Дорожный асфальтобетон / под. ред. Л.Б. Гезенцева. – 2-е изд. – Минск: Транспорт, 1985. – 350 с.

4. Порошок минеральный для асфальтобетонных и органо-минеральных смесей. Технические условия: ГОСТ 16557-2005.

5. Смесей асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия: СТБ 1033-2004.

6. Смесей асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Методы испытаний: СТБ 1115-2004.

## **ТРАССИРОВАНИЕ САМОПОЯСНЯЮЩИХ И САМОРЕГУЛИРУЮЩИХ ДОРОГ**

**Величко Г.В., канд. техн. наук**

*ООО «Кредо-Диалог»*

*(г. Минск, Республика Беларусь)*

Зависимость безопасности криволинейного движения от большого числа факторов обуславливает необходимость уточнения не только норм минимальных радиусов, но и поиска комплексных решений, снижающих риски закруглений в сложных дорожных условиях. В идеале закономерности внутренней и внешней гармонии зрительно плавных трасс должны информировать водителей об

изменении дорожных условий, а параметры плана, продольного и поперечного профиля дорог должны быть согласованы с проектируемыми режимами движения и инициировать их. Такие дороги определены как *самопоясняющие* и *саморегулирующие*. Анализ клотоид [1] показал, что свойственная им закономерность кривизны не соответствует этим требованиям.

### Требуемые конструктивные и функциональные свойства переходной кривой

Закономерность плавного перехода кривизны от нулевой к максимальной должна быть обусловлена и геометрическими (конструктивными) и функциональными требованиями. Конструктивные требования направлены на соблюдение правил сопряжения достаточно длинных переходных кривых при типичных ограничениях угла  $\beta$  и радиуса  $R$  в большинстве дорожных закруглений. Необходимость существенного увеличения длины  $L$  обосновывается следующим.

Соответствие выбираемых водителями режимов движения реальным функциональным возможностям критических участков трассы формируется на подходах к ним в течение некоторого времени  $t$ . Это время состоит из времени реакции  $t_p$  и времени  $t_{cc}$ , необходимого для безопасного и заблаговременного снижения скорости до въезда на круговую кривую. Расчетное время реакции  $t_p$  водителя оценивается в 2,5–3 с, а время  $t_{cc}$  может достигать 5–15 с. Для изменения режима движения на переходных кривых за время  $t_p+t_{cc}$ , их длины должны быть существенно больше, чем длины применяемых клотоид.

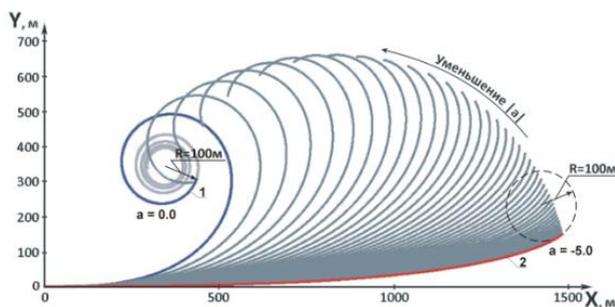


Рис. 1. Сходимость переходных кривых  $L = 1500$  м и  $R = 100$  м от VGV\_Kurve c

$a = -5,0 \text{ м/с}^2$  (кривая 2) к соответствующей  $a = 0,0 \text{ м/с}^2$  клотоиде (кривая 1)

Обоснование закономерности кривизны переходных кривых не при постоянной, а при более критичной для безопасности и удобства движения переменной скорости [2], способствует «разгибанию» спирали Корню и постепенному превращению клотоиды в множество других, более совершенных переходных кривых. Возрастающее по мере улучшения функциональных и конструктивных свойств множество кривых типа *VGK\_Kurve* начинается именно со спирали, т.е. с клотоиды (рис. 1). Аналитически это подтверждается тем, что при постоянной скорости  $v = const$  ( $a = 0 \text{ м/с}^2$ ), скорость нарастания общего ускорения  $J$  обусловлена увеличением только центробежной силы, а кривизна *VGK\_Kurve*  $k_t = \sqrt{Jt(2|a| + Jt)} / (v_0 + at)^2$  превратится в закономерность кривизны клотоиды  $k_t = vt/RL$  или  $k_t = l/RL$  (рис.1, кривая 1).

### Принципы нормирования новых переходных кривых

В комплексе обеспечивающих безопасность решений, значительная роль отводится самопосягающим и саморегулирующим свойствам переходных кривых. При заданном радиусе  $R$  и большой длине  $L$  эти свойства формируются в процессе установления требуемой закономерности кривизны *VGK\_Kurve*. При этом учитывается следующее.

Во-первых, скорость изменения кривизны  $dk/dt$ , функционально значимый максимум которой наблюдается в конце *VGK\_Kurve*, должна соответствовать допустимой скорости нарастания центробежного ускорения  $J_{pac}$ . Фактическую величину этого общепринятого критерия удобства движения  $J_\phi$  на любых переходных кривых следует вычислять с учетом прогнозируемых ускорений  $a_\phi$  по формуле:  $J_\phi = \frac{dk}{dt} v^3 + 2va_\phi k$ , поскольку им более свойственна переменная, чем постоянная скорость движения.

Во-вторых, вычисленной таким образом величины расчетного ускорения  $a_{pac}$  должно быть достаточно для безопасной реализации того фактического ускорения  $a_\phi$ , которое в неблагоприятных погодных условиях может быть обеспечено коэффициентом сцепления  $\phi$ .

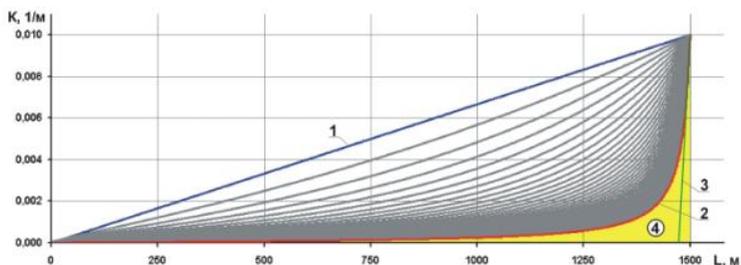


Рис. 2. Варьируемая кривизна множества VGV\_Kurve с  $L = 1500$  м и  $R = 100$  м:

1 – VGV\_Kurve при  $a = 0,0$  м/с<sup>2</sup> (клотоида),

2 – VGV\_Kurve при  $a = -5,0$  м/с<sup>2</sup>,

3 – клотоида с таким же темпом изменения кривизны, как в конце VGV\_Kurve (2),

4 – площадь, эквивалентная углу  $\beta$  (радианы) дуги VGV\_Kurve (2)

В-третьих, угол дуги VGV\_Kurve не должен превышать конструктивно обоснованного предела  $\beta_{max}$ , обычно определяемого как половина угла поворота трассы. Для этого необходимо контролировать величину угла  $\beta = \int_0^L k(l) dl$ .

### Анализ режимов движения на переходной кривой типа VGV\_Kurve

При движении по длинной переходной кривой типа VGV\_Kurve, например, с  $L = 1500$  м и  $R = 100$  м, вполне предсказуемы режимы движения в которых явно выделяются фазы воздействия её самопоясняющих и саморегулирующих свойств. Фаза воздействия самопоясняющих свойств проявляется на достаточно длинной ее части  $L_1 \approx 0,75L$  с  $R \geq 3000$  м, на протяжении которой закономерность кривизны VGV\_Kurve информирует водителя о направлении и тенденции ее увеличения.

Кривизна последующих отрезков участка  $L_2 \approx 0,25L$  с радиусами  $R < 3000$  м оценивается водителями дискретно [4], что вынуждает водителей двигаться с замедлением  $a_\phi \neq 0$ . Каждый из этих отрезков преодолевается водителем за время  $t$ , соизмеримое или превышающее время реакции  $t_p = 1-2,5$  с. Это облегчает выбор соответствующего режима движения и минимизирует ошибки водителей, свойственные этому процессу в дорожных ситуациях с удовлетворительными ( $\varphi = 0,3-0,4$ , чистое мокрое покрытие, числитель) и неблагоприятными ( $\varphi = 0,2$ , снежный накат, знаменатель) условиями движения.

### Общие принципы и примеры конструирования S-ТРАСС <sup>3</sup>

Конструирование S-трасс с кривыми типа *VGV\_Kurve* принципиально отличается от полигонального трассирования. Как правило, в обоснованной полосе варьирования трассы проектировщики намечают обход рельефных и ситуационных препятствий, который трассируется  $n$ -ым числом дуг круговых кривых (дуги окружностей  $O_i$  и  $O_{i+1}$  на рис. 3), сопрягаемых переходными кривыми *VGV\_Kurve*. Альтернативные трассы определяются новыми параметрами и местоположением множества новых дуг  $O_1, \dots, O_n$ .

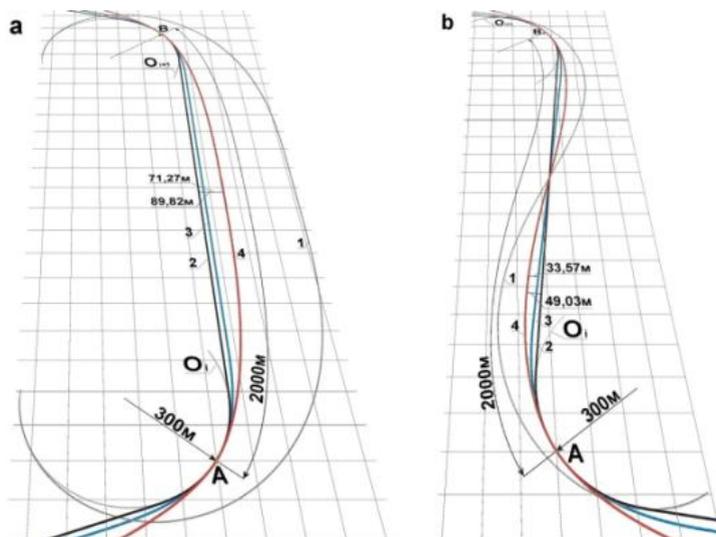


Рис. 3. Варианты (1, 2, 3, 4) конструирования С-образного (а) и S-образного (б)

сопряжений не полигональных трасс:

- 1 – неосуществимое с клотоидами сопряжение без прямой вставки,
- 2 – сопряжение с клотоидами нормативной длины,

---

<sup>3</sup> Предлагаемый термин «S-трасса» классифицирует трассы, самопоясняющие и саморегулирующие свойства которых обеспечены конструктивными и функциональными характеристиками переходных кривых типа *VGV\_Kurve*.

- 3 – сопряжение с клотоидами максимально возможной длины,
- 4 – опряжение с кривыми типа *VGV\_Kurve* без прямой вставки

Примеры проекций фрагментов таких *S*-трасс иллюстрируют существенное отличие *C*- и *S*-образных сопряжений от их аналогов в традиционных и «клотидных» трассах (рис. 3). К функциональным преимуществам *S*-трасс, которые обусловлены принципами нормирования *VGV\_Kurve* и комплексным проектированием закруглений со значительно усиленными свойствами самопояснения и саморегулирования, следует отнести также и то, что их непрерывная криволинейность:

- улучшает согласование пространственной трассы с рельефом местности;
- улучшает обзор дорожной ситуации и облегчает оценку дистанций и скоростей движения всем водителям (а не только лидеру колонны);
- уменьшает степень ослепления светом фар встречных автомобилей в ночное время;
- устраняет усыпляющую монотонность движения;
- способствует плавному изменению режимов и скорости движения;
- повышает зрительную плавность трасс.

Достижение этих преимуществ не требует значительного удлинения *S*-трасс. По сравнению с рассматриваемыми традиционными и «клотидными» аналогами, относительное удлинение *C*- и *S*-образных сопряжений не превышает 1–1,5 %.

### Литература

1. Величко, Г.В. Современные методы проектирования клотидных кривых / Г.В. Величко // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2009. – № 4.
2. Величко, Г.В. Развитие методологии нормирования и проектирования переходных кривых переменной скорости движения / Г.В. Величко // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. – № 4.
3. Лобанов, Е.М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя / Е.М. Лобанов. – Минск: Транспорт, 1980.

УДК 625/01

**ФАКУЛЬТЕТ ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ БНТУ –  
ДОРОЖНЫЙ ЦЕНТР ИННОВАЦИОННОЙ, НАУЧНОЙ  
И ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

**Вербило И.Н., канд. техн. наук, доцент**  
*Белорусский национальный технический университет*  
*(г. Минск, Беларусь)*

Факультет транспортных коммуникаций БНТУ был основан в 1978 году как факультет дорожного строительства на базе факультета гидротехнического и дорожного строительства. В 1998 году в связи с изменениями, происшедшими в структуре специальностей, в направлении подготовки специалистов и научном направлении факультет был переименован в факультет транспортных коммуникаций (ФТК) (решение совета факультета дорожного строительства от 30.03.98 г.) Новое название более полно отражает направленность развития факультета.

В настоящее время ФТК готовит кадры по всему дорожно-транспортному комплексу, в том числе по строительству дорог и аэродромов, мостов и тоннелей, метрополитенов, дорожно-строительных машин. Главной задачей ФТК является подготовка, переподготовка и повышение квалификации инженерных кадров республики в области строительства, ремонта и эксплуатации транспортных коммуникация, проведение научных исследований и внедрение результатов в производство.

На ФТК, в настоящее время, студенты обучаются на дневном и заочном отделениях по пяти специальностям:

1-36 11 01 «Подъемно- транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование»;

1-70 03 01 «Автомобильные дороги»;

1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены»;

1-27 01 01 «Экономика и организация производства» (автодорожное хозяйство);

1-56 02 01 «Геодезия» по специализации 1-56 02 01 02 «Инженерная геодезия».

В состав факультета входят 7 кафедр (в том числе 5 выпускающих и 2 общеобразовательных, которые активно участвуют в учебном процессе).

Выпускающие кафедры: «Строительство и эксплуатация дорог»; «Проектирование дорог»; «Мосты и тоннели»; «Строительные, дорожные, подъемно-транспортные машины и оборудование»; «Инженерная геодезия».

Общеобразовательные кафедры: «Сопrotивление материалов и теория упругости»; «Высшая математика № 3».

В 2009 – 2010 учебном году на ФТК была открыта новая специальность 1- 56 02 01 – Геодезия. Данное решение было принято во исполнение протокола заседания Президиума Совета Министров Республики Беларусь № 26 от 11.08.2009 года, реализации плана мероприятий по совершенствованию работы строительной отрасли и обеспечению ее устойчивого развития.

ФТК работает над решением актуальных проблем теории и практики по следующему общему факультетскому научному направлению: «Разработка новых подходов и совершенствование проектных решений при проектировании и строительстве автомобильных дорог и транспортных сооружений с применением компьютерных технологий».

Основными направлениями решения поставленных перед коллективом факультета задач являются:

1. Разработка, исследование и внедрение новых конструктивных решений транспортных зданий и сооружений на основе применения новых строительных материалов повышенной долговечности.
2. Совершенствование расчета дорожных одежд.
3. Разработка компьютерных программ для решения конкретных проектных задач.
4. Совершенствование норм проектирования с учетом климатических условий Республики Беларусь.

В текущем году научная деятельность на факультете осуществлялась сотрудниками семи кафедр, двумя научно-исследовательскими лабораториями, студенческим проектным бюро и двумя центрами научных исследований, сектором «Подъемные сооружения».

Кроме вышеперечисленных подразделений, на ФТК функционирует учебно-научно-производственный центр «Автомобильные

дороги», на котором проходят повышение квалификации работники дорожной отрасли.

В общей сложности на факультете работают 9 докторов наук и 54 кандидата наук, существует 4 научные школы. Общая численность сотрудников кафедр 149 человек. Общая численность сотрудников НИЧ на ФТК 55 человек.

По государственным программам ориентированных фундаментальных исследований выполняется 6 работ. Число госбюджетных тем координируемых НАН Беларуси также говорит о научном потенциале факультета. Кафедрами ФТК завершен четвертый этап проведения исследований по заданиям Министерства Образования Республики Беларусь в области прикладных исследований и разработок по второй половине дня, общее количество 8 тем.

Подготовка научных кадров осуществляется по двум специальностям. Общее количество аспирантов, проходящих подготовку, 14 человек. Сдавшие кандидатские минимумы в отчетном году – 9 человек. В соответствии с перспективным планом защит диссертационных работ на следующий год запланирована 1 докторская и 4 кандидатские диссертации.

Наиболее важными результатами научной деятельности факультета, которые непосредственно внедрены в практику, являются: разработка составов и внедрение в производство защитных материалов, внедрение в производство комплексных добавок, проектирование, расчет и внедрение в практику конструкций для капитального ремонта обеспечивающих продление сроков службы, исследование и внедрение новых конструктивно-технологических решений транспортных зданий и сооружений, совершенствование теории расчета строительных конструкций; разработка составов и внедрение в практику асфальтобетонных смесей повышенной деформационной устойчивости; разработка нормативной базы с учетом особенностей Республики Беларусь.

По результатам исследований получены 3 заявки на изобретение.

Получена благодарность ГКНТ РБ за активное участие в развитии белорусско-китайского научно-технического сотрудничества. В рамках проекта научно-технического сотрудничества между Республикой Беларусь и Китайской Народной Республикой на период 2006 – 2010 годов № СВ7-3-02 «Создание Китайско-Белорусского центра научных исследований в области строительства и эксплуатации

дорог». Внедрена методика диагностики асфальтобетонных покрытий дорог второй категории в зависимости от их состояния и уровня надежности с прогнозированием срока службы и определением мероприятий содержания и ремонта применительно к погодноклиматическим условиям провинции Хэнань.

Внесены изменения в ТКП 45-3.03-3-2004 «Проектирование дорожных одежд улиц и дорог населенных пунктов», с учетом накопившегося опыта в проведении диагностики и обследовании улиц и дорог городов и населенных пунктов.

По заказу Министерства транспорта и коммуникаций кафедрой «Мосты и тоннели» совместно с учеными Евросоюза и США, в рамках программы по внедрению новой нормативно-правовой технической базы разработаны и апробированы разделы технических кодексов по проектированию мостов на территории Республики Беларусь отвечающих международным стандартам.

Объем выполненных хоздоговорных работ составляет 1,5 млрд. руб. По заказам иностранных предприятий в целях налаживания международного сотрудничества выполняется работа по исследованию дорожных материалов суммой \$50 тыс.

При подведении итогов ЦНИИДСГМ занял 1 место в БНТУ.

Кафедры проводят совместные исследования с Государственными и частными предприятиями «БелдорНИИ», «Мостострой», «Белгипродор», «Минскметропроект» и это далеко не полный перечень организаций, с которыми кафедры и научные подразделения поддерживают постоянные тесные связи.

Маркетинговая деятельность осуществляется по всем направлениям: участие в республиканских и международных научно-технических конференциях, поездки по приглашениям различных зарубежных компаний, проведение собственных научно-технических конференций, рассылка анкет оценки удовлетворенности заказчика и рекламная деятельность.

Сотрудники ФТК в отчетном году приняли участие в международных научных конференциях и семинарах: Китайская общенациональная конференция по содержанию автомагистралей, г. Чонцин, КНР, 18 – 20 апреля 2009 г.; II International Conference «Environmentally Friendly Roads. ENVIROAD 2009». Warsaw, October 15–16, 2009 и др.

Общее количество публикаций за 2009 год составило 201, из них 159 по кафедрам и 42 по подразделениям.

В этом году проводится международная конференция «Перспективные направления проектирования, строительства и эксплуатации дорог, мостовых и подземных сооружений», посвященная 90-летию БНГУ.

Количество студентов, привлекаемых к выполнению НИР, постоянно растет. В 2009 г. в НИРС приняло участие 203 студента, которые сделали 110 докладов на студенческих научно-технических конференциях.

Что касается перспектив развития научной и инновационной деятельности факультета, на основе анализа возможных подходов и принципов с учетом опыта проведения аналогичных работ в ряде регионов России, целесообразно создавать центры коллективного пользования в вузе на основе комплексного подхода к решению проблем измерений, контроля и испытаний, однако эти центры должны быть доступны, должен быть разработан механизм по его целевому использованию.

Эффективность НИОКР на современном этапе во многом зависит от программного и лабораторного обеспечения, которым пользуются исследователи в своих разработках. В связи с этим привлечение программистов, механиков к различного рода научным разработкам весьма актуально. Проведение НИОКР на стыке научных направлений всегда плодотворно и дает беспорный результат.

Любое развитие невозможно без обмена опытом и не только с региональными коллегами, но и с коллегами из-за рубежа. Это усложняется системой оформления командировок при выезде за границы Республики Беларусь, что мешает упрочнению контактов с зарубежными партнерами.

Еще одно направление, которое требует пристального внимания на факультете – это активизация работы по подготовке кадров высшей квалификации:

- более тщательная работа по подбору кадров в магистратуру и аспирантуру;
- всесторонняя помощь и постоянный контроль за работой аспирантов и соискателей.

Материально-техническая база на кафедрах и в лабораториях не удовлетворяет требованиям первого вуза Республики Беларусь.

Необходимо в кратчайшие сроки исправить сложившуюся ситуацию. Кафедры и лаборатории выполняют сложнейшие научные исследования, обрабатывают большое количество информации, с которым не в состоянии справиться устаревшая вычислительная техника и оборудование. Необходимо создание упрощенного и быстрого механизма закупок.

Ввиду нехватки или недоступности современного оборудования приходится обходиться только теоретическими исследованиями, а ведь основная задача теоретиков является внедрение в практику новейших разработок, если сегодня они не будут апробированы и внедрены, то завтра они могут устареть.

Сегодня наука является неотъемлемой частью производственного потенциала страны, базой ее инновационного развития. Исследования отечественных ученых во многом определяют будущее нашего государства, динамику роста благосостояния его граждан. Факультет транспортных коммуникаций уделяет первостепенное внимание своей интеллектуальной элите, ее социальному и материальному благополучию. Мы будем и впредь проводить мероприятия по укреплению авторитета ученых и осуществлять меры для привлечения молодых кадров в науку.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ УСТРОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ИХ УРОВЕНЬ НАДЕЖНОСТИ**

**Игошкин Д.Г.**

*Государственное предприятие «БелдорНИИ»  
(г. Минск, Беларусь)*

Асфальтобетон несущих слоев должен иметь максимальную надежность по всем факторам внешнего воздействия (критерии сдвигоустойчивости, температурной трещиностойкости, морозостойкости и усталостной долговечности).

Прочностные свойства асфальтобетона как многокомпонентного строительного материала зависят от его состава, структуры, температуры и времени действия нагрузки.

Формирование структуры асфальтобетона и ее разрушение при эксплуатационных воздействиях зависит от предельного напряжения сдвига (прочности дисперсной системы), от средней силы сцепления в контакте между частицами, числа этих контактов в единице объема, относительной плотности, удельной поверхности минеральной части асфальтобетонной смеси и характерного размера частиц дисперсной фазы [1].

При разработке технологических процессов устройства асфальтобетонных покрытий необходимо учитывать закономерности процессов структурообразования (образования и разрушения пространственных структур). Именно такой подход в итоге позволяет регулировать прочность связей, т. е. регулировать сцепление частиц дисперсных фаз в структуре образуемого асфальтового материала как на стадии получения асфальтобетонной смеси (полуфабриката), так и на стадии формирования из него готового продукта (дорожного асфальтобетонного покрытия).

Для изучения влияния температурных режимов приготовления и уплотнения смеси на физико-механические свойства асфальтобетона в соответствии с [2, 3] были изготовлены несколько партий асфальтобетонных образцов следующего состава:

Щебень фр. 5 – 10 мм	– 70 %;
Песок природный	– 20 %;
Минеральный порошок	– 10 %;
Битум БНД 90/130	– 6,3 %;
Целлюлозное волокно	– 0,3 %.

Смеси приготавливались при температуре от 100 до 160 °С, а образцы уплотнялись при температуре от 60 до 100 °С. Уплотняющая нагрузка подбиралась для каждой партии для обеспечения одинаковой плотности образцов.

По методикам, изложенным в [3], определялись показатели плотности, водонасыщения, предела прочности при сжатии при температуре 50 и 0 °С, тангенс угла внутреннего трения, сила сцепления, индекс сопротивления пластическим деформациям.

В соответствии с методикой [4] определялся общий уровень надежности асфальтобетона, который представляет собой вероятность безотказной работы материала покрытия (без появления сдвиговых деформаций, температурных и усталостных трещин, коррозионных разрушений) в течение всего расчетного срока службы.

По полученным результатам строились графики зависимостей частных коэффициентов запаса от температур приготовления и уплотнения асфальтобетонных смесей, приведенные на рис. 1 – 4.

Из номограммы, приведенной в [4] по полученным коэффициентам запаса определялись частные и общий уровни надежности.

Зависимость влияния температуры формирования структуры на общий уровень надежности асфальтобетона приведена на рис. 5.

Изменение физико-механических свойств асфальтобетонов имеющих одинаковые состав и плотность, но приготовленных при различных температурах объясняются особенностями структурообразования асфальтовяжущего вещества.

Чем выше температура перемешивания каменных материалов с битумом, тем интенсивнее протекают физико-химические процессы формирования микроструктуры. Битум интенсивно стареет вследствие окисления и перераспределения составляющих группового состава битума.

Анализ рисунков 2 – 4 показывает, что при температуре приготовления смеси равной 160 °С значения коэффициентов запаса трещиностойкости, усталостной долговечности, коррозионной стойкости стремятся к единице.

Полученные данные показывают, что образцы асфальтобетона, имеющие одинаковую среднюю плотность, но уплотненные при более низкой температуре, имеют и более низкие прочностные свойства (рис. 1).

Снижение прочностных свойств объясняется тем, что при низкой температуре и высокой вязкости битума уплотнение происходит за счет разрушения пленок асфальтовяжущего вещества и минеральных частиц по микроплощадкам в зоне точечных контактов. На то, что при уплотнении смеси при температуре менее 90 °С происходит разрушение битумных пленок, указывает снижение значение сцепления (рис. 6).

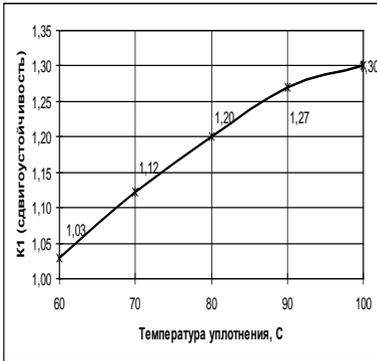


Рис. 1. Влияние температуры уплотнения на коэффициент запаса по сдвигоустойчивости асфальтобетона (температура приготовления 160 °C)

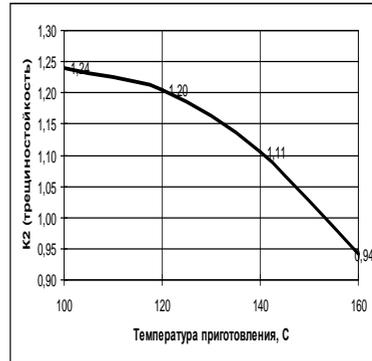


Рис. 2. Влияние температуры приготовления смеси на коэффициент запаса по трещиностойкости (температура уплотнения 100 °C)

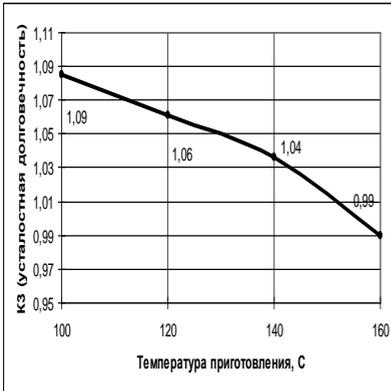


Рис. 3. Влияние температуры приготовления на коэффициент запаса по усталостной долговечности (температура уплотнения 100 °C)

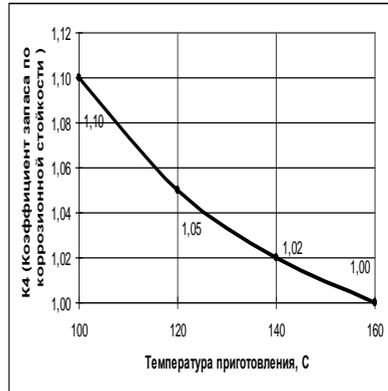


Рис. 4. Влияние температуры приготовления на коэффициент запаса по коррозионной стойкости (температура уплотнения 100 °C)

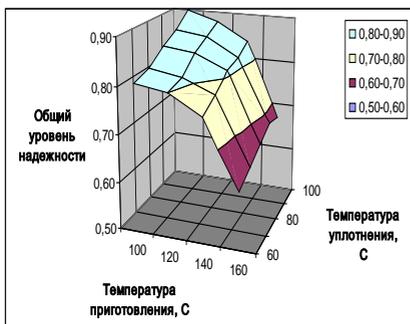


Рис. 5. Влияние температуры формирования структуры на общий уровень надежности асфальтобетона

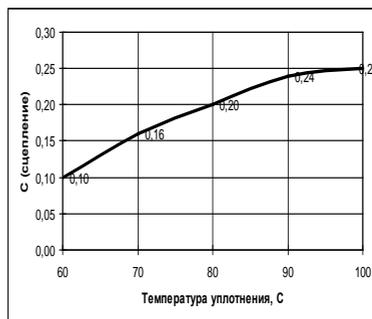


Рис. 6. Влияние температуры уплотнения на сцепление

Таким образом, подтверждается возможность управления процессом структурообразования асфальтобетона с помощью изменения температурных режимов приготовления и применения асфальтобетонной смеси.

### Заключение

1. Показатели «коэффициент уплотнения» и «водонасыщение» являются недостаточными при контроле качества уплотнения асфальтобетонного покрытия, так как не отражают особенностей протекания процессов структурообразования асфальтобетона на стадии укладки смеси и ее уплотнения. Проведенные исследования показывают, что важнейшим фактором, влияющим на прочность асфальтобетона, наряду с плотностью, является температура, при которой происходит перемешивание исходных компонентов и завершается уплотнение асфальтобетонной смеси.

2. Температура приготовления щебеночно-мастичной смеси не должна превышать 160 °С. Установлено, что асфальтобетонное покрытие обладает пониженной трещиностойкостью и долговечностью при условии приготовления асфальтобетонной смеси при повышенных температурах.

3. С точки зрения обеспечения требуемой прочности асфальтобетона и увеличения его долговечности эффективным является назначение минимальной температуры, при которой необходимо завершить работы по уплотнению асфальтобетонной смеси.

Для щебеночно-мастичных асфальтобетонных приготовленных на вязких битумах БНД 90/130 эта температура должна быть не ниже 90 °С. В случае уплотнения асфальтобетонных смесей при пониженных температурах, асфальтобетонное покрытие обладает пониженной сдвигоустойчивостью.

4. С помощью регулирования температуры приготовления и уплотнения асфальтобетонной смеси общий уровень надежности асфальтобетона, характеризующий вероятность безотказной работы покрытия, может быть увеличен на 20–25 % по сравнению с асфальтобетоном, приготовленным по традиционной технологии. Снижение температуры приготовления смеси позволит снизить стоимость работ по устройству асфальтобетонного покрытия.

### Литература

1. Котлярский, Э.В. Строительно-технические свойства дорожного асфальтового бетона: учебное пособие / Э.В. Котлярский; под ред. Э.В. Котлярского. – Минск, 2004. – 194 с.

2. Смесей асфальтобетонных дорожных, аэродромных и асфальтобетон. Технические условия: СТБ 1033 – 2004.

3. Смесей асфальтобетонных дорожных, аэродромных и асфальтобетон. Методы испытаний: СТБ 1115 – 2004.

4. Рекомендации по подбору состава асфальтобетонных смесей: ДМД 02191.7.003 – 2007.

УДК 625.855.3

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДОРОЖНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ НА РУБЕЖЕ XXI ВЕКА

**Ковалев Я.Н., д-р техн. наук, профессор**

*Белорусский национальный технический университет  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Основную материаловедческую проблему связывают два противоречивых требования: качество (К) дорожно-строительных материалов (прочность и долговечность) должно быть максимальным, а стоимость (С) – минимальной:  $C_{\min} \rightarrow \leftarrow K_{\max}$ . Практически разрешению

этого противоречия в дорожном материаловедении и посвящена вся существующая наука и ее технические приложения в этой области. Мы коснемся лишь отдельных фрагментов указанной проблемы.

Прежде всего, отметим, что и первое и второе требования тесно связаны с технологическим аспектом дорожного материаловедения и его научным сопровождением. Дорожное материаловедение является фундаментом технического прогресса в дорожной отрасли. В научном плане оно базируется на положениях фундаментальной науки: физики твердого тела, физической и коллоидной химии, реологии и механики разрушения композиционных материалов, работающих в сложных эксплуатационных режимах. При этом исследование поверхностных явлений на границе раздела фаз требует проникновения в микромир контактной зоны, изучаемой на атомно-молекулярном уровне. И это не «экзотика» (как полагают некоторые) методологического подхода, а реальная потребность поставить исследования дорожно-строительных материалов на более высокий уровень науки и техники. Указанное требование исторически оправдано. Мы прошли длительный эволюционный путь развития дорожного материаловедения, зависящего напрямую от экономического базиса, когда и уровень техники был низким, и доминирующим фактором было количество, а не качество. Так, например, с 30-х годов и в течение многих лет в технологии приготовления асфальтобетонных смесей использовали смесители свободного перемешивания (типа Г-1), которые не могли дать качественного перемешивания компонентов. В настоящее время на современных АБЗ работают смесители с динамическим перемешиванием и аэрозольным вводом вяжущего (фирма «Vibau»), а технологический цикл почти полностью автоматизирован. И хотя существующий уровень технологии АБЗ кажется многим самодостаточным, с точки зрения научного видения проблемы, он не является пока совершенным, поскольку не гарантирует высокого качества смеси в сочетании с низкой себестоимостью. На наш взгляд, сейчас не хватает прорывных технологических решений, позволяющих не только готовить качественные и низкостойкие полуфабрикаты, но и строить дороги с применением новых сборных конструктивных элементов дорожных одежд, изготовленных по современным технологиям в стационарных условиях.

Поскольку дорожное строительство требует значительных материальных и энергетических затрат, на первый план также выдвигается проблема ресурсосбережения. Она должна стать главной при осуществлении любой программы снижения себестоимости применительно к любому виду дорожно-строительной продукции. Решение проблемы ресурсосбережения в дорожной отрасли может идти двумя путями: первый основан на поиске резервов (совершенствовании) традиционных технологий; второй – реализуется на основе разработки и внедрения принципиально новых (прорывных) технологий. Как известно, весьма прогрессивным научным направлением в современном материаловедении является нанотехнология, которая предложена, прежде всего, для получения металлических и полимерных материалов и изделий. Эта технология декларируется как современное направление при получении конструкционных материалов с минимум микродефектов и приближающим реальную прочность инженерных изделий к теоретической прочности. Из таких целевых установок родился в свое время знаменитый принцип академика П.А. Ребиндера: «путь к высшей прочности материалов – через их разрушение». Метод предполагает разрушение естественно-природной структуры материала, устранение микронеоднородностей при тонком диспергировании и последующее создание из полученного вещества нового материала интегрированной бездефектной структуры. По такому пути пошла порошковая металлургия и дезинтеграторная технология. Академиком П.А. Ребиндером показано, что появление в структуре реальных тел микронеоднородностей различных типов, стимулирующих разрушение материалов даже при пониженных напряжениях, во многом связано с несовершенством проектирования составов и технологии. Профессор Урьев Н.Б. также отмечает, что одной из доминирующих причин значительного различия (часто на несколько порядков) в свойствах бездефектных твердых тел и реальных материалов, является несовершенство технологических процессов получения последних. Это относится, прежде всего, к процессам, которые включают операции измельчения, обработки поверхности частиц исходных компонентов, смешения их с вяжущими (гомогенизация), транспортирования и уплотнения смесей. Поэтому вопросам оптимизации технологии производства материалов с минимум структурных неоднородностей придается огромное значение технологами-исследователями во

всем мире. Теоретическое объяснение образования дефектности, образующейся на технологической стадии, сейчас найдено. Оно заключается в следующем. Появление микронеоднородностей в структуре готовых материалов (в нашем случае асфальто- и цементобетонов) является следствием проявления определенных особенностей в структуре высококонцентрированных дисперсных систем (смесей) на стадии их приготовления. Основные структурные особенности этих систем проявляются при сочетании сильно развитой межфазной поверхности  $S$  и большой концентрации твердой дисперсной фазы  $D$  в жидкой дисперсионной среде небольшого объема. Главное следствие такого сочетания  $S$  и  $D$  выражается в том, что в концентрированных системах самопроизвольно возникают термодинамически устойчивые пространственные микроструктуры (кластеры), образуемые за счет сцепления мельчайших частиц дисперсных фаз между собой. Для получения однородных структур с минимумом микронеоднородностей необходимо точно определять соотношение между потенциальной энергией взаимодействия (сцепления) разнофазных частиц и кинетической энергией, передаваемой этим частицам в процессе технологического передела (например, смешения с вяжущим). При создании прочных бездефектных структур дорожных бетонов необходимо, чтобы технология получения таких материалов обеспечивала: 1) максимально возможное межфазное сцепление структурных компонентов и 2) равномерное распределение твердой фазы в дисперсионной среде, объем которой всегда несравненно меньше, чем объем твердой фазы. Исходя из вышеизложенных положений, общими проблемными задачами, определяющими дальнейший технический прогресс в технологии производства дорожно-строительных композиционных материалов, можно считать: 1) увеличение физико-химической поверхностной активности взаимодействующих фаз на границе их раздела; 2) достижение максимальной гомогенности (однородности) перерабатываемых смесей, особенно при смешении и уплотнении многокомпонентных систем; 3) соблюдение принципа минимальной энергоемкости всех технологических процессов, и, в особенности, сокращения продолжительности тепловых процессов при подготовке органических вяжущих с целью уменьшения их старения. Решение перечисленных выше трех задач вполне достижимо с помощью современных технических средств и это подтверждает исторический опыт в области

технологии получения материалов. Действительно, на протяжении 200 лет в области технологий были известны и использовались в основном три классических приема: 1) механическое и химическое диспергирование (измельчение, растворение) исходных материалов; 2) изменение температуры и давления; 3) применение различных катализаторов, ускоряющих физико-химические процессы. Только сравнительно недавно (30 – 40 лет тому назад) появился не менее важный новый технологический прием: 4) активация жидких и твердофазных материалов, резко усиливающая их адгезионное взаимодействие на хемосорбционном уровне. Исследования показали, что для любых композиционных материалов применим следующий принцип обеспечения их прочности:  $E_{стр.} > E_{в.с.}$ , где  $E_{стр.}$  – энергия связи структурных компонентов композиционного материала (на границе раздела фаз);  $E_{в.с.}$  – энергия факторов внешней среды (механические транспортные нагрузки и погоднo-климатическое воздействие). При этом технологическое обеспечение неравенства должно соотноситься с экономическим принципом, т.е.:  $E_{стр.} \equiv E_{ак.}$ , где  $E_{ак.}$  – энергия, затрачиваемая на активацию компонентов дорожно-строительных материалов. Она должна корреспондироваться с требуемой структурной прочностью композита ( $E_{стр.}$ ). Из неравенства (1) следует, что, например, надежная работа дорожного покрытия возможна лишь при наличии у его материала некоторого запаса энергии структурных связей, т.е. если  $E_{стр.} - E_{в.с.} = + \Delta E$ . Исходя из этого, можно считать, что в случае, если  $\Delta E \geq 0$  активация компонентов предпочтительна, но не обязательна, а если  $\Delta E < 0$ , то она необходима. В зависимости от эксплуатационного режима работы инженерной конструкции, где используются традиционные бетоны или другие композиты, следует установить не только необходимость проведения активации компонентов тех или иных материалов, но и точное значение величины  $\Delta E$ , определяющей вид и энергоемкость активационных процессов. Промышленное освоение методов активации строительных материалов стало возможным благодаря ряду теоретических и экспериментальных работ, выполненных различными отечественными и зарубежными исследователями (Е.Г. Аввакумов, П.Ю. Бутягин, Л.Б. Гезенцевей, В.А. Золотарев, В.А. Каргин, Я.Н. Ковалев, И.А. Рыбьев, В.И. Соломатов, Н.Б. Урьев, Г. Хайнике, И.А. Хинт, Г. Джоуст и др.). Теоретическим фундаментом активационных технологий является

физико-химическая механика дисперсных материалов, на основе теоретических положений которой в Белорусском национальном техническом университете (БНТУ) сформировалось новое научное направление в дорожном материаловедении: «физико-химические основы активации твердо- и жидкофазных компонентов дорожных строительных материалов и создание эффективных технологий для их получения». При этом ядром активационных технологий является электрон-ионная технология (ЭИТ), которая базируется на ряде известных физических явлений: электрогидравлическом, трибоэлектрическом и эффекте вихревого слоя. Такой (первый) путь повышения качества и ресурсосбережения в дорожной отрасли открывает совершенно захватывающие перспективы использования некондиционного минерального (кремнеземистого) сырья и различных техногенных отходов промышленности. При этом резко сокращается стоимость конечной дорожно-строительной продукции, как за счет снижения транспортных расходов, так и за счет сравнительно низких затрат при использовании местных или утилизированных материалов по сравнению с затратами на приобретение новых, дефицитных. Вторым, не менее важным путем энергосбережения является анализ и реструктуризация теплоэнергетического хозяйства производственных предприятий дорожной отрасли, где используется теплоэнергетическая технология при производстве смесей (АБЗ) или прогрев готовых конструкций (заводы бетонных и железобетонных конструкций и полигоны). Третьим перспективным и совершенно новым (прорывным) является путь автономного круглогодичного приготовления асфальтовязущего вещества на отдельных цехах и его доставки на АБЗ по мере потребности в выпуске асфальтобетонных смесей заданного объема. Это позволит исключить из состава АБЗ сложное энергетическое хозяйство для приема, хранения и подготовки битумов при их подаче к смесителю, а также исключает необходимость иметь сложное складское хозяйство для минерального порошка. Полученные предварительные результаты по капсулированию битумов (БНТУ) и гранулированию асфальтовязущего вещества (БНТУ, БелдорНИИ) показали перспективность таких разработок. Повышение качества и ресурсосбережения в дорожной отрасли должно быть основано на более расширенном использовании результатов фундаментальных наук.

В частности, заслуживает внимания теория лауреата Нобелевской премии, профессора И. Пригожина. Изучаемая система движется по определенной траектории развития, на которой появляются особые точки («бифуркации»), где траектория в силу неравновесности разделяется на «ветви». Причем, все ветви теоретически равновозможны, но только одна из них, в силу объективных или субъективных причин, будет реализована на практике, т.е. станет доминирующей в данный момент времени. Нечто подобное можно проследить при анализе развития технологии получения дорожных и других композиционных материалов. Рассматривая эволюционный путь развития технологий строительных материалов с позиции неравновесных процессов, можно утверждать, что точки «бифуркаций» являются одновременно показателями (своеобразным «барометром») нестабильности и показателем жизненности какого-либо явления: в данном случае – рождающейся новой технологии. В заключение можно отметить следующее. Решение проблем дорожного материаловедения непосредственно связано с уровнем использования положений фундаментальных наук. Такое содружество является основой прорывных технологий, повышающих одновременно качество продукции и ресурсосбережение. Именно такая концепция должна стать ведущей идеологией теоретических и прикладных исследований в дорожном материаловедении на рубеже XXI столетия.

**НОВЫЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ  
К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ КАЧЕСТВА ДОРОЖНЫХ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Ковалев Я.Н., д-р техн. наук, профессор,  
Яглов В.Н., д-р хим. наук, профессор,  
Меженцев А.А., канд. техн. наук, доцент,  
Бурак Г.А., канд. техн. наук, доцент,  
Евсеева Е.А., канд. техн. наук, доцент,  
Кречко Н.А., Шагойко Ю.В.**

*Белорусский национальный технический университет  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

**1. Фосфогипс, как температуропонижающая добавка при  
получении асфальтобетона.**

Строительство асфальтобетонных покрытий связано с большими энергетическими затратами. Наибольшая часть затрат энергоносителей при производстве работ приходится на производство асфальтобетонной смеси. При приготовлении 100 тонн асфальтобетона затрачивается 3,5 тонны мазута.

В настоящее время температура выпускаемых горячих асфальтобетонных смесей составляет (150–165) °С. В то же время высокая температура технологических процессов приготовления и укладки смеси является причиной старения битума и, как следствие, преждевременного разрушения асфальтобетона. При более низкой температуре приготовления ухудшаются качество перемешивания компонентов и удобоукладываемость готовой смеси, что снижает качество выполняемых работ. Необходимо было найти компромисс. С этой целью были проведены экспериментальные исследования влияния фосфогипса на технологические свойства асфальтобетона типов ЩМСц I/2,2, ЩМАг I/2,75, ЩМБг I/2,75. Составы асфальтобетонов приведены в таблице 1.

Коэффициенты водостойкости и морозостойкости при длительном водонасыщении определялись по СТБ 1115. Результаты определения коэффициентов водостойкости и морозостойкости

асфальтобетона в зависимости от содержания фосфогипса приведены в таблице 2.

Таблица 1

Составы асфальтобетона

№ п/п	Тип смеси	Щебень, %	Отсев, %	Минеральный порошок, %	Битум, %	Фосфогипс, %
1	С	72	18	10	6,2	0
2	С	72	18	10	6,2	0,5
3	С	72	18	10	6,2	1,0
4	А	54	34	12	5,7	0
5	А	54	34	12	5,7	0,5
6	А	54	34	12	5,7	1,0
7	Б	46	47	7	5,5	0
8	Б	46	47	7	5,5	0,5
9	Б	46	47	7	5,5	1,0

Таблица 2

Физико-механические свойства асфальтобетонов

№ п/п	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	W, %	R50, МПа	R0, МПа	Rсдв, МПа	Квод	К мор
1	2,45	0,9	1,04	2,65	2,32	0,89	0,91
2	2,45	0,8	1,02	2,74	2,35	0,92	0,97
3	2,46	0,8	1,07	2,95	2,43	0,93	0,93
4	2,50	1,5	1,47	3,35	2,72	0,76	0,72
5	2,51	1,4	1,52	3,42	2,87	0,78	0,75
6	2,51	1,6	1,58	3,46	2,84	0,73	0,71
7	2,48	1,8	1,95	2,89	2,53	0,80	0,67
8	2,48	1,7	2,02	3	2,56	0,82	0,8
9	2,47	1,65	1,97	3,05	2,55	0,83	0,7

Примечание:  $\rho$  – плотность, г/см<sup>3</sup>, W – водонасыщение, %, R 50 – предел прочности при сжатии при 50 °С, МПа, R 0 – предел прочности при растяжении при 0 °С, МПа, R сдв – предел прочности при сдвиге при 50 °С, МПа, К вод – коэффициент водостойкости, К мор – коэффициент морозостойкости.

Результаты определения интенсивности старения асфальтобетона в зависимости от количества добавки приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты определения коэффициента старения асфальтобетона

№ п/п	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	W, %	R50, МПа	R0, МПа	Kc
1	2,45	0,9	1,04	2,65	0,87
2	2,45	0,8	1,02	2,74	0,90
3	2,46	0,8	1,07	2,95	0,92
4	2,50	1,5	1,47	3,35	0,82
5	2,51	1,4	1,52	3,42	0,83
6	2,51	1,6	1,58	3,46	0,83
7	2,48	1,8	1,95	2,89	0,80
8	2,48	1,7	2,02	3	0,82
9	2,47	1,65	1,97	3,05	0,83

Примечание:  $\rho$  – плотность, г/см<sup>3</sup>, W – водонасыщение, %, R 50 – предел прочности при сжатии при 50 °С, МПа, R 0 – предел прочности при растяжении при 0 °С, МПа, K c – коэффициент старения асфальтобетонной смеси.

Полученные данные показывают, что введение в состав асфальтобетонной смеси фосфогипса в количестве до 0,5 % от массы минеральной части позволяет повысить коррозионную стойкость и устойчивость к старению горячих асфальтобетонов.

## 2. Использование неорганических люминофоров для обустройства дорог.

Интенсивность движения на автомобильных дорогах с каждым годом увеличивается. В этих условиях роль всех элементов регулирования и обеспечения безопасности дорожного движения значительно возрастает. Поэтому применяемые материалы и технологии должны обеспечивать их постоянное наличие и хорошую видимость на дороге, особенно в темное время суток.

Анализ публикаций показывает, что основными направлениями исследований в этой области являются работы по созданию новых светящихся красок с использованием неорганических люминофоров. Основными характеристиками люминофоров являются: **цвет свечения**, определяемый спектром излучения, максимум которого может быть как в видимой области, так и в невидимой (инфракрасной или ультрафиолетовой); **выход** — коэффициент трансформации

поглощенной энергии в излучение; **инерционность** — длительность свечения после прекращения возбуждения; она может колебаться от  $10^{-9}$  с до многих часов.

В работе использовали люминофор – алюминат стронция, допированный европием и диспрозием марки ТАТ 33. К преимуществам предлагаемого люминофора относятся:

- период послесвечения в 50 раз больше, чем у обычного фосфора;
- активация волнами разной длины (200–450 нм);
- начальная яркость послесвечения в 10 раз выше, чем у других пигментов;
- увеличение люминесценции и послесвечения с увеличением времени активации;
- погодная и световая устойчивость.
- отсутствие опасных для здоровья и радиоактивных веществ.
- не загрязняет окружающую среду и обладает высокой химической стабильностью.

Скорость зарядки люминофора показывает как быстро ТАТ 33 заряжается от солнечного света в канделах на  $1 \text{ м}^2$  (рис. 1).

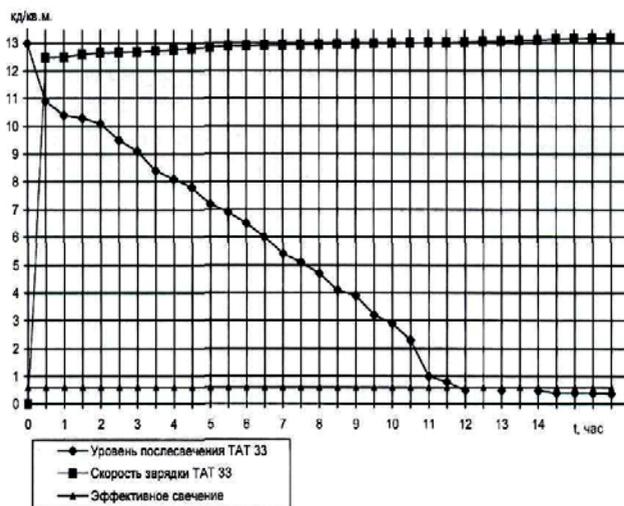


Рис. 1. График зарядки и послесвечения люминофора ТАТ-33

Сравнительные свойства люминофоров приведены в таблице 4.

Таблица 4

## Сравнительные свойства люминофоров

Свойства люминофоров	Люминофор ТАТ 33 с длительным послесвечением	Обычные фосфоресцентные пигменты с коротким послесвечением.
Химический состав	$Sr_4Al_{14}O_{25} \cdot Eu, Dy$	$ZnS \cdot Cu$
Цвет	Светлый желто-зеленый	Желто-зеленый
Цвет послесвечения	Зеленый	Зеленый, голубой, красный, фиолетовый и т.д.
Размер частиц	60-80 nm	20-40 nm
Длина волны света возбуждения	200-450 nm	200-450 nm
Длины волны излучаемого света (пик)	580 nm	530 nm
Яркость послесвечения	Около 340 mcd/m <sup>2</sup>	20-30 mcd/m <sup>2</sup>
Время угасание послесвечения	Больше 3000 минут	После 200 минут
Время активации	Около 20 минут	Около 4 минут
Светостойкость	Более 1000 часов	10-24 часов
Плотность	3,6 г/см <sup>3</sup>	4,1 г/см <sup>3</sup>

Из графика (рис. 1) видно, что максимальный уровень яркости достигается достаточно быстро. Нахождение ТАТ 33 под солнечным светом не приводит к значительному увеличению яркости послесвечения, но время зарядки ТАТ 33 напрямую связано с временем послесвечения. Идеальная люминесцирующая краска должна быть

источником непрерывного излучения света, без какого бы то ни было внешнего источника энергии.

В связи с этим, для изготовления светосоставов постоянного действия (СПД) применяли искусственный радиоактивный препарат,  $^{147}\text{Pm}$  в виде соли  $\text{PmCl}_2$ . Преимущество использования этого  $\beta$ -излучателя заключается в том, что его излучение (электроны с различной энергией) легко задерживается тонкими защитными слоями и экранами.

### **3. Цементное вяжущее, модифицированное наночастицами кремнезема.**

При получении гелей кремниевой кислоты методом нейтрализации соляной кислотой установлено, что наиболее сложна скорость гелеобразования зависит от pH среды. При отсутствии в системе электролита и модифицирующих добавок гелеобразование протекает с минимальной скоростью в области pH 2 – 3. Максимальная скорость процесса приходится на область pH от 5 до 7. Значение pH, при которых золи проявляют минимальную устойчивость, зависят от следующих факторов: природы кислоты, наличия электролитов, концентрации кремнезема, температуры и т.д. Скорость гелеобразования максимальна при pH 5,5 – 6,0.

Использование полученных наночастиц показало, что их роль в формировании структуры цементного камня разноплановая. Во-первых, они участвуют в химической реакции образования новой кристаллической фазы – низкоосновных гидросиликатов кальция, тогда как без модификатора первичными являются высокоосновные гидросиликаты кальция, во-вторых, эти новообразования заполняют микропоры своими кристаллическими сростками и повышают плотность и прочность бетона, и в-третьих низкоосновные гидросиликаты кальция являются активными центрами кристаллизации.

Таким образом, наноразмерные частицы  $\text{SiO}_2$  являются перспективными модификаторами цементного камня и бетона.

**СОВРЕМЕННАЯ ПРИБОРНАЯ БАЗА ДЛЯ КОНТРОЛЯ  
КАЧЕСТВА ДОРОЖНО-МОСТОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА  
И ОСНАЩЕНИЯ СЛУЖБ ТЕХНИЧЕСКОГО НАДЗОРА**

**Концевой В.А., Олляк В.Ю.**

*ООО «Белавалон»*

*Белорусский национальный технический университет  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Одной из ключевых задач, стоящих перед строительным комплексом Республики Беларусь, является повышение уровня качества строительства, в том числе и дорожно-мостового. Особое значение решение указанной задачи приобретает в последнее время в связи с дефицитом финансирования отрасли.

Нередко финансовые средства используются на устранение брака и других нарушений, допущенных в процессе строительства, а также на внеочередные ремонты в процессе эксплуатации объектов.

Для обеспечения требуемого уровня качества строительно-монтажных работ должно быть обеспечено соответствие действующим ТНПА всей номенклатуры контролируемых параметров и показателей, норм и критериев приёмки:

- бетонных и каменных работ;
- работ по устройству фундаментов (забивке свай);
- монтажных, арматурных и опалубочных работ;
- работ по установке перекрытий;
- сварочных и анкерных работ;
- облицовочных и отделочных работ;
- работ по заделке стыков и швов;
- кровельных и гидроизоляционных работ;
- работ по устройству теплоизоляции;
- дренажных работ;
- работ по прокладке инженерных сетей;
- работ по инженерному обустройству.

Для объектов дорожного строительства дополнительно нормируют жёсткость конструкций дорожного полотна; показатели эффективности дренажной системы; ровность покрытия автомобильной дороги; шумовое и вибрационное воздействие на прилегающие к дороге объекты; предельно допустимую концентрацию выхлопных газов в тоннелях.

Таким образом, для обеспечения требуемого ТНПА уровня качества необходима оценка параметров строительной продукции более чем по пятистам нормативным документам, а количество только основных контролируемых параметров приближается к сотне. В то же время, нормативные документы предусматривают использование современной приборной базы (электронных приборов, основанных на методах неразрушающего контроля) буквально только для определения влажности бетонов и древесины, морозостойкости бетонов (дилатометрический метод) и показателей содержания радионуклидов.

Кроме того, организации, производящие строительные материалы, изделия и конструкции, а также выполняющие строительно-монтажные и отделочные работы и т. п., должны не только обеспечить соответствие показателей продукции требованиям действующих ТНПА, но и представить доказательную базу такого обеспечения в виде:

- паспортов и/или сертификатов на используемые строительные материалы, конструкции и изделия;
- результатов контроля производства и испытаний строительной продукции, выполненных испытательным подразделением предприятия;
- актов приёмки отдельных видов строительно-монтажных работ, включая скрытые работы;
- результатов испытаний строительной продукции, выполненных независимыми лабораториями, если они привлекались;
- документов, подтверждающих компетентность собственного и привлекаемых испытательных подразделений;
- результатов проверки качества строительства и соблюдения строительных норм строительными инспекциями и органами строительного и авторского надзора, если они осуществлялись;
- акты ликвидации выявленных нарушений и дефектов.

Для выполнения указанных работ и обеспечения доказательной базы испытательные подразделения предприятий строительной и дорожно-строительной отраслей должны обладать необходимыми средствами измерений и испытаний, обеспечить необходимые условия измерений и испытаний согласно распространяющимся на них ТНПА, иметь достаточно квалифицированный персонал.

Как видно из вышеизложенного, для достаточно больших объёмов строительного производства или большого ассортимента продукции/работ, выполнение всего комплекса требований ТНПА влечет за собой необходимость больших затрат времени и трудовых ресурсов.

Отсюда вытекает актуальность более полного использования для контроля уровня качества современной приборной базы, в том числе приборов неразрушающего контроля.

Задачей неразрушающего контроля качества различных конструкций и изделий является поиск отклонений их технических характеристик или параметров от заданных в ТНПА без нарушения целостности и пригодности к применению. Кроме того, стандартные методы контроля неспособны обеспечить сплошной контроль качества выпускаемой продукции.

Методы неразрушающего контроля не являются универсальными. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, и может использоваться для обнаружения определённых дефектов. Поэтому выбор средств неразрушающего контроля зависит от конкретных требований практики, материала, конструкции объекта, условий его работы, технико-экономических показателей, вида дефектов. Возможно, этими факторами объясняется сравнительно незначительное использование подобного оборудования в сфере дорожно-мостового строительства и производства строительных материалов, изделий и конструкций. Но основным препятствием, тормозящим широкое внедрение приборов и средств неразрушающего контроля, является несовершенство действующих ТНПА, в которых практически не установлена допустимость применения новых и эффективных методов неразрушающего контроля и приборов, работающих на основе этих методов; не учитываются возможности приборов нового поколения.

В целом, современную приборную базу, классифицируя по функциям, можно проиллюстрировать в таблице.

## Приборы неразрушающего и операционного контроля

Электронные		Лазерные	
Измерительные	Испытательные	Измерительные	Проекционные
Прочность Морозостойкость Активность Шум и вибрация Толщинометрия Определители арматуры Влажность Микроклимат Напряженное состояние Теплопроводность Силоизмерение Сцепление колеса с покрытием Адгезия Геодезические параметры	Прессы малогабаритные Прессы мобильные Прессы специализированные  Плотномеры: пенетрационные; диэлектрические; штамповые  Дефектоскопы: ультразвуковые; вихретоковые; импедансные; электроискровые; магнитопорошковые	Дальномеры Пирометры Сканеры	Струна оптическая Проекторы ортогональные  Нивелиры: ротационные; многоточечные

С точки зрения авторов, для условий дорожно-мостового строительства особенно полезно было бы, *во-первых*, использование следующих приборов:

- мобильный испытательный пресс (МИП), позволяющий производить испытание на сжатие образцов и кернов непосредственно на строительной площадке;
- прибор диагностики свай (СПЕКТР-2.0), позволяющий производить диагностику свай из различных материалов, определять их длину (глубину забивки);

- измеритель плотности асфальтобетона (ПАБ), позволяющий оперативно определять плотность, коэффициент уплотнения и показатели однородности асфальтобетона на месте укладки смеси;
- динамические плотномеры грунтов (ДПГ-1.п\*), позволяющие контролировать качество оснований (дорог, мостов, опор и т. п.) штамповым методом;
- диагностический комплекс дорожных покрытий (ДПК-К), позволяющий диагностировать состояние дорожного покрытия сейсмическим методом;
- измеритель коэффициента сцепления колеса с покрытием (МИКС-1), отличающийся мобильностью;
- измерители защитного слоя бетона и параметров армирования конструкций (ПОИСК-2.п; ИПА-МГ4.mm);
- ударно-импульсный измеритель прочности бетона (ОНИКС-2.п; ИПС-МГ4.mm);
- влагомеры строительных материалов (ВИМС-2.п; ВЛАГОМЕР МГ4У).\*\*

**Во-вторых,** необходима доработка ТНПА, с включением информации о допустимости применения новых разработок в сфере приборного контроля качества строительных материалов, изделий и конструкций.

---

\* n, m – числовое обозначение модификаций приборов.

\*\* В данном обзоре приведены приборы производства фирм «Интерприбор» и «Стройприбор», Российская федерация, но это не означает, что названные предприятия являются единственными производителями приборов с указанными функциями.

## **К ВОПРОСУ О МЕТОДИКЕ ПОДБОРА СОСТАВА ЭМУЛЬСИОННО-МИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ, ОЦЕНКИ СВОЙСТВ И ПРОГНОЗИРОВАНИИ СРОКОВ ФОРМИРОВАНИЯ ДОРОЖНОГО БЕТОНА НА ИХ ОСНОВЕ**

**Кравченко С.Е., канд. техн. наук, Вавилов П.В.**

*Белорусский национальный технический университет,*

*Государственное предприятие «БелдорНИИ»*

*(г. Минск, Республика Беларусь)*

### **Введение**

В настоящее время в Республике Беларусь отсутствует нормативный документ, определяющий процедуру подбора состава эмульсионно-минеральных смесей (далее – ЭМС) для устройства конструктивных слоев дорожных одежд и методы их испытаний. Имеющиеся в распоряжение специалистов дорожников методы [1] устарели, не соответствуют современному уровню знаний и не позволяют провести качественный анализ состава и свойств ЭМС.

### **Предлагаемая методика**

Предлагаемая методика подбора состава ЭМС и оценки их свойств, блок-схема которой представлена на рис. 1, основана на результатах исследований, выполненных в «БелдорНИИ» и с учетом анализа некоторых методик, разработанных в США и Франции [2, 3, 4, 5].

*Цель проектирования состава ЭМС – выбор такой пропорции компонентов ЭМС, которая бы позволила при оптимальном соотношении затрат и достигаемых при этом свойств дорожного бетона на основе ЭМС получить материал, соответствующий области его применения.*

*Цель проведения испытаний дорожного бетона из ЭМС – установление соответствия его физико-механических свойств назначению применения (спецификации).*



Рис. 1. Блок-схема предлагаемой методики подбора состава ЭМС

*Исходными данными* для выполнения подбора состава являются: область применения дорожного бетона из ЭМС; типы крупного и мелкого заполнителей; битумная эмульсия.

*Ограничения метода.*

Подбор рецептур битумных эмульсий вынесен за пределы предлагаемого метода. Предлагаемые методы относятся к ЭМС, изготавливаемым по комплексной технологической схеме.

### 1. Предварительная фаза

На предварительном этапе подбора состава ЭМС проводится отбор минеральных материалов и вяжущего и оцениваются их свойства.

На наш взгляд, существующих требований к составам минеральной части ЭМС [1] недостаточно и требуется их уточнение. В качестве рекомендуемых авторами предлагаются требования к минеральной части холодных бетонов согласно СТБ 1033. Для подбора

соотношения компонентов минеральной части предлагается использовать стандартные методики ДМД 02191.7.003 или СТБ 1698.

Для определения первоначального количества битумной эмульсии авторы предлагают использовать понятие, аналогичное понятию «модуль содержания битума в смеси», – модуль содержания эмульсии в смеси. Таким образом, первоначальное количество битумной эмульсии в ЭМС,  $C_{Э}$ , по массе минеральной части, %, можно определить по формуле

$$C_{Э} = k_B \times M_{CЭ} \times \sqrt[5]{S_{Mч}} \quad , \quad (1)$$

где  $M_{CЭ}$  – модуль содержания эмульсии (с содержанием остаточного вяжущего 60.0 %);

$S_{Mч}$  – общая поверхность минеральной части ЭМС;

$k_B$  – поправочный коэффициент для приведения эмульсии с фактическим содержанием остаточного вяжущего  $W_{Ф}$ , %, к эмульсии с содержанием остаточного вяжущего 60.0 %, определяемый как

$$k_B = \frac{60.0}{W_{Ф}} \quad .$$

При этом следует принимать  $M_{CЭ} = 0,95 - 1,00$  для ЭМС с минеральной частью, в которой по площади поверхности преобладают гранитные материалы,  $M_{CЭ} = 1,10 - 1,15$  – для ЭМС, в которой по площади поверхности преобладает кварц.

Адгезия вяжущего к минеральному материалу является важным показателем качества ЭМС, поскольку в значительной степени влияет на конечные свойства дорожного бетона из ЭМС.

Авторы считают необходимым и достаточным для практических целей подбора состава и предварительной оценки пригодности типа вяжущего визуального метода оценки степени адгезии по площади поверхности минеральной части, покрытой вяжущим. А именно: подобранную минеральную часть навеской (250 – 300 г) смешивают с постепенно увеличивающимся количеством воды (начальное количество – 1 % сверх массы) и определенным по формуле (1) количеством эмульсии, навеска высушивается и визуально оценивается по шкале от 0 % (полное отсутствие покрытия) до 100 % (полное покрытие). Количество воды и степень адгезии фиксируются.

## 2. Подготовительная фаза

Испытание на уплотняемость (степень уплотнения) предназначено для определения оптимального содержания жидкой фазы ЭМС, т.е. общего количества эмульсии и воды, поскольку обе эти фазы влияют на конечную плотность дорожного бетона из ЭМС.

Авторы считают возможным определить содержание жидкой фазы в ЭМС, используя один из двух нижеприведенных методов.

Первый способ заключается в использовании методики аналогичной ГОСТ 22733. Так, на рис. 2 показана зависимость плотности ЭМС от количества жидкой фазы (вода + битумная эмульсия), полученная по методике аналогичной ГОСТ 22733: смесь минеральных материалов массой 500 г, определенного ранее количества эмульсии и увеличивающего количества воды подвергается ударному уплотнению, с последующим измерением геометрических размеров полученного цилиндрического образца и его массы для вычисления плотности. Эта методика позволяет обнаружить два «пика» плотности ЭМС, соответствующие «зернистой» и «литой» консистенции, но она является достаточно трудоемкой.

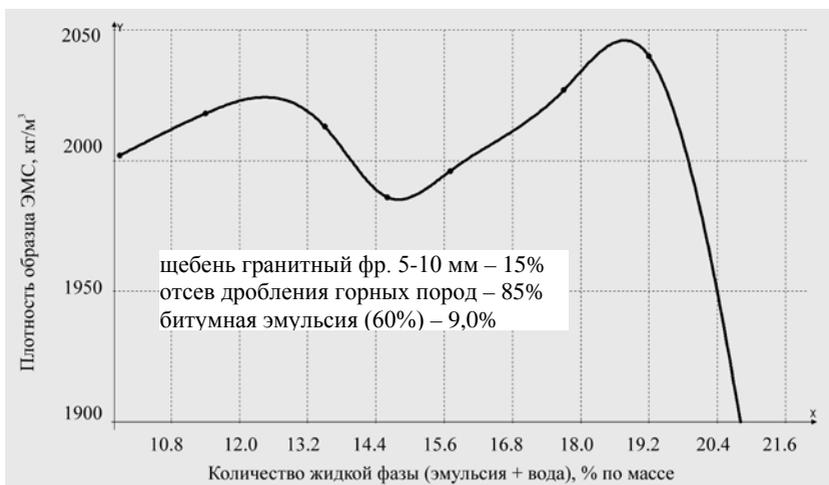


Рис. 2. Зависимость плотности ЭМС от содержания жидкой фазы

Второй способ основан на стандартной методике, применяемой для регенерируемых смесей. То есть, количество дополнительно

вводимой воды, необходимой для достижения оптимальной плотности ЭМС, можно определить по формуле

$$W = W_{opt} - W_{est} - k \cdot P_{em} ,$$

где  $W$  – количество воды сверх массы минеральной части, %;

$W_{opt}$  – оптимальная влажность минеральной части, определенной ГОСТ 22733, %;

$W_{est}$  – естественная влажность заполнителя, %;

$P_{em}$  – количество добавляемой битумной эмульсии, % по массе

$k$  – коэффициент, равный 0,9 для материала, состоящего из необработанных минеральных материалов и битумной эмульсии на чистом битуме БНД 90/130.

Далее, поскольку дорожный бетон из ЭМС подчиняется закону створа и закону обязательного соответствия свойств, то необходимо оценить его физико-механические свойства для выявления оптимального структуры (состава ЭМС).

Оценку свойств предлагается проводить на трех замесах ЭМС с различным содержанием эмульсии: предварительно определенное количество по формуле (1)  $C_э$  и  $C_э \pm 0,5$  %.

Для каждого из трех вариантов состава ЭМС необходимо подготовить образцы для оценки свойств дорожного бетона из них при следующих состояниях: «свежее», «созревшее», «свободное насыщение водой».

«Свежее состояние» необходимо ассоциировать с состоянием в период активного формирования структуры дорожного бетона из ЭМС; «созревшее состояние» – с состоянием в период, когда процесс формирования закончился (стабилизировался).

Под процессом «свободного насыщения водой» следует понимать стандартизированный процесс хранения образцов из ЭМС на воздухе в лабораторных условиях при температуре  $(20 \pm 2)$  °С и атмосферной влажности (65 – 80) % в течение 7 суток после формования и последующим выдерживанием в воде при ее температуре  $(20 \pm 2)$  °С в течение еще 7 суток (хранить необходимо в месте, недоступном для попадания прямых солнечных лучей).

В [2, 3] указывается, что принятая за стандартную во многих странах методика испытаний образцов на 14-е сутки хранения на воздухе характеризует дорожный бетон из ЭМС в ранний период его эксплуатации, то есть характеризует «свежее состояние».

Для оценки дорожного бетона из ЭМС в «созревшем состоянии» было предложено ряд процедур [2, 3] для интенсификации процессов формирования структуры дорожного бетона из ЭМС, основанные на том факте, что вяжущее в ЭМС является метастабильным материалом, состояние которого в дорожном бетоне зависит от температуры, влажностного режима и транспортной нагрузки.

Основываясь на анализе зарубежных методик «созревания» авторы считают необходимым провести исследовательские работы для выбора оптимального режима «созревания» дорожного бетона из ЭМС в лабораторных условиях, что, возможно, также послужит основой для методики экспресс-испытаний. При этом необходимо исходить из следующих положений:

- температура прогревания должна быть гарантировано ниже температуры размягчения по кольцу и шару применяемого в ЭМС вяжущего с учетом процесса старения в процессе приготовления эмульсии на  $3 - 5$  °С;

- температура прогревания должна быть по возможности близка к температуре, наблюдаемой в натуральных условиях;

- время прогревания должно обеспечить конечную влажность в пределах  $0,5 - 1,0$  %.

Работы, проведенные в «БелдорНИИ», свидетельствуют о том, что принятый режим формования образцов – 40 МПа в течение 3-х минут, позволяет достигать степени уплотнения, соответствующей наблюдаемой на стройплощадке ( $K_0=0,75 - 0,85$ ), поэтому может служить цели получения лабораторной модели дорожного бетона из ЭМС.

Тем не менее изменение режима уплотнения может оказаться полезным для понимания некоторых характеристик дорожного бетона из ЭМС, процессов формирования его структуры, достигаемых физико-механических характеристик и прогнозирования сроков формирования. Так на рис. 3 представлен график изменения влажности образцов ЭМС (полученной на промышленном оборудовании) в зависимости от режима уплотнения.

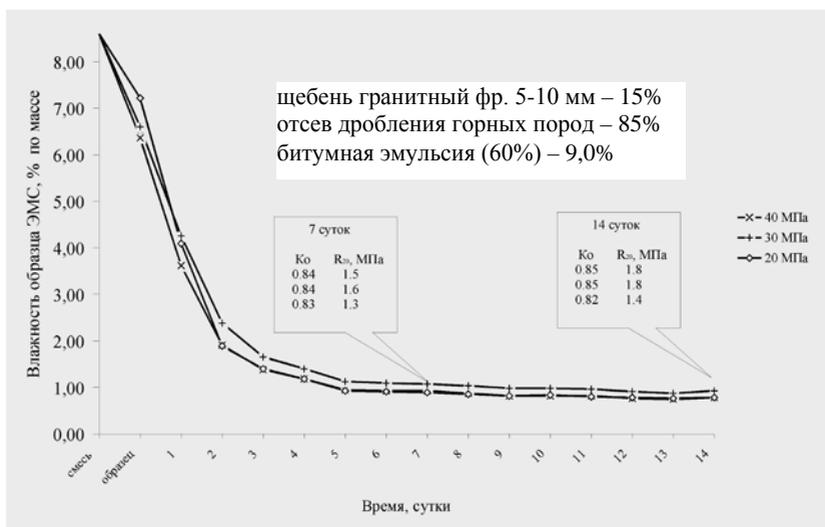


Рис. 3. Изменение влажности образцов ЭМС с различным режимом уплотнения во времени

Представленные на рис. 3 данные свидетельствуют о том, что при различных режимах уплотнения, конечная влажность дорожного бетона из ЭМС стабилизируется в районе 1 % на 5–6 сутки при температуре окружающей среды ( $20 \pm 2$ ) °С и атмосферной влажности (65 – 80) %, при этом физико-механические свойства дорожного бетона из ЭМС продолжают развиваться. Кроме того, данные рис. 3 указывают на тот факт, что даже при недостаточном уплотнении возможно получение дорожного бетона из ЭМС с удовлетворительными физико-механическими свойствами, которые могут развиваться под действием благоприятных внешних факторов.

В целом, низкое начальное значение показателя максимальной относительной плотности объясняется наличием в дорожном бетоне из ЭМС большего в сравнении с горячим асфальтобетоном эквивалентного состава и степени уплотнения количества пустот, образующихся в результате объединения капелек битума, не способных исчезнуть в течение процесса уплотнения при строительстве [3].

Таким образом, следовало бы считать, что формирование структуры дорожного бетона из ЭМС прекращается (стабилизируется)

тогда, когда в результате комбинированного действия внешних факторов перестает изменяться структура порового пространства такого материала. К сожалению, на практике не представляется возможным определить период времени необходимый для завершения данного процесса. Но, очевидно, возможно спрогнозировать период времени, необходимый для стабилизации свойств дорожного бетона из ЭМС, на основе анализа его физико-механических свойств, например, прочности при сжатии, водонасыщения либо других свойств.

### **3. Фаза определения физико-механических характеристик**

Данная фаза подбора состава и оценки свойств дорожного бетона из ЭМС, в целом, основана на стандартных методах, применяемых в дорожной практике для горячих асфальтобетонов.

По окончании данного этапа работ будет достигнута цель подбора состава ЭМС – установлена пропорция основных компонентов: минеральных материалов, воды и вяжущего.

Для определения количества дополнительных компонентов ЭМС, либо для определения характеристик, не указанных в спецификации, либо для иных исследовательских целей предназначена **фаза специальных испытаний**.

### **Заключение**

Предложенная блок-схема подбора состава ЭМС, предназначенных для устройства конструктивных слоев дорожных одежд, может служить основой для разработки стандартизированной процедуры подбора и испытаний этих смесей.

### **Литература**

1. Дорожные технологии на основе катионных битумных эмульсий: РД 0219.1.09-1999. – Минск: Комитет по автомобильным дорогам при Министерстве транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. Минск, 1999.

2. Bitumen Emulsion / under the coordination M. Cyna, M.-F. Ossola // RGRA, USIRF, Routes de France, SFERB. – Paris. – 2008. – ISBN 2-913414-49-4.

3. Serfass, J.-P. Emulsion cold mixes: for a new design method / J.-P. Serfass // RGRA. – 2002. – July-August. – № 808.

4. Towards a rational mix design method for cold bituminous mixes. The Optel contribution / J. J. Potti, D. Lesueur, B. Eckmann // RGRA. – 2002. – April. – № 805.

УДК 625.855.3.033

## ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНА

**Кравченко С.Е., канд. техн. наук,  
Вермениук В.В., канд. физ.-мат. наук**  
*Белорусский национальный технический университет  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

### Введение

Опыт эксплуатации асфальтобетонных покрытий показывает, что даже при наличии исходных дорожно-строительных материалов с заданными свойствами, не всегда удается добиться стабильных физико-механических показателей и требуемой долговечности асфальтобетона, из-за целого ряда факторов, в том числе и из-за отсутствия соответствующих критериев его свойств отражающих реальные условия работы асфальтобетона в покрытии.

В настоящее время качества асфальтобетона оцениваются по показателям в соответствии с СТБ 1033, определяемым по методикам в соответствии с СТБ 1115. К основным из этих показателей следует отнести предел прочности при сжатии ( $R_{50} - T = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$ ); прочность на раскол ( $R_0 - T = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ); водонасыщение ( $W$ ); плотность ( $\rho_a$ ); пористость ( $V_o$ ); остаточная пористость ( $V_a$ ); индекс трещиностойкости ( $I_T$ ). Анализ режимов испытания указанных показателей указывает на то, что они в различной степени и не в полной мере отражают реальную работу материала в покрытии, что тем самым не позволяют в достаточной степени судить о его прогнозируемой долговечности. Подтверждением этому может служить тот факт, что процесс начало трещинообразования в покрытии приходится уже на первые годы эксплуатации, но при этом материал покрытия еще удовлетворяет по  $R_i \gg R_{\text{норм}}$ . В связи с этим при подборе состава асфальтобетона, в дополнение к стандартным показателям свойств асфальтобетона, следует учитывать также и нестандартные

показатели, что позволит наиболее реально учитывать механизм поведения и разрушения асфальтобетона в процессе эксплуатации. К таковым, на наш взгляд, следует отнести, например, усталостную повреждаемость и прочность на растяжение при изгибе. Оценки эффективности тех или иных показателей, характеризующих усталостную долговечность асфальтобетона, проводилась по результатам математического планирования эксперимента, базирующегося на активном эксперименте [2, 3] при оптимизации состава асфальтобетона – установление допустимых отклонений содержания всех компонентов смеси и определение наиболее достоверного критерия оценки свойств асфальтобетона в наибольшей степени отражающего реальные условия работы асфальтобетона.

### **Экспериментально-статистическая модель усталостной повреждаемости и ее анализ**

Для реализации лабораторного эксперимента с целью получения связи «состав-свойство», для асфальтобетона типа ЦМС<sub>ц</sub>-10 выбран план с общим числом точек векторного пространства, равным N=26. В планировании эксперимента, значения соответствующие определенным уровням варьирования факторов, выражаются в кодированных величинах. В таблице 1 показаны значения и уровни отобранных факторов в кодированных величинах.

Таблица 1

Значения и уровни отобранных факторов в кодированных величинах

Обозначение факторов	Единица измерения	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования
X <sub>1</sub> – гранитный щебень фракции 5–10 мм	%	65	70	75	5
X <sub>2</sub> – минеральный порошок неактивированный	%	8	10	12	2
X <sub>3</sub> – битум БНД 60/90	%	6,1	6,3	6,5	0,2

Влияние составляющих асфальтобетона, таких как щебень фракции 5 – 10 мм (X1), минеральный порошок неактивированный (X2), битум БНД 60/90(X3) и их количества на стандартные и нестандартные показатели его свойств, оценивалось по экспериментально-статистическим моделям, полученным на основании анализа физико-механических характеристик асфальтобетона (таблица 2) в системе «Statist». При этом каждая модель проходила регрессионный анализ, проверку адекватности.

Таблица 2

Физико-механические характеристики асфальтобетона  
типа ЦМСЦ-10

экспери	Рср	W	Vпор	Vост	R0	R10	R20	Ит	Ru	D20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2,43	3,10	17,16	4,73	2,47	6,92	6,05	0,56	1,54	57,75
2	2,44	1,76	16,85	3,47	2,31	6,34	4,37	0,62	1,48	55,27
3	2,46	0,55	16,43	1,80	2,40	4,40	3,42	0,63	1,95	58,90
4	2,43	1,26	17,16	5,50	2,25	7,41	5,40	0,72	1,95	53,37
5	2,44	1,95	16,85	4,22	2,24	7,37	5,27	0,61	1,65	49,12
6	2,46	1,06	16,43	2,87	2,17	5,56	4,95	0,62	2,19	51,51
7	2,43	0,36	17,16	2,31	2,13	4,78	3,28	0,68	2,15	47,79
8	2,44	0,95	16,85	1,79	2,48	6,02	3,96	0,49	1,57	43,07
9	2,46	0,27	16,43	1,52	2,43	5,09	3,51	0,59	2,16	45,50
10	2,43	1,78	17,01	1,31	2,60	7,35	8,80	0,12	1,66	48,70
11	2,44	1,45	16,84	2,49	2,65	8,01	5,53	0,58	1,88	46,49
12	2,46	1,07	16,64	3,66	2,78	8,70	2,61	1,05	2,24	45,54
13	2,43	1,77	17,01	1,28	2,55	7,58	8,72	0,13	1,74	46,09
14	2,44	1,61	16,84	2,50	2,63	8,36	5,72	0,57	1,93	43,43
15	2,46	1,31	16,64	3,76	2,75	9,11	2,94	1,03	2,30	42,09
16	2,43	1,56	17,01	1,63	2,50	7,00	8,14	0,10	1,79	44,23
17	2,44	1,56	16,84	1,98	2,63	7,98	5,30	0,53	1,94	41,28
18	2,46	1,33	16,64	3,42	2,77	8,88	2,58	1,00	2,32	39,70
19	2,44	1,61	17,15	3,46	2,73	6,40	6,08	0,64	1,86	54,11

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
20	2,44	0,80	16,83	2,56	2,54	5,70	4,13	0,62	1,91	53,40
21	2,46	0,13	16,39	1,69	3,05	6,93	5,16	0,52	2,24	56,03
22	2,43	1,37	17,00	1,24	2,58	6,32	8,28	0,15	1,74	50,00
23	2,44	1,14	16,83	2,51	2,61	6,99	4,99	0,61	1,98	47,64
24	2,46	0,85	16,63	3,83	2,78	8,10	2,32	1,07	2,32	46,17
25	2,44	1,40	17,15	3,57	2,66	7,87	5,73	0,74	2,14	47,99
26	2,43	1,45	17,00	1,18	2,54	6,59	8,19	0,15	1,81	47,43
27	2,44	1,35	16,83	2,46	2,60	7,33	5,13	0,59	2,02	44,48
28	2,46	1,12	16,63	3,84	2,75	8,44	2,58	1,05	2,38	42,49
29	2,46	0,74	16,39	1,72	2,91	8,32	6,58	0,50	2,51	44,83
30	2,43	1,42	17,00	1,74	2,43	5,92	7,55	0,12	1,85	46,50
31	2,44	1,45	16,83	2,14	2,54	6,81	4,62	0,56	2,03	43,12
32	2,46	1,24	16,63	3,67	2,70	8,03	2,09	1,02	2,41	40,77
33	2,44	0,84	17,15	1,82	2,22	5,17	3,55	0,68	2,30	47,75
34	2,44	1,42	16,83	1,27	2,48	5,54	3,54	0,49	2,00	42,72
35	2,46	0,73	16,39	1,42	2,81	7,04	4,68	0,52	2,61	42,06
36	2,43	1,19	16,99	1,43	2,54	5,33	7,75	0,16	1,62	53,30
37	2,45	1,05	16,82	2,77	2,49	5,76	4,26	0,64	1,84	50,17
38	2,46	0,85	16,61	4,22	2,62	7,03	1,68	1,11	2,14	47,58
39	2,43	1,21	16,99	1,35	2,50	5,46	7,54	0,16	1,66	51,09
40	2,45	1,17	16,82	2,69	2,47	5,91	4,25	0,62	1,87	47,24
41	2,46	0,99	16,61	4,18	2,59	7,14	1,77	1,09	2,20	44,00
42	2,43	1,21	16,99	1,18	2,34	4,52	6,73	0,13	1,68	51,39
43	2,45	1,26	16,82	2,60	2,36	5,07	3,56	0,60	1,87	46,98
44	2,46	1,08	16,61	4,22	2,48	6,37	2,07	1,08	2,23	43,25
45	2,44	1,68	17,13	3,10	3,20	7,78	7,03	0,48	1,45	59,61
46	2,45	1,36	16,80	2,47	2,42	4,97	3,52	0,61	1,44	55,81
47	2,46	1,18	16,36	2,32	2,78	7,39	5,26	0,57	1,45	52,59
48	2,44	0,89	17,13	2,82	3,27	8,75	6,22	0,57	1,52	54,30
49	2,45	1,06	16,80	1,79	2,59	5,73	3,85	0,58	1,43	46,67
50	2,46	0,66	16,36	1,58	2,73	7,53	5,81	0,60	1,68	40,11
51	2,44	0,46	17,13	2,78	2,51	4,51	3,19	0,53	1,58	61,93

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
52	2,45	0,98	16,80	2,12	2,13	4,23	2,22	0,54	1,39	51,73
53	2,46	0,53	16,36	2,61	2,25	3,97	2,66	0,70	1,86	43,13

Была проанализирована экспериментально-статистическая модель усталостной повреждаемости  $D_{20}$  от исследуемых факторов:

$$\begin{aligned}
 D = & 1651,1318 + 10,2963 \cdot x_1^2 - 13,4656 \cdot x_2^2 + 1352,87 \cdot x_3^2 + \\
 & + 11,1688 \cdot x_1 \cdot x_2 - 250,759 \cdot x_1 \cdot x_3 - 75,6635 \cdot x_2 \cdot x_3 - \\
 & - 0,0536884 \cdot x_1^3 - 0,0485808 \cdot x_1^2 \cdot x_2 + 0,2540641 \cdot x_1^2 \cdot x_3 - \quad (1) \\
 & - 0,0694135 \cdot x_2^2 \cdot x_1 + 0,5597691 \cdot x_2^3 + 0,3195958 \cdot x_2^2 \cdot x_3 + \\
 & + 17,6537 \cdot x_3^2 \cdot x_1 + 8,020015 \cdot x_3^2 \cdot x_2 - 136,4767 \cdot x_3^3 - \\
 & - 0,521868 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3
 \end{aligned}$$

Анализ коэффициентов модели (1) показывает, что оптимальное содержание компонентов по  $D$  находятся в области эксперимента. Анализ влияния факторов целесообразно вести в зоне оптимума функции отклика, т.е. рассматривать влияние каждого из факторов при условии стабилизации остальных на оптимальных уровнях, определенных из условий поиска оптимума функции диссоциативно – шаговым методом оптимизации. При этом целесообразно рассматривать два варианта анализа в условиях диаметрально противоположных, т.е. в области максимума и в области минимума функции.

На рис. 1 представлена зависимость отражающая влияние щебня на  $D_{20}$  при оптимальном содержании минерального порошка и битума в зоне максимальной долговечности.

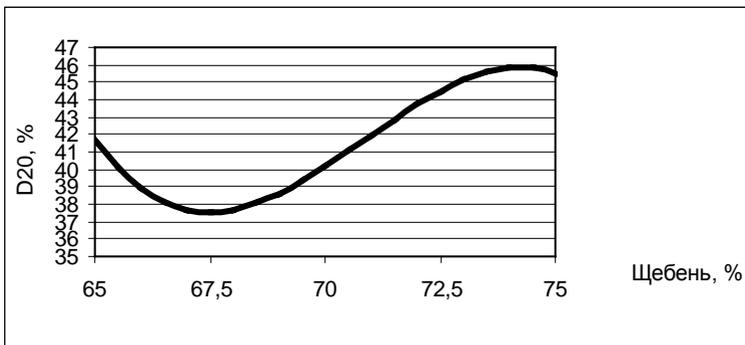


Рис. 1. Зависимость влияния щебня на  $D_{20}$  при оптимальном содержании минерального порошка и битума, в зоне максимальной долговечности

Установлено, что для обеспечения максимальной долговечности (точка 3), количество щебня должно составлять 67,5. Таким образом может быть установлен интервал количества щебня, составляющий 66–69 %, в смеси асфальтобетона типа ЩМС<sub>и</sub>-10, обеспечивающий максимальную долговечность. Аналогичное исследование модели D<sub>20</sub> (1) было проведено и на влияние количества минерального порошка и битума на обеспечение максимальной долговечности. При этом диапазон дозирования составил для минерального порошка 10,0–12,0 % и битума – 6,40–6,50 %.

Вышеприведенный анализ исследований позволил по уровню влияния по возрастанию на D<sub>20</sub> факторы выстроить в следующей последовательности –  $x_1 < x_2 < x_3$ . Аналогичное ранжирование по уровню влияния исследуемых факторов характерно и для их влияния в зоне минимума. Следует также отметить, наличие оптимума факторов для зон максимальной и минимальной долговечностей.

Анализ других экспериментально-статистических моделей позволил оценить показатели физико-механических свойств асфальтобетона на предмет достоверности их прогноза при подборе оптимального состава асфальтобетона по усталостной повреждаемости. При этом прослеживается некоторая обособленность оптимальных составов по R<sub>50</sub>, R<sub>10</sub>, R<sub>0</sub> и R<sub>c</sub> и составов по R<sub>и</sub> и D<sub>20</sub>. Результаты анализа показывает лучшую вероятность прогноза усталостной повреждаемости не по прочности на сжатие, а по прочности на растяжение при изгибе. Из вышесказанного можно сделать вывод, что наиболее благоприятным для принятия решений практически по всем свойствам асфальтобетона оптимального состава, являются условия по R<sub>и</sub> и D<sub>20</sub> а наиболее неблагоприятными условия по R<sub>50</sub>, и R<sub>10</sub>.

### **Корреляционная зависимость усталостной повреждаемости и показателей прочности асфальтобетона**

Ввиду того, что в настоящее время далеко не каждый научно – исследовательский институт обладает специальным оборудованием, стендом или какой-либо установкой, с помощью которой можно было бы реализовать экспериментальные испытания асфальтобетона на усталостную прочность, целесообразно получение ее зависимости через другие стандартные или не стандартные показатели прочности, полученные более доступными методами. Так при анализе первичной информации экспериментально-статических

моделей было установлено, что коэффициенты корреляции между показателями механических свойств  $r\{R_i; R_j\}$  достаточно велики, статистически значимы с риском предсказания  $\alpha = 0,05$ . Подтверждение гипотезы о корреляционной связи дает возможность искать пути построения таких моделей, по которым можно было бы прогнозировать усталостную долговечность асфальтобетона, характеризуемую показателем усталостной повреждаемости  $D_{20}$ , по данным кратковременных испытаний на сжатие ( $R_i$ ) или изгиб ( $R_u$ ). Для модели типа

$$\text{Ln}N = b_0 + b_1 * \text{Ln}R_i \quad (2)$$

лучший результат по точности, характеризуемой среднеквадратической ошибкой  $s_{\text{на}}\{\text{Ln} N\}$  (равной относительной ошибке  $\delta \{N\}$ ), получен при использовании в качестве экспрессно определяемого показателя прочности на изгиб  $R_u$ . Так модель

$$D_{20} = 60,3904 * R_u^{-0,3614} \quad (3)$$

дает ошибку прогноза  $\delta_{4,6} = 19,5 \%$ . Однако модель (3) трудно признать удовлетворительной с инженерной точки зрения, поэтому расчеты были продолжены за счет построения моделей, учитывающих второй аргумент – один из показателей прочности на сжатие:

$$\text{Ln}N = b_0 + b_1 * \text{Ln}R_u + b_2 * R_i . \quad (4)$$

В данном случае наиболее точной оказалась модель, в которой учтен показатель индекса трещиностойкости:

$$D_{20} = 61,5483 * R_u^{-0,3793} * I_{TR}^{0,0111} . \quad (5)$$

Ошибка прогноза  $\delta_{4,8} = 19,3 \%$  несколько меньше, чем  $\delta_{4,6}$ . Незначительное улучшение точности объясняется тем, что все показатели тесно взаимосвязаны между собой. Заметим, что замена  $I_{TR}$  на любой другой показатель  $R_i$  дает  $\delta = 19,4 - 21,6 \%$ . В таких условиях дальнейшее усложнение моделей типа (4) за счет учета третьего аргумента не дает повышения точности. Поэтому был использован иной метод выделения из всего множества экспериментальных данных (53 единицы) некоторого ограниченного рецептурно-технологическими условиями подмножества, в котором можно построить более точные модели. Так анализ веера моделей показал, что если не распространять прогноз на асфальтобетоны с крайне низким содержанием битума ( $x_3 = -1,0$  или  $x_3 = 6,1 \%$ ), то по остальному

массиву из 43 составов асфальтобетона ( $6,2 \leq x_3 \leq 6,5$  %) будут получены более точные модели.

Так альтернативной моделью (5) будет модель (6) с ошибкой прогноза  $\delta_{4,9} = 14,0$  %, которую можно признать удовлетворительной.

$$D_{20} = 52,8196 * R_u^{-0,2170} * I_{TR}^{-0,0147} . \quad (6)$$

Следует отметить, что модель (6) является более приемлемой по сравнению с ранее приведенными моделями (5), так как она учитывает прочность асфальтобетона на изгиб при температуре  $20$  °С и одновременно комплексный показатель индекса трещиностойкости, в котором учтена прочность асфальтобетона на раскол при низких температурах  $0$  °С и  $-15$  °С.

Надо отметить, что при использовании кубической зависимости значений  $D_{20}$  от 5-ти факторов  $R_u$ ,  $I_{TR}$ ,  $R_o$ ,  $R_{10}$  и  $R_{20}$  можно получить модель, для которой максимальная относительная погрешность равна  $0,18$  %, а среднеквадратическая ошибка равна  $0,025$ . Но здесь следует иметь ввиду тот факт, что полученная формула учитывает 55 слагаемых, а уменьшение числа учитываемых слагаемых в формуле даже до 45-и приводит к увеличению значений относительной погрешности в 500 раз.

### Выводы

Наиболее благоприятным для принятия решений практически по всем свойствам асфальтобетона оптимального состава, являются условия по  $R_u$  и  $D_{20}$  а наиболее неблагоприятными условия по  $R_{50,}$  и  $R_{10}$ .

Усталостная долговечность асфальтобетона, характеризующую показателем усталостной повреждаемости, может прогнозироваться с достаточной степенью точности по значениям предела прочности на изгиб и индекса трещиностойкости.

### Литература

1. Кравченко, С.Е. Достоверность критериев физико-механических свойств асфальтобетона при прогнозировании его усталостной долговечности / С.Е. Кравченко, В.В. Гришанов // Автомобильные дороги и мосты. – 2009. – № 2. – С. 44–49.
2. Выровой, В.Н. Применение математической теории эксперимента в задачах реологии новых композиционных материалов /

В.Н. Выровой, Ю.М. Гризан, Л.Е. Трофимова. – Киев: Общество «Знание», 1980. – 18 с.

3. Зедгенидзе, И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных смесей / И.Г. Зедгенидзе – М.: Наука, 1976. – 390 с.

УДК 625.78

## **ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ДЛЯ ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ОБУЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ**

**Куприянчик А.А., канд. техн. наук, Раковец Л.Д.**  
*Белорусский национальный технический университет  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Для целей практического управления хозяйственной деятельностью предприятия особое значение имеет упорядочение разнообразной информации в рамках системы установленных показателей. Эти показатели отражают все стороны работы дорожной организации. На основе тех или иных показателей осуществляется принятие ответственных управленческих решений.

Информационное обеспечение систем управления направлено на организацию информационных потоков, обеспечивающих своевременное и регулярное предоставление органам управления полной и достоверной информации.

Информационное обеспечение базируется на плановой учетной и отчетной документации, установленной директивными и отраслевыми органами управления, предусматривающей использование унифицированных типовых форм.

Так информационное обеспечение качества проектно-сметной документации предназначено для:

- получения сопоставимых и объективных данных о качестве ее исполнения;
- выявления и изучения причин снижающих качество проектирования автомобильных дорог и дорожных сооружений;

- разработки мероприятий, способствующих повышению качества проектно-сметной документации и рациональному использованию ресурсов.

Выданная проектно-сметная документация проверяется первоначально заказчиком, проходит в установленном порядке экспертизу и передается подрядчику при проведении тендерных торгов на выбор подрядчика. В процессе строительства подрядная дорожно-строительная организация ведет учет выявленных ошибок и упущений для предъявления в виде рекламации заказчику и проектной организации.

Информационное обеспечение выполнения строительно-монтажных работ предназначено для учета фактического уровня выполнения строительно-монтажных работ, учета обнаруженных дефектов и брака, бухгалтерского учета основных и дополнительных затрат, вызванных исправлением и переделкой некачественно выполненных дорожно-строительных работ и т.д.

Информационное обеспечение качества ремонта и содержания автомобильных дорог предназначено для анализа эксплуатационного состояния дорог, планирования и осуществления мероприятий по повышению качества ремонта и содержания дорог в соответствии с требованиями нормативной документации и уровнем развития автомобильного транспорта.

Ремонтно-эксплуатационные организации ежемесячно составляют накопительную ведомость дефектов, недоделок и упущений по текущему ремонту и содержанию конструктивных элементов дороги, составляют акты оценки качества текущего ремонта и содержания дорог, разрабатывают мероприятия и внося предложения по улучшению состояния контролируемой ими дорожной сети.

Информационное обеспечение управления ресурсами направлено на организацию сбора, хранения, анализа и передачи всей необходимой информации об управлении, эффективном использовании основных производственных, материальных и трудовых ресурсов.

Таким образом любая хозяйственная деятельность любой дорожной организации предполагает участие в ней людей (специалистов), разнообразных технических и материальных ресурсов. В организациях складываются сложные системы взаимоотношений с поставщиками и потребителями, субподрядчиками, иностранными

партнерами, банками, государственной налоговой службой, службой технического и государственного надзора и контроля и др.

Для эффективного управления дорожной организацией, принятия экономически правильных решений и получения прибыли важнейшим условием является четкая организация и обработка информационной и учетной деятельности, которая позволяет иметь самые подробные и достоверные сведения как о внутренней деятельности организации по всем направлениям деятельности и их показателях, так и связи данной дорожной организации с другими предприятиями-смежниками отрасли и отраслью в целом.

УДК 656.13:656.012:711:625.87

## **АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ И БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА**

**Леонович И.И., д-р техн. наук, профессор,  
Капский Д.В., Кот Е.Н., кандидаты технических наук, доценты**  
*Белорусский национальный технический университет*  
*(г. Минск, Республика Беларусь)*

### **Введение**

В системе транспортного комплекса Республики Беларусь автомобильный транспорт занимает ведущее положение. Объем перевозок грузовым автомобильным транспортом общего пользования в 2009 г. достиг 106 млн. тонн, а пассажиров автобусами – 1257 млн человек, что составляет соответственно 60,7 % и 57,2 % от общего объема перевозок. Грузооборот в то же время составил 10252,2 млн т км (24,0 %), а пассажирооборот – 7247,4 млн пас. км (36,6 %). Кроме грузового транспорта общего пользования и автобусов в перевозках грузов и пассажиров принимали участие частные фирмы и организации, таксомоторный, личный и специализированный транспорт. Все это является свидетельством, что роль автомобильного транспорта, как средство коммуникационной системы страны, исключительно велика.

Характерной особенностью для современного этапа развития общества является автомобилизация. Как показывают статистические

данные, в нашей республике имеет место непрерывный рост парка автомобилей. По уровню автомобилизации наша страна превосходит многие страны мира, в том числе Венгрию, Польшу, Словению, Чехию.

Автомобилизация неразрывно связана с дорогами и успешно может прогрессировать при наличии развитой сети качественных автомобильных дорог. Взаимосвязь и техническая гармония транспортных средств и дорог являются необходимым условием высокой эффективности автомобильных перевозок, безопасности дорожного движения как в условиях населенных пунктов, так и на загородных автомобильных дорогах.

### **Основные этапы развития дорожной сети**

Для Беларуси характерной является перманентность развития дорожной сети общего пользования как по протяженности дорог, так и по качеству составляющих ее транспортных сооружений.

Начало создания дорог на территории современной Беларуси относится к глубокой древности и является средством трудовой деятельности людей, развитием охоты, земледелия, устойчивых связей между различными группами населения. С течением времени они совершенствовались, максимально отвечая запросам общества, создаваемым транспортным средствам.

Возникновение дорожной сети относится к XII–IX столетиям, когда формировались Полоцкое, Туровское, Пинское и другие княжества. В период раннего средневековья через белорусские земли пролегал древнейший «Путь из варяг в греки», который соединял Северную и Южную Европу, Скандинавию и Ближний Восток. В позднее феодальное время через Беларусь был проложен маршрут «Восток–Запад», который проходил из Москвы через Полоцк на Вильню, а также через Слоним и Бобруйск на Варшаву.

Первое передвижение по дороге Москва–Смоленск–Минск–Брест относится к XI–XII векам. В XV веке эта дорога стала главным торговым каналом с Западом и получила название «Большая Смоленская» или «Посольская». В XVI–XVII веках на дорогах получила развитие ямская служба с широкими полномочиями по организации почтовых и грузовых перевозок.

В XIX веке через Беларусь были проложены две главнейшие дороги Москва–Варшава и Санкт-Петербург–Киев. Дороги эти

обустроивались станционными домами, в которых проживали ямщики и при которых содержались перекладные лошади.

Перед Первой мировой войной в Беларуси имелось 3753 км шоссейных дорог. В 30-е годы XX века началось строительство дорог, предназначенных для автомобильного движения.

Первой с асфальтобетонным покрытием была дорога Минск–Могилев. В 1941 г. (перед Второй мировой войной) протяженность дорог с твердым покрытием составила 12,6 тыс. км. В период этой войны сеть дорог была сильно разрушена, а в ряде мест полностью выведена из строя. После Второй мировой войны и до настоящего времени проводятся систематические работы по дорожному строительству. О динамике строительства за последние двадцать лет можно судить по данным таблице 1.

Таблица 1

Характерные показатели развития дорожной сети

Год	Протяженность, тыс. км	
	дорог общего пользования	дорог с твердым покрытием
1985	40,5	38,4
1990	48,9	46,3
1995	51,6	50,8
2000	74,4	66,2
2005	83,0	72,2
2008	85,7	74,0

По состоянию на 01.01.2010 г. протяженность автомобильных дорог превышает 86,3 тыс. км, из которых 74,5 тыс. составляют дороги с твердым покрытием. Дороги республиканского значения имеют протяженность 15,5 тыс. км, а местного значения – 70,8 тыс. км. Прирост протяженности автомобильных дорог с твердым покрытием за 2009 год составил 500 км, с усовершенствованным – 106 км. По видам дорожных покрытий дороги распределяются следующим образом: цементобетонные – 1,7 %, асфальтобетонные – 52,4; черные гравийные и черные шоссе – 1,7; гравийные и щебеночные – 31,1 и мостовые – 0,3. Некоторые местные дороги, которые в последние годы были переданы сельскохозяйственными организациями в ведение облдорстроев, являются грунтовыми.

Протяженность грунтовых местных автомобильных дорог за 2009 год возросла на 250 км (принятие в сеть дорог общего пользования сельскохозяйственных дорог и подъездов к садоводческим кооперативам). В настоящее время их протяженность – 11652 км.

Плотность автомобильных дорог в расчете на 1000 км<sup>2</sup> территории нашей республики превышает 410 км и превосходит по этому показателю дорожную сеть в России, Украине, Казахстане, Литве и других странах. Наибольшая плотность характерна для Гродненской (522 км) и Минской (482 км) областей, наименьшая – для Гомельской (306 км), Брестской (325 км). Наличие автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием на 1000 км<sup>2</sup> территории составило 358,9 км, на 1000 жителей республики – 7,8 км.

На автомобильных дорогах общего пользования находится (2009г.):

- 5276 мостов протяжением 177153 пог. м, в том числе на республиканских дорогах – 2220 моста протяжением 98247 пог. м, на местных дорогах – 3056 мостов протяжением 78 906 пог. м;

- 94 428 водопропускных труб общей длиной 1 361 691 пог. м, в том числе на республиканских дорогах – 21703 водопропускных труб длиной 406124 пог. м, на местных дорогах – 72 725 водопропускных труб длиной 955567 пог. м.

Автомобильные дороги по их народно-хозяйственному и административному значению, а также по интенсивности движения подразделяются на пять уровней требований к их эксплуатационному состоянию. В процессе диагностики дорог эти требования учитываются при выявлении критического состояния и несоответствия предъявляемым требованиям, назначаются меры ремонтно-профилактического или капитально-восстановительного характера [4, 6].

По данным РУП «Белдорцентр» только на республиканских дорогах ежегодно необходимо проводить капитальный ремонт протяженностью более 2 тыс. км, а текущий – 4,7 тыс. км. Требуют реконструкции около 900 участков, где зафиксирована (2009 г.) концентрация ДТП. Их протяженность превышает 1000 км. Имеются некоторые несоответствия требованиям состояния дорог по ровности проезжей части, прочности дорожной одежды, несущей способности дорожной конструкции, инженерному и сервисному обустройству важнейших транспортных магистралей.

Государственной программой «Автомобильные дороги Беларуси» на 2006 – 2015 годы предусмотрены значительные работы по повышению качества автомобильных дорог, строительству дорог в обход ряда населенных пунктов, реконструкции магистральных дорог, соединяющих Минск с областными центрами Беларуси. Все это будет способствовать повышению эффективности работы автомобильного транспорта; экологической и технологической безопасности автомобильных дорог.

### **Парк автомобилей и его дорожно-эксплуатационная характеристика**

Технические параметры и характеристика автомобильных дорог всецело зависят от автомобилей, для движения которых они предназначаются. Как известно, автомобили в городах и на дорогах Беларуси стали появляться в начале XX века. В 1910 г. уже было 65 автомобилей. В дальнейшем процесс автомобилизации получил непрерывное развитие. Наличие транспортных средств в Республике Беларусь с 1985 по 2008 гг. приведено в таблице 2.

Как видно из этой таблицы, структура парка транспортных средств в транспортном комплексе страны изменяется в сторону увеличения доли частного сектора. Возрастает также дальность перевозки грузов. Если в 1948 г. в среднем она составляла 17,8 км, то в 2005 г. – 48,4 км, а производительность составила 28 тыс. т. км на одну тонну грузоподъемности. Средняя дальность перевозки пассажиров (2009 г.) была равна 6,4 км. На одно место в автобусах в течение года приходится 5,8 тыс. пассажиров. В 2009 г. парк автомобилей продолжал увеличиваться и превысил 3 млн. автомобилей. Рост автомобильного парка в стране приводит к повышению интенсивности движения на дорогах. Среднесуточная интенсивность движения на магистральных автомобильных дорогах колеблется в значительных пределах. Так, на Минской кольцевой дороге (М-9) она равна около 30 тыс. автомобилей; на дороге Минск – аэропорт Минск 2 – 10 тыс. автомобилей; на дороге Брест – Минск – граница Российской Федерации – 6 тыс. автомобилей и т. д. Наряду с легковыми автомобилями в структуре транспортных потоков значительное место занимают грузовые автомобили, осевые нагрузки которых – 11,5 тонн и во многих случаях превышают расчетные (10 и 8 тонн), ранее установленные для дорожных конструкций различных технологических категорий. По состоянию несущей

способности республиканские автомобильные дороги характеризуются данными таблице 3.

Таблица 2

Наличие транспортных средств (на конец года)

Год	Грузовые автомобили, шт.		Автобусы общего пользования, шт.	Таксомоторные автомобили, шт.	Служебные легковые автомобили, шт.	Легковые автомобили в личной собственности, тыс. шт.
	общего пользования	частной собственности				
1985	34577	0	11946	2728	17069	388,5
1990	34347	6	12145	2973	21361	580,1
1995	21170	28154	9289	2157	31724	905,7
2000	12808	49350	8273	1784	34177	1385,9
2005	6958	77091	7784	663	37444	1733,3
2008	5807	99779	7876	1364	49211	2191,3

Таблица 3

Несущая способность республиканских автомобильных дорог (по состоянию на 01.01.2010 г.)

Допустимые нагрузки, т	Протяженность дорог: км и %
11,5	1331; 8,6
10	1163; 7,5
9	3590; 23,2
8	6690; 43,2
6	2719; 17,5

Несоответствие несущей способности многих автомобильных дорог современным нагрузкам приводит к необходимости ограничивать движение в период распутицы и при высоких температурах атмосферного воздуха, чтобы избежать интенсивного колеобразования на асфальтобетонных покрытиях и создать условия для безаварийной работы автомобильного транспорта.

**Аварийность в системе «автомобиль–дорога»**

Развитие автомобильно-дорожного комплекса, несомненно, является свидетельством роста благосостояния населения, повышения его коммуникативности и основой технического прогресса во всех сферах материального производства [1,7]. Вместе с тем в системе комплекса

проявляются негативные явления, связанные в первую очередь с аварийностью. Аварийность на автомобильных дорогах часто приводит к гибели людей, их травмированию, значительным материальным и финансовым издержкам. Об аварийности на дорогах Беларуси за 1988–2009 годы можно судить по числу и последствиям ДТП (таблица 4).

Таблица 4

Показатели аварийности на автомобильных дорогах Беларуси [2, 5]

Год	Кол-во ДТП	Кол-во ДТП с пострадавшими	Число раненых	Число погибших	Коэффициент тяжести
1988	–	7185	7430		17
1990	–	9311	9308		20
1995	–	7268	7457	1594	19
2000	–	6410	6494	1594	19,7
2005	–	7717	8047	1673	17,2
2007	–	7501	7990	1518	16,0
2008	82453	7238	7570	1564	17,1
2009	92553	6738	7198	1322	15,5

На дорогах общего пользования за этот период совершалось в среднем 44 % ДТП по отношению к общему их количеству. Риск здоровья для населения в дорожном движении, выражающийся числом погибших в течение года на сто тысяч жителей, составил 14 чел., а риск травмирования – около 76 чел. Количество погибших и раненых на 100 ДТП в целом в республике составляет соответственно 20 и 107 чел., на загородных автомобильных дорогах общего пользования – 36 и 104 чел. На 1000 км автомобильных дорог и улиц в среднем по республике приходится 7 погибших и 36 раненых. Из 1000 пострадавших в ДТП 155 погибло. Причем в Минской области – 186, в Витебской – 208, Брестской – 164, Гомельской – 177, Гродненской – 169, Могилевской – 142. Коэффициент тяжести ДТП для республики равен 15,5, а для дорог общего пользования – около 20.

Для более детального анализа ДТП рассмотрим данные за 2009 г., связав между собой регионы республики, их основные характеристики и аварийность (таблица 5).

Таблица 5

Характеристика регионов Беларуси и показатели аварийности

Области и г. Минск	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Население, тыс. чел.	Протяженность дорог, тыс. км	Наличие транспорта (авто и мото), тыс. шт.	Кол-во ДТП	Погибло	Ранено	Тяжесть ДТП
Брестская	32,8	1398,7	10,7	603,9	878	178	904	16,5
Витебская	40,1	1228,6	17,6	377,6	781	198	780	20,2
Гомельская	40,4	1438,3	12,4	425,8	884	191	881	17,8
Гродненская	25,0	1069,6	12,9	414,9	778	167	822	16,9
Минская	40,2	1418,9	19,4	486,6	1389	352	1535	18,7
г. Минск	–	1834,2	–	621,5	1175	76	1308	5,5
Могилевская	29,0	1091,9	13,3	300,7	854	160	968	14,2
Республика Беларусь	207,5	9480,2	86,3	3231,0	6738	1322	7198	15,5

**Пути повышения безопасности дорожного движения**

Как свидетельствуют приведенные выше данные, аварийность на автомобильных дорогах и на улично-дорожной сети городов остается достаточно высокой [8]. Повышение безопасности дорожного движения как местного, так и транзитного транспорта является важнейшей задачей транспортных, дорожных и правоохранительных организаций нашей страны.

Основными направлениями повышения безопасности можно считать:

• **для транспортных организаций:**

- обеспечение безопасности всего подвижного состава, выпускаемого на линию для выполнения транспортных операций;
- систематическую учебно-воспитательную работу по повышению профессионального мастерства и культуры водителей транспортных средств;

– внедрение системы дистанционного контроля режима движения и работы водителей, осуществляющих перевозки грузов и пассажиров на большие расстояния;

– постоянный контроль психофизиологического состояния водителей, приступающих к выполнению своих профессиональных функций;

• **для дорожных организаций:**

– улучшение технических и технико-эксплуатационных качеств автомобильных дорог, путем реконструкции наиболее напряженных участков и мест концентраций дорожно-транспортных происшествий, перевод важнейших магистралей в дороги I категории, строительство обходов важнейших городов нашей страны, улучшение видимости и ровности, устройства и ремонта пешеходных и велосипедных дорожек, поддержания проезжей части в безаварийном состоянии за счет своевременной ликвидации скользкости, ямочности и дефектов, угрожающих безопасности движения;

– повышение уровня информированности водителей и пешеходов об условиях дорожного движения за счет совершенствования организации движения транспортных и пешеходных потоков;

– совершенствование системы функционирования многопозиционных знаков и табло, обеспечивающих оперативное информирование участников дорожного движения о существующих и изменяющихся условиях по направлениям транспортных маршрутов;

– использование современных технических средств организации и регулирования дорожного движения, включающих дорожную разметку, светофорную сигнализацию, искусственное освещение пешеходных переходов, устройство направляющих и удерживающих ограждений, укладку шумовых полос и др.;

– при разработке проектов строительства, реконструкции и капитального ремонта автомобильных дорог необходимо учитывать более высокие требования к инженерному обустройству, к прочности, ровности и сцепным качествам проезжей части, которые обеспечивают их экономическую, экологическую и социальную безопасность;

• **для Госавтоинспекции:**

– усиление внимания к вопросам безопасности дорожного движения при согласовании проектов строительства, реконструкции, капитального ремонта дорог и мостов, дислокации дорожных знаков и ограничении движения тяжеловесных и крупногабаритных

транспортных средств при неблагоприятных погодных-климатических условиях;

- внедрение новых методов контроля транспортных потоков, основанных на использовании современных средств телекоммуникации;

- освоение методик визуальной и инструментальной экспертизы и оценки причин возникновения ДТП с определением при этом виновных лиц [3];

- внесение обоснованных предложений по уточнению и усовершенствованию правил дорожного движения с учетом всех особенностей уличной и дорожной сети, состава транспортных потоков, погодных-климатических, временных и других условий;

- усиление взаимодействия с дорожными и транспортными организациями, органами местной власти и общественные формирования по вопросам обучения, воспитания и соблюдения высокой культуры при использовании населением автомобильных дорог и транспортных объектов в коммуникационных, рекреационных и социально бытовых целях.

Также необходимо производить автоматический контроль за движением и информирование водителей об условиях движения, а также о маршрутах дальнейшего следования. Это возможно при совершенствовании соответствующих АСУ ДД. Системы должны обеспечивать автоматическую идентификацию дорожно-транспортных происшествий (их фиксацию) для экстренного вызова аварийно-спасательных служб и организации объездных маршрутов движения с информированием водителей о сложившейся дорожно-транспортной ситуации; контроль нарушений ПДД (в т.ч. проезда на красный сигнал перекрестков); выбор альтернативных мест парковки и т.д.

Применение GPS-технологий и сотовой связи позволит оптимизировать движение грузового транспорта (появится возможность детальной оперативной маршрутизации перевозок, связи с водителями, слежения за процессом перемещения, скоростных режимах, режимах труда и отдыха водителей).

Применение различных детекторов позволит контролировать соблюдение участниками движения существующих ограничений (например, видеодетектирование), предоставлять водителям оперативную информацию об условиях движения, отслеживать скорость

движения транспортного потока (использовать методы успокоения движения).

Использование экологических датчиков и детекторов позволит осуществлять экологический мониторинг улично-дорожной сети города. Также возможно осуществление контроля за выполнением расписания и мониторинга движения городского пассажирского транспорта (формирование заявок на замещение транспортного средства, вышедшего из строя на линии). К контролирующей функции разрабатываемой системы можно отнести и фиксацию угонов и несанкционированного проникновения в транспортное средство.

Отдельно можно выделить подсистему информирования участников движения, которая будет обеспечивать подачу информации водителям о наличии свободных мест на парковках (предпочтительных мест для стоянки и хранения автомобиля) и их стоимости; о кратчайшем маршруте следования и дорожных и погодных условиях на нем; о заторах и возможных маршрутах объезда; о наличии контроля со стороны ГАИ и возможном превышении скорости движения; пассажирам и пешеходам о дополнительных маршрутах городского транспорта; о расписании движения и его совмещении с пригородным транспортом; возможных пересадках и ориентировочном времени движения; погодных условиях; оплате проезда; водителям специальных и специализированных транспортных средств о маршрутах приоритетного пропуска; об опасном месте или местоположении аварии (происшествия, пожара, больного, требующего медицинского обслуживания, гололеда, наноса снега и т.д.).

В состав системы могут входить подсистемы управления движением на путепроводах (мостах и в туннелях); сбора платы на платных международных дорогах; весового контроля и создания таможенных коридоров (в том числе при организации движения крупногабаритных и опасных грузов); эксплуатации и содержания дорог и улиц; противоугонные; транзитного движения и маршрутного ориентирования, навигации и многие другие.

Также может быть попутно решена проблема автоматизации на железнодорожных переездах – включение в интегрированную систему видеодетекторов, фиксирующих нарушения правил проезда переезда и наличия препятствия на путях в зоне переезда, специальных дорожных контроллеров для переездов с возможностью работы

бело-лунного сигнала (особенно для переездов I и II категории без смотрителя).

С точки зрения эксплуатационщиков автоматическое слежение за состоянием дорожного покрытия позволит своевременно выявлять места образования снежных заносов, гололеда или иные места повышенной скользкости и своевременно предотвращать ДТП путем обработки данных мест противогололедными материалами. При этом система должна предлагать оптимальный маршрут доставки материалов и способы устранения скользкости (например, не просто посыпка противогололедным материалом, а также и уборка снега).

На путепроводах, мостах и эстакадах могут быть установлены дополнительные датчики температурного режима для индикации появления скользкости в межсезонье (переходные режимы весной и осенью), когда в виду специфики устройства этих дорожных сооружений образуется места повышенной скользкости.

Необходимо также отметить, что в качестве значимых направлений по повышению безопасности движения, основанных на совершенствовании нормотворческой и законодательной базы, можно выделить следующие:

1. Разработка ТКП «Маршрутное ориентирование на автомобильных дорогах и улицах населенных пунктов» с включением в него соответствующих разделов СТБ 1140, СТБ 1231, СТБ 1300, РД 0219.1.11-2003.

2. Разработка предложений по корректировке перечня автомобильных дорог общего пользования Республики Беларусь и по их нумерации для более эффективного использования в системах маршрутного ориентирования.

3. Разработка предложений для рабочей группы по дорожному транспорту КВТ ЕЭК ООН по дополнительному включению автомобильных дорог Республики Беларусь в международную сеть дорог «Е».

4. Анализ эффективности применения перекрестков с кольцевой планировкой и разработка ТКП «Перекрестки с кольцевой планировкой на автомобильных дорогах Республики Беларусь».

5. Разработка СТБ «Светофоры дорожные. Типы. Основные параметры» (взамен ГОСТ 25685-83, который еще не отменен только на территории Республики Беларусь).

6. Разработка разделов Руководства по организации дорожного движения на автомобильных дорогах Республики Беларусь.

7. Разработка рекомендаций по выбору видов пешеходных переходов и их оборудованию светофорным регулированием.

8. Разработка рекомендаций по применению современных технических средств организации дорожного движения (ТС ОДД) на пешеходных переходах.

9. Разработка методики исследования условий транспортно-пешеходного движения в зоне остановочных пунктов пассажирского маршрутного транспорта и типовых мероприятий по совершенствованию организации и повышению безопасности движения в зоне остановочных пунктов.

10. Разработка методик определения эффективности мероприятий по организации дорожного движения, критериев применения технических средств организации движения (спящих полицейских и иных искусственных неровностей, сочетания ТС ОДД в зоне перекрестков и пешеходных переходов, остановочных пунктов).

Отдельным направлением совершенствования нормативно-правовой базы в соответствии с Концепцией обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь является повышение безопасности движения пешеходов – слабо защищенных участников дорожного движения. К мероприятиям, которые, безусловно, повысят безопасность дорожного движения данной категории участников движения можно отнести следующие:

1. Разработка курса «Правила дорожного движения для пешеходов» для включения в программу средних школ.

2. Разработка перечня конкретных организационных мер для реализации программы оснащения пешеходов (в первую очередь детей) световозвращающими элементами.

3. Корректировка режимов светофорного регулирования на регулируемых пешеходах для обеспечения переходных интервалов для пешеходов (разработка документации, согласование, реализация).

4. Разработка (адаптация существующих) конструкций островков безопасности.

5. Разработка руководства по организации движения пешеходов.

6. Разработка руководства по организации дорожного движения.

7. Внесение изменений, относящихся к размещению и обустройству пешеходных переходов и островков безопасности на них, в

СНБ 3.03.02-97 «Улицы и дороги городов, поселков и сельских населенных пунктов».

8. Формирование детальной программы переоборудования пешеходных переходов в населенных пунктах городского типа Республики Беларусь (с указанием конкретных перекрестков и переходов).

### **Выводы**

1. Автомобильный транспорт, как важнейшая составляющая в системе транспортного комплекса Республики Беларусь, развивается интенсивно. По уровню автомобилизации наша страна превосходит многие страны мира. Ежегодный прирост автомобильного парка составляет 4 – 6 %.

2. Для эффективной работы автомобильного транспорта необходимы качественные дороги. В республике сеть автомобильных дорог постоянно развивается, улучшаются ее технические и эксплуатационные характеристики. По плотности дорожной сети Беларусь превосходит Россию, Украину, Казахстан, Литву.

3. Развитие дорожно-транспортного комплекса, к сожалению, не позволяет полностью исключить аварии на дорогах, хотя рост аварийности ниже темпов роста автомобилизации. Риск погибнуть в авариях на дорогах составляет 14 человек на 100 тыс. жителей, а быть раненым – 76 человек. В Республике Беларусь транспортными, дорожными и правоохранительными организациями предпринимаются меры по снижению аварийности.

4. Причин аварийности на автомобильных дорогах множество. Среди них – несоблюдение Правил дорожного движения водителями и пешеходами, неисправность транспортных средств, а также ряд технических и эксплуатационных несоответствий дорог возросшим интенсивности и скорости движения автомобильного транспорта.

5. Повышение безопасности дорожного движения на улично-дорожной сети г. Минска, как и в других городах, связано с решением ряда организационно-технических и правовых вопросов. Основные направления решения этих вопросов заложены в Концепции обеспечения безопасности дорожного движения республики.

6. Устранить причины аварийности или снизить их до минимума можно путем существенной модернизации дорожной инфраструктуры, создания благоприятной для движения обстановки на дорогах, максимальной локализации транспортных и пешеходных

потоков, повышения культуры и гражданской ответственности перед обществом всех пользователей автомобильных дорог.

7. В г. Минске необходимы коренные меры по реформированию транспортной системы и они должны быть комплексными, учитывающими возрастающую интенсивность движения на улично-дорожной сети, тенденции градостроительной политики и общей концепции формирования городской инфраструктуры.

8. Необходимо разработать на базе действующих региональных и отдельных городских АСУ дорожным движением концепции их развития с преобразованием и интегрированные региональные (общегородские) интеллектуальные транспортные системы. Такой подход позволит системно учитывать следующие вопросы: контроль за движением транспортных и пешеходных потоков; идентификацию ДТП, сложных погодных условий и т.п.; контроль за режимом труда и отдыха водителей; мониторинг дорожного движения; управление МПТ (в т.ч. метро, скоростными трамваями, городскими поездами); реализация концепции «перехватывающих стоянок и паркингов» и т.д.

9. Для повышения безопасности дорожного движения необходимы комплексные меры, включающие транспортные, дорожные и организационно-правовые составляющие. Успешная их реализация требует объединения усилий работников Госавтоинспекции, транспортных и дорожных организаций. Комиссии по безопасности дорожного движения необходимо расширить функции и обеспечить системность их вертикального взаимодействия.

### Литература

1. Врубель, Ю.А. Организация дорожного движения / Ю.А. Врубель // Белорусский фонд безопасности дорожного движения: в 2 ч. – Минск, 1996. – Ч. 2.

2. Леонович, И.И. Причины аварийности на автомобильных дорогах и основные пути их устранения / И.И. Леонович. // Труды БНТУ. Сер. II, Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2008. – Вып. XVI. – С. 15 – 19.

3. Рекомендации по обеспечению безопасности дорожного движения на участках концентрации ДТП на автомобильных дорогах общего пользования (утверждены приказом Комитета по автомобильным дорогам Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь № 43 от 27.03.01 г.). – 54 с.

4. Лукин, В.А. Комплексная сравнительная оценка дорожных условий на аварийных участках дорог/ В.А. Лукин. // дис....к-та тех. наук: 61:95–5/1792–О. – Москва, 1994. – 216 с. Аналитический сборник о состоянии аварийности в Республике Беларусь за 2009 год / МВД РБ, 2010. – 85с.

5. Аналитический сборник / под общ. ред. В.Л. Филистовича // Состояние безопасности дорожного движения в Республике Беларусь в 1999–2006 годах и наметившиеся тенденции: справочно-информационные материалы МВД Республики Беларусь. – Минск: Полиграфический центр МВД, 2007. – 124 с.

6. Капский, Д.В. Прогнозирование аварийности в дорожном движении / Д.В. Капский. – Минск: БНТУ, 2008. – 243 с.

7. Леонович, И.И. Основные направления повышения безопасности дорожного движения автомобильных дорог / И.И. Леонович // Материалы 6 МНТК Наука – образованию, производству, экономике, БНТУ – Минск, 2008. – С. 5 – 16.

8. <http://belstat.gov.by/homep/ru/indicators/transport.php> и <http://belstat.gov.by/homep/ru/indicators/doclad/dec/7.pdf>  
Национальный статистический комитет Республики Беларусь / сайт

УДК 630\*383:625.711.84(476)

## **ЛЕСНЫЕ АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ В СИСТЕМЕ ДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА СТРАНЫ**

**И. И. Леонович, д-р техн. наук профессор,**

**Н. П. Вырко, д-р техн. наук профессор**

*Белорусский национальный технический университет,  
Белорусский государственный технологический университет  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Интенсификация лесного хозяйства, расширение мероприятий по повышению продуктивности и качества лесов, усиление их водоохраных, климаторегулирующих и санитарно-гигиенических функций, а также рациональное использование лесных ресурсов невозможны без развития транспортных путей на территории лесного фонда.

Лесной комплекс играет важную роль в экономике нашей страны, а развитие и совершенствование лесного хозяйства и лесозаготовительного производства является одним из приоритетных ее направлений. Только вывезенная с лесосеки на нижний склад или потребителю древесина является товаром, имеет цену и может быть сдана на реализацию.

При этом все эти работы связаны с автомобильным транспортом. Автомобильный парк лесохозяйственных и лесозаготовительных предприятий составляет около 2 тыс. единиц. Среди них лесовозы, щеповозы МАЗ-5434, МАЗ-6303-26, МАЗ-64255, КамАЗ-5410, КамАЗ-5320, КрАЗ-260Л, КрАЗ-255Л и др., автосамосвалы, специализированная транспортная техника МЛПТ-354, МАЗ-504Г(ЛТ-7), КрАЗ-608+ОдАЗ-885(ЛТ-58).

Для устойчивого развития лесного хозяйства необходимо, чтобы каждый лесхоз располагал оптимальной структурой лесов, близкой по своему характеру к нормальному лесу и оптимальной транспортной сетью.

Для освоения лесных массивов строятся следующие виды лесных дорог: магистрали и технологические пути. Если магистральный путь – это дорога круглогодичного действия, то технологические пути работают от 1 до 10 лет. Однако практика показывает, что лесхозы и леспромхозы и другие организации, осуществляющие заготовку леса, при вывозке лесопродукции используют одновременно как лесные дороги, так и дороги общего пользования. По классификации автомобильных дорог, лесные дороги, наряду с сельскохозяйственными, относятся к ведомственным. Вот почему правомерно всегда с позиции транспорта рассматривать сеть автомобильных дорог страны или отдельного ее региона в комплексе, независимо от того, в чьей собственности (республики, области или отдельного предприятия) находятся дороги. Развивать же сеть дорог и повышать их транспортно-эксплуатационные качества является задачей общенародной, и к ее решению, несомненно, должны привлекаться все предприятия и организации, как путем создания дорожных фондов, так и путем непосредственного участия в строительстве дорожных объектов.

Автомобильные дороги общего пользования, которые уже используются и потенциально могут быть использованы еще в больших масштабах, по состоянию на 01.01.2010 г. имеют протяженность

85,8 тыс. км, в том числе 15 441 км республиканские автомобильные дороги и 70 260 км – местные. Характеристики дорог общего пользования по областям республики приведены в таблице 1.

Таблица 1

Протяженность и густота дорожной сети общего пользования

Области	Территория, тыс. км <sup>2</sup>	Протяженность дорог, тыс. км		Протяженность, км		
		а. д.	в т. ч. с твердым покрытием	а. д. на тыс. км <sup>2</sup>	а. д. на тыс. жит.	а. д. на тыс. га пахотных земель
Брестская	32,8	10,1	9,5	307,9	6,9	11,9
Витебская	40,1	17,0	13,8	423,9	12,9	18,6
Гомельская	40,4	11,2	9,8	277,2	7,4	13,8
Гродненская	25,2	12,8	11,1	507,9	11,2	15,7
Минская	39,9	18,6	16,6	466,1	11,0	12,7
Могилевская	29,1	11,8	9,4	405,5	8,0	15,1
Республика (обобщенно)	207,6	81,5	70,2	392,6	8,3	14,8

Кроме сухопутного транспорта, в целях транспортировки лесных грунтов могут быть использованы водные артерии: в Гомельской области – 928 км; в Гродненской – 57 км и Могилевской – 436 км.

Лесной фонд по территории Беларуси распределяется неравномерно. При его общей площади (2001 г.) 7845 млн. га в Брестской области находится 1118 тыс. га (14,3 % от общей площади лесов), Витебской – 1500 тыс. га (19,1 %), Гомельской – 1822 тыс. га. (23,2 %), Гродненской – 861,1 тыс. га (11,1 %), Минской – 1492 тыс. га (19 %) и в Могилевской – 1048 тыс. га (13,3 %).

Для транспортного освоения лесных территорий густота дорожной сети в первом приближении может быть принята из расчета 0,432 км на 100 га общей покрытой лесом площади. Если учесть, что общая лесная площадь в Беларуси составляет 9247,5 млн. га, то

очевидно, в лесном комплексе республики необходимо иметь около 50 тыс. км постоянно действующих лесных дорог.

Фактическое положение можно оценить, если принять густоту дорожной сети общего пользования на лесных территориях аналогичную густоте дорог общего пользования с поправочным коэффициентом неравномерности дислокации дорог, равным  $K_n=1,2$ , учесть коэффициент удлинения трасс  $K_T$ , общий процент лесистости на рассматриваемой территории.

Протяженность местных автомобильных дорог, которая может быть непосредственно использована в лесохозяйственных целях, рекомендуется определять по формуле

$$L_{оп} = \frac{P_d p F_l}{100 K_n K_T}, \quad (1)$$

где  $P_d$  – плотность дорожной сети общего пользования на рассматриваемой территории, км/1000 га;

$p$  – процент лесистости, %;

$F_l$  – лесные площади, тыс. га;

$K_n$  – коэффициент неравномерности распределения дорожной сети по территории;

$K_T$  – средний коэффициент извилистости дорожных трасс.

Расчеты по этой формуле для условий Беларуси сведены в таблице 2.

Необходимая протяженность лесных дорог с учетом современных технологий заготовительных работ определяется по формуле

$$L_n = 0,432 K'_n K'_T F_l, \quad (2)$$

где  $K'_n$  – коэффициент неравномерности лесонасаждений в рассматриваемом районе;

$K'_T$  – коэффициент нелинейности (извилистости) лесных трасс.

Принимая значения коэффициентов  $K'_n=1,3$  и  $K'_T=1,1$  и приведенные выше площади лесного фонда по областям, получим необходимую протяженность дорог (км):

Брестская область	6910
Витебская область	9270
Гомельская область	11 255
Гродненская область	5335
Минская область	9200
Могилевская область	6500
ИТОГО	48 500

Разность необходимой протяженности дорог для многофункциональной деятельности лесного хозяйства и фактической протяженности дорог общего пользования позволяет определить реальную потребность сугубо лесных дорог, т. е.

$$L_{\text{л}} = L_{\text{н}} - L_{\text{оп}} = F_{\text{л}} \left( 0,432 K'_{\text{н}} K'_{\text{т}} - \frac{P_{\text{л}} P}{100 K_{\text{н}} K_{\text{т}}} \right). \quad (3)$$

Таблица 2

Протяженность местных дорог, потенциально возможных для непосредственного использования в лесном хозяйстве

Области, республика	Протяженность местных дорог, тыс. км	Плотность дор. сети км/1000 га	Лесные площади, тыс. га	$K_{\text{н}}$	$K_{\text{т}}$	$L_{\text{оп}}$ , км
Брестская	8,8	2,68	1118	1,2	1,15	740
Витебская	12,8	3,19	1500	1,2	1,15	1295
Гомельская	9,2	2,28	1822	1,2	1,15	1360
Гродненская	10,2	4,05	865	1,2	1,15	870
Минская	16,2	4,06	1492	1,2	1,15	1640
Могилевская	8,8	3,02	1048	1,2	1,15	825
Республика	66,0	3,18	7845	1,2	1,15	7030

По областям республики эта потребность составляет, км:

Брестская область	6100	Гродненская область	4465
Витебская область	7975	Минская область	7560
Гомельская область	9895	Могилевская область	5675

Таким образом, на балансе лесхозов республики находится около 42 тыс. км дорог.

Как показывают наши исследования [2], существующая сеть автомобильных дорог, используемых в лесном комплексе республики для вывозки леса (табл. 3), несколько отличается от приведенных выше данных, и это, очевидно, можно объяснить как недостатком учетного характера, так и отсутствием обоснованных решений по созданию постоянно действующей сети дорог в лесах Беларуси. С другой стороны, данные табл. 3 относятся к лесовозным дорогам, а наш анализ носит общесистемный характер и охватывает в целом сферу деятельности лесного хозяйства. Данные таблицы 3 свидетельствуют о транспортно-эксплуатационном состоянии дорог, используемых в транспортных целях работниками лесного хозяйства. Малый удельный вес (15,4 %) дорог круглогодичного действия сдерживает ритмичность лесопользования, а преобладание грунтовых дорог (более 90 %) не способствует эффективной работе автомобильного транспорта, так как их состояние в значительной степени связано с погодно-климатическими условиями.

Сотрудниками кафедры транспорта леса белорусского государственного технологического университета обоснована программа развития сети лесных дорог и повышения их транспортно-эксплуатационных качеств.

Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь в настоящее время реализуется программа транспортного освоения лесного фонда и строительства лесных дорог, которая утверждена Советом Министров Республики Беларусь от 11.09.2006 г. № 11172.

Автор в своей статье «Где-то густо, а у нас пусто» [3] отмечает, что до 2015 г. в лесах Беларуси необходимо построить 11,8 тыс. км автомобильных дорог, в том числе 2,1 тыс. км дорог с переходными типами покрытий и 9,7 тыс. км с низшими.

Можно надеяться, что совместно с лесхозами и леспромхозами эта программа будет последовательно реализовываться, и это будет основой дальнейшего повышения качества и роли лесных дорог в дорожно-транспортном комплексе республики.

Таблица 3

Автомобильные дороги, используемые для вывозки леса в лесохозяйственных объединениях

Лесохозяйственные объединения	Существующая сеть автомобильных дорог, км						Лесные, площадь, км <sup>2</sup>	Плотность дорожной сети км/100 га	
	Общего пользования	Лесные и лесовозные	Грунтовые		Общая протяженность			Общая	Круглогодового действия
			Всего	Круглогодового действия	Всего	Круглогодового действия			
Брестские	734	175	7838	1216	8747	2125	876	0,998	0,242
Витебские	1427	325	13 651	1021	15 403	2773	1141	1,350	0,243
Гомельские	2111	213	31 034	1959	33 358	4283	1668	2,000	0,257
Гродненские	966	149	12 179	1153	13 294	2268	768	1,731	0,296
Минские	1242	489	20 523	1605	22 254	3336	1351	1,642	0,247
Могилевские	1378	111	18 752	1125	20 241	2614	991	2,042	0,246
ВСЕГО	7858	1462	103 977	8079	113237	17 399	6795	1,667	0,256
	6,9 %	1,3 %	91,8 %	7,1 %	100 %	15,4 %			

На основании вышеизложенного можно сделать выводы.

1. Для устойчивого функционирования лесного комплекса республики необходимо иметь развитую сеть автомобильных дорог как общего пользования и ведомственных (лесных), находящихся на балансе лесхозов.

2. Лесные дороги в лесном комплексе играют важную роль в выполнении различных функций по охране, использованию и восстановлению лесонасаждений.

3. В соответствии с классификацией автомобильных дорог, лесные дороги являются ведомственным и, т.е. они являются составной частью дорожной инфраструктуры и с течением времени могут войти в систему автомобильных дорог общего пользования. Поэтому при проектировании и строительстве необходима увязка их с основными положениями государственной программы «Дороги Беларуси» (2006 – 2015 г. г.). В рамках этой программы целесообразно установить конкретные качественные и количественные показатели.

4. Провести мониторинг лесных дорог и паспортизацию с финансовой оценкой их состояния.

5. Изучить лесные грузопотоки, в том числе и на перспективу по всей территории Беларуси и с учетом условий современной организации ведения лесного хозяйства и технологии заготовки леса разработать, нормативные документы по проектированию и строительству лесных дорог, а также и то, что опорная дорожная сеть лесного комплекса должна иметь протяженность 48,5 тыс. км, в том числе 40,5 тыс. км лесных дорог и около 8 тыс. км дорог общего пользования, а густота транспортной сети 0,432 км/100 га.

6. На вывозке заготовленного леса республиканские автомобильные дороги общего пользования следует рассматривать как транзитные пути сообщения, для которых установлены соответствующие правила движения и требования к предельным габаритам и осевым нагрузкам. Для вывозки леса могут использоваться дороги местного значения.

7. Предложенная методика расчета протяженности лесных дорог позволяет вести при различных величинах лесных площадей с учетом особенностей лесонасаждений, рельефа местности, при соответствующей корректировкой коэффициентов  $K'_н$  и  $K'_т$ .

8. Одновременно с решением вопросов густоты и протяженности лесных дорог разработать типовые дорожные конструкции для различных типов местности по характеру и степени увлажнения с использованием современных дорожно-строительных материалов, геосинтетики и технологий.

9. Научные исследования по проблемам лесных дорог и лесовозного транспорта должны быть сконцентрированы на поиске новых технических решений по повышению несущей способности дорог с минимальными дорожно-строительными затратами и оптимизации системы автомобиль – дорога – время года.

### **Литература**

1. Беларуская энцыклапедыя: у 18 т. – Мінск.: БелЭн – Т. 18, кн. 2: Рэспубліка Беларусь, 2004. – 760 с.

2. Вырко, Н.П. Сухопутный транспорт леса/ Н.П. Вырко. – Минск: Вышэйшая школа, 1987. – 438 с.

3. Вырко, Н.П. Где-то густо, а у нас пусто / Н.П. Вырко. – № 1. – Минск: Лесная промышленность Беларуси, 2004.

УДК 625.7.08:001

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ТРУДАХ ПРОФЕССОРА А.П. ВАСИЛЬЕВА**

**Леонович И.И., д-р техн. наук, профессор**  
*Белорусский национальный технический университет*  
*(г. Минск, Республика Беларусь)*

Автомобильные дороги являются важнейшей составляющей дорожно-транспортного комплекса. Для них, как и для любого живого организма, характерным является рождение, многолетнее существование, старение и разрушение, подобное гибели. Построенная автомобильная дорога переходит в стадию эксплуатации и этот эксплуатационный период длиться, можно сказать, бесконечно, сопровождаемый соответствующими работами по поддержанию всех ее сооружений в надлежащем состоянии. На определенном этапе

возникает необходимость эти сооружения ремонтировать, вести их модернизацию и реконструкцию. Выполняемые работы различаются по характеру, объему, сроком выполнения, принципом организации и другими особенностями. Важную роль при этом играют теоретические основы, являющиеся базой для разработки нормативно-правовых документов, технологии и организации производства работ, управления качеством. Созданию теоретических основ эксплуатации автомобильных дорог посвящены многочисленные исследования ученых России, Украины, Беларуси, Литвы и других стран. Среди них профессора А.К. Бируля, В.М. Сиденко, Ю.В. Кузнецов, М.Б. Корсунский, М.С. Коганзон, Д.А. Павлюк, С.С. Кизима, Ю.М. Яковлев, В.Н. Яромко, С.Ю. Рокас и др. Особое место в системе современной дорожно-эксплуатационной науке занимают исследования А.П. Васильева – заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, доктора технических наук, профессора Московского автомобильно-дорожного института (Государственного технического университета) [1, 2].

Творческая биография А.П. Васильева насыщена фактами многоплановой, весьма результативной производственной, научной, педагогической и общественной деятельности. Родился Александр Петрович 17 февраля 1931 года в деревне Дмитровка Башкирской АССР (ныне Республика Башкортостан). В 1951 году он окончил с отличием Уфимский дорожный техникум. По окончании Саратовского автомобильно-дорожного института (1956 г.) по специальности «Автомобильные дороги» (специализация «Автомагистрали и городские дороги») работал мастером и прорабом на объектах дорожного строительства в Казахстане, был начальником производственно-технической части крупной дорожно-строительной организации. Учеба в аспирантуре МАДИ и успешная защита кандидатской диссертации (1964 г.) открыли ему возможность реализовать свои незаурядные способности на научном поприще. В Саратовском автомобильно-дорожном институте работал в должности ассистента и доцента, был деканом дорожно-строительного факультета, в НИИ БД МВД СССР – заместителем начальника отдела (1969 г.), а в ГипродорНИИ в течение 15 лет – заместителем директора на научной работе. В этот период им была защищена диссертация на соискателя ученой степени доктора технических наук. С 1986 по 2009 годы А.П. Васильев заведовал кафедрой «Строительство

и эксплуатация дорог» МАДИ (ГТУ), а с 2009 года является профессором этой кафедры. В 1995 году А.П. Васильев был избран профессором Щетинского политехнического института (Польша) и на протяжении многих лет читал по совместительству лекции и готовил научные кадры в этом вузе.

Исследования профессора А.П. Васильева охватывают широкий круг вопросов организации и безопасности дорожного движения, содержания и ремонта автомобильных дорог, управления транспортно-эксплуатационными качествами дорожных сооружений [3].

Возглавляя научно-исследовательскую часть ГипродорНИИ им были организованы исследования режимов движения автомобилей на дорогах в различных регионах России, которые позволили установить влияние погодно-климатических факторов на состояние дороги и функционирование системы «Водитель–Автомобиль–Дорога–Среда». Было доказано, что фактическую ширину проезжей части водитель видит и воспринимает во время движения по-разному в зависимости от технической категории дороги, погодно-климатических условий, уровня эксплуатационного содержания, скорости и интенсивности транспортного потока. Установлены зависимости траекторий, скоростей движения и интервалов между автомобилями от состояния поверхности проезжей части, которое варьирует в значительном диапазоне под влиянием погодно-климатических условий. Предложена методика комплексной оценки влияния технических параметров и технико-эксплуатационных характеристик автомобильных дорог на обеспеченную скорость движения автомобилей. Введены понятия «расчетный период года по условиям движения», дано районирование территории России по условиям движения на автомобильных дорогах. Предложена зависимость, позволяющая определить значения скоростей движения одиночного автомобиля, свободного движения и транспортного потока.

Исследования и расчеты, выполненные профессором А.П. Васильевым показали, что вероятность уровней удобства движения на дорогах различных категорий имеет различное значение и изменяется в течение года, дней недели и часов суток. Вот почему при среднем уровне удобства Б в отдельных моментах скорость движения может значительно снизиться под влиянием различных факторов. При среднем уровне движения В могут возникать заторы и при уровне движения Г они неизбежны.

Изучению режимов движения автомобилей на дорогах с высокой интенсивностью движения привело к выводу о необходимости применения на таких дорогах систем автоматизированного управления движением, которые позволяют быстро фиксировать все текущие изменения в элементах комплекса ВАДС и оперативно реагировать на эти изменения выработкой адекватных и эффективных решений по управлению режимом движения в каждый момент времени. В ГипродорНИИ под руководством профессора А.П. Васильева были разработаны теория и проект автоматизированного управления движением на автомобильной магистрали (система АРДАМ), сыгравшие важную роль в обеспечении максимально возможной эффективности работы автомагистрали и в первую очередь обеспечение высоких скоростей транспортных потоков, пропускной способности дороги и безопасности движения.

В результате выполненных исследований получили существенное развитие теория и практика проектирования и эксплуатации автомобильных дорог, организация дорожного движения. Значительная часть результатов исследований процессов, протекающих в системе ВАДС, учтена при разработке СНиП II-Д.5-72, СНиП 2.05.02-85, включена в Технические правила ремонта и содержания автомобильных дорог, в Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог, ряд других нормативно-технических документов. Научное обобщение проведенных профессором А.П. Васильевым исследований по вопросам организации и безопасности движения, изложены в монографиях «Состояние дорог и безопасность движения в сложных погодных условиях» (1976 г.), «Управление движением на автомобильных дорогах» (в соавторстве с М.И. Фримштейном) (1979 г.) и «Проектирование дорог с учетом влияния климата на условия движения» (1986 г.).

В 1990 году профессор А.П. Васильевым в соавторстве с профессором Киевского автомобильно-дорожного института В.М. Сиденко был издан учебник «Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения», в котором на высоком научном уровне была системно представлена теория и практика эксплуатации автомобильных дорог, раскрыты закономерности управления качеством дорог и требования по обеспечению потребительных их свойств.

Это издание на протяжении многих лет являлось основным источником информации при подготовке инженеров дорожного профиля в вузах СССР, а затем и в вузах СНГ.

К числу новейших изданий, в которых непосредственное участие принимал профессор А.П. Васильев, является восьмитомная «Строительная энциклопедия дорожника». Под его редакцией были изданы два тома: том 1 «Строительство и реконструкция автомобильных дорог» (2005 год) и том 2 «Ремонт и содержание автомобильных дорог» (2004 год). В первом томе изложены этапы развития и совершенствования сети автомобильных дорог России, технологии их строительства. Подробно рассмотрены вопросы технологии возведения земляного полотна в различных природно-климатических условиях; технологии и организации работ по строительству дорожных одежд; особенностей технологии работ по реконструкции автомобильных дорог. Большое внимание уделено новым дорожно-строительным материалам и проблемам материально-технического обеспечения дорожного строительства, включая предприятия по разработке горных пород, битумные и эмульсионные базы, асфальтобетонные и цементно-бетонные заводы, полигоны изготовления железобетонных изделий, склады и т.д. Отдельные разделы посвящены методам организации и обеспечения качества дорожно-строительных работ, приведены производственно-технологические параметры машин и оборудования для строительства и реконструкции дорог.

Во втором томе изложены условия работы автомобильных дорог под воздействием автомобильного транспорта и природно-климатических факторов. Описаны методы диагностики и оценки состояния дорог, а также назначения и планирования ремонтных мероприятий, дана классификация и состав по ремонту и содержанию дорог. Приведено описание технологий, применяемых материалов, средств механизации и организации работ по ремонту и содержанию дорог и обеспечению безопасности дорожного движения.

Строительная энциклопедия дорожника в целом по своей сути является уникальным произведением современной науки, а ее практическое использование инженерно-техническими работниками и специалистами дорожного хозяйства, научными работниками, педагогическим персоналом вузов, колледжей и техникумов, несомненно повышает уровень их инновационной деятельности.

Издательским центром «Академия» в 2010 году выпущен в двух томах учебник А.П. Васильева «Эксплуатация автомобильных дорог» [4]. В учебнике рассмотрены теоретические основы содержания, ремонта и организации управления функционированием дорог в системе дорожно-транспортного комплекса страны. Большое внимание уделено методам мониторинга, диагностики и оценка состояния, требованиям к автомобильным дорогам в разные периоды года и в различных климатических условиях. Достаточно подробно освещены методы и технологии работ по содержанию и ремонту автомобильных дорог, организации и повышению безопасности движения на эксплуатируемых дорогах.

В отличие от предыдущих изданий в учебнике профессор А.П. Васильева выпуска 2010 года нашли отражение последние научные достижения в области дорожного материаловедения, диагностики эксплуатационного состояния дорог, технологии регенерации асфальтобетонных покрытий, управление качеством дорожных работ, автоматизированных систем паспортизации дорог и др. Его отличает системность изложения, обоснованность решений и выводов, доступность с дидактической точки зрения ко всем представленным в учебнике материалам. Нельзя не согласиться с мнением автора, который в «Заключении» учебника сформулировал тезис, что «перед дорожной наукой и практикой стоят сложные и трудные задачи по дальнейшему совершенствованию методов, материалов и машин для содержания и ремонта автомобильных дорог», которые в условиях интенсивного развития автомобильного транспорта и расширения сети автомобильных дорог приобретают особую актуальность. Отмеченные научные труды профессор А.П. Васильева далеко не исчерпывают всей совокупности результатов его научно-исследовательской и педагогической работы. Самостоятельно и с участием сотрудников созданной им научной школы готовились доклады на международные научные конференции, систематически велась работа по формированию методической и материально-технической базы кафедры «Строительство и эксплуатация дорог», совершенствовался учебный процесс в единой системе «Наука – педагогическая практика – воспитание». Поддерживались деловые связи не только с научными и производственными центрами России, но и со многими центрами других стран, включая Республику Беларусь.

Профессору А.П. Васильеву принадлежит авторство более 300 научных работ, среди которых монографии, учебники, учебные пособия, методические разработки, патенты и другая научная продукция. Среди его воспитанников не только инженеры высокой квалификации, но и многие лица с учеными степенями и званиями. Проблемы эксплуатации автомобильных дорог постоянно находятся в поле зрения профессора А.П. Васильева, и он этим проблемам уделяет постоянное внимание. Соответственно и ему оказывает большое внимание и уважение научная инженерно-техническая общественность многих стран.

Производственная, научная, педагогическая и общественная деятельность Александра Петровича Васильевича отмечена правительственными наградами, многими почетными знаками и грамотами.

Он является Лауреатом Государственной Президентской стипендии выдающимся ученым России, Почетным дорожником, Почетным работником транспорта и Почетным транспортным строителем России. Награжден орденом «Знак почета», медалью «Ветеран труда», медалью «850 лет Москвы».

### Литература

1. Луканин, В.Н. История создания и развития научных школ / В.Н. Луканин, В.М. Приходько, Л.Е. Грачева; под ред. В.Н. Луканина. – М.: Московский государственный автомобильно-дорожный ин-т, ООО Центр обработки информации, 2000. – 315 с.

2. Приходько, В.М. История создания и развития научных школ / В.М. Приходько, Л.Е. Грачева, В.П. Носов; Под ред. В.М. Приходько. – М.: Московский автомобильно-дорожный ин-т, ООО РТВ – Медина, 2005.– 444 с.

3. Надежко, А.А. Дорожная наука: Справочная энциклопедия дорожника: в 4 т./ А.П. Васильев, Д.В. Казарновский, В.П. Носов и др.; под ред. канд. техн. наук А.А. Надежко. – Москва, 2006. – Т. 4, – 393 с.

4. Васильев, А.П. Эксплуатация автомобильных дорог: в 2 т. /А.П. Васильев. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – Т.1. – 320 с.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ  
ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ СООРУЖЕНИЙ  
ВЫСОКОТОЧНЫМ НИВЕЛИРОВАНИЕМ  
И ЭЛЕКТРОННЫМ ТАХЕОМЕТРОМ**

**Михайлов В.И., канд. геод. наук, доцент,  
Скребков Г.В.**

*Белорусский национальный технический университет,  
ОАО «Гродно Азот»  
(г. Минск, г. Гродно, Республика Беларусь)*

**Введение**

В настоящее время наиболее распространенный метод геодезических измерений вертикальных перемещений сооружений – прецизионное геометрическое нивелирование с использованием инварных реек. Применение тригонометрического нивелирования коротким лучом с использованием точного электронного тахеометра может успешно конкурировать с геометрическим нивелированием.

**Содержание**

В качестве экспериментальных измерений на вытяжной трубе высотой 119 м котельной ОАО «Гродно Азот» выполнено два цикла наблюдений за вертикальными перемещениями девяти осадочных марок с применением электронного тахеометра Sokkia SET3130. Он характеризуется средней квадратической погрешностью измерения углов – 3"; точностью измерения расстояний на пленку и без призмы  $\pm(3+2 \text{ ppm} \times D)$  мм.

Измерения выполнялись одним приемом при двух положениях вертикального круга по визирной цели на отражающей пленке, закрепленной на масштабной линейке на высоте 0,0342 метра. Высота визирной цели в течение двух циклов не изменялась. Измерение высот станций прибора не выполнялись, так как применялся метод двухстороннего тригонометрического нивелирования коротким лучом. Поэтому в расчетах по оценке точности превышений погрешности за высоты станций и визирных целей можно исключить.

Наблюдения проводились в условиях вибрации, создаваемыми генераторными установками и работающими прессами в ближайших производственных корпусах.

Конструкция осадочных марок на данном объекте представлена двумя разными типами – марки 1–6 сделаны из металлического уголка, а 7–9 имеют более оптимальную цилиндрическую форму.

Вычисление превышений и уравнивание отметок марок выполнялось в программном комплексе «CREDO DAT». Для контроля и сравнения все превышения вычислены на калькуляторе с составлением схемы измерений с вычислением невязок. Для всех измерений электронным тахеометром произведен также контроль места зенита. В первом цикле его среднее значение оказалось равным  $MZ=89^{\circ}59'49,5''$ , во втором –  $MZ=89^{\circ}59'48,0''$ . Максимальное отклонение от среднего значения составляет  $2,5''$ .

Для дополнительного контроля был также проведен анализ двойных измерений между марками 7 и 8, полученных с разных станций. Первое измерение превышений выполнено с неравенством плеч в 11 м и оно оказалось равным 0,1003 м, а второе из середины с результатом 0,1001 м. Расхождение между полученными значениями составляет всего 0,0002 м. Максимальное расстояние до марок равнялось 30 м, а минимальное – 3 м. Более 90 % измерений выполнено при расстояниях менее 20 м до наблюдаемых марок.

Уравненные отметки осадочных марок по циклам измерений электронным тахеометром и их разности приведены в таблице 1.

Таблица 1

	Отметки марок, м	Отметки марок, м	Разность отметок между циклами
Номер пункта	Цикл №1 26.09.2009	Цикл №2 19.02.2010	
1	2	3	4
RP	163,6910	163,6910	-
M1	165,1015	165,1013	+0,0002
M2	165,1999	165,2005	-0,0006
M3	165,2049	165,2052	-0,0003
M4	165,2320	165,2320	0,0000
M5	165,1129	165,1129	0,0000
M6	165,1203	165,1204	-0,0001

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
M7	163,9551	163,9554	-0,0003
M8	164,0552	164,0555	-0,0003
M9	164,0508	164,0507	+0,0001

На вытяжной трубе котельной и на многих других объектах ОАО «Гродно Азот» производятся постоянные периодические геодезические наблюдения за вертикальными перемещениями осадочных марок как компенсаторным нивелиром Konі 007, так и цифровым нивелиром DNA03. Поэтому есть возможность сравнить и провести анализ результатов измерений, полученных из тригонометрического нивелирования электронным тахеометром Sokkia SET3130 и геометрического нивелирования II класса нивелиром Konі007. Результаты высокоточного нивелирования двумя методами приведены в таблице 2.

Таблица 2

	Отметки марок, м	Отметки марок, м	Разность отметок между циклами
Номер пункта	Цикл №1 26.09.2009 Тригонометрическое нивелирование	Цикл №2 19.02.2010 Геометрическое нивелирование	
RP	163,6910	163,6910	-
M1	165,1015	165,0998	+0,0017
M2	165,1999	165,1987	+0,0012
M3	165,2049	165,2043	+0,0006
M4	165,2320	165,2310	+0,0010
M5	165,1129	165,1114	+0,0015
M6	165,1203	165,1199	+0,0004
M7	163,9551	163,9553	-0,0002
M8	164,0552	164,0554	-0,0002
M9	164,0508	164,0509	-0,0001

Как следует из таблицы 2, измерения на марки (M7, M8, M9) с цилиндрической головкой имеют расхождения в отметках меньше, чем на марках из металлических уголков. Это объясняется тем, что

установка инварных реек и отражающей пленки на марки первого типа происходит более оптимально, чем на марки из уголков.

Основные источники погрешностей по данной методике двухстороннего тригонометрического нивелирования электронным тахеометром – это погрешности измерения вертикального угла  $m_v$  и расстояния  $m_d$ . Погрешности за высоту визирной цели исключались, так как она не изменялась в процессе измерений.

Среднюю квадратическую погрешность определения превышений электронным тахеометром Sokkia SET3130 можно вычислить по формуле

$$m_h^2 = m_d^2 \sin^2 v + \frac{m_v^2}{\rho^2} \cos^2 v,$$

где  $\rho = 206265''$ ,

$$m_d = 3 \text{ мм},$$

$$m_v = 3'',$$

$$v = 5^\circ,$$

$$D=20 \text{ м}.$$

Согласно приведенным значениям, получаем  $m_h = 0,39 \text{ мм}$ .

Применение более точного тахеометра, например Leica TCR1201, может повысить точность тригонометрического нивелирования. Принимая во внимание, что значения для данного тахеометра будут  $m_d = 2 \text{ мм}$ ,  $m_v = 1''$ , то получаем  $m_h = 0,20 \text{ мм}$ .

Таким образом, точность тригонометрического нивелирования такими тахеометрами с использованием предлагаемой методики измерений может удовлетворить требования при проведении геодезических измерений вертикальных перемещений ряда промышленных и гражданских сооружений (производственных зданий, башенных сооружений, мостов и т.п.).

### **Заключение**

В заключение следует отметить, что выполненные экспериментальные измерения и их анализ позволяют сделать некоторые выводы о преимуществах данной методики.

1. Возможность выполнять наблюдения одним исполнителем, если заложены осадочные марки с отверстием (1,5 – 2 мм) в ее

торце. Измерения можно выполнять точно на центр отверстия или вставлять в нее небольшую подвесную визирную цель в виде отражающей пленки.

2. Отмечается более высокая производительность, особенно при больших перепадах высот до осадочных марок и преимущество в наблюдениях за большим количеством марок с одной станции.

3. Отпадает необходимость использовать для измерений и производить поверки инварных реек.

4. Можно полностью автоматизировать процесс вычислений отметок осадочных марок, при наличии соответствующего программного обеспечения.

Можно также отметить следующие недостатки предлагаемого метода.

1. При измерениях необходимо более строгое соблюдение расстояний до наблюдаемых марок (не более 20 м).

2. Применение только высокоточных тахеометров (точность измерения углов 1–3").

3. Тригонометрическое нивелирование определения превышений электронным тахеометром характеризуется меньшей точностью, чем при прецизионном нивелировании.

УДК 625

## **КАФЕДРА «ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОГ» К 90-ЛЕТИЮ БНТУ**

**Мытько Л.Р., канд. техн. наук, доцент**

*Белорусский национальный технический университет  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Кафедра «Проектирование дорог» была создана в 1978 году в результате разделения кафедры «Дорожное строительство» на две кафедры: «Проектирование дорог» и «Строительство и эксплуатация дорог». Первым заведующим кафедрой был канд. техн. наук, доцент Куделко Михаил Яковлевич (1978 – 1983г.). В дальнейшем кафедрой руководили: канд. техн. наук, доцент Яцевич Иван Климентьевич (1983 – 2005 год), д-р техн. наук, профессор Веренько Влади-

мир Адольфович (2006 – 2007 год). В настоящее время кафедру возглавляет кандидат технических наук, доцент Мытько Леонид Романович.

Кафедра «Проектирование дорог» обеспечивает подготовку студентов факультета транспортных коммуникаций по специальностям: 1-70 03 01 «Автомобильные дороги», 1-70 03 02 «Мосты транспортные тоннели и метрополитены» и 1-27 01 01 «Экономика и организация производства», направление «Автодорожное хозяйство».

По специальности «Автомобильные дороги» кафедра «Проектирование дорог» обеспечивает подготовку по дисциплинам: «Проектирование автомобильных дорог», «Городские улицы и дороги», «Автоматизированное проектирование автомобильных дорог», «Надежность автомобильных дорог», «Реконструкция автомобильных дорог», «Информатика», «Специальные вопросы проектирования автомобильных дорог», «Экономика отрасли», «Технико-экономическое обоснование производственно-хозяйственной деятельности дорожных организаций», «Основы маркетинга и менеджмента», «Основы управления интеллектуальной собственностью».

Профессорско-преподавательский состав кафедры «Проектирование дорог» после ее создания был сформирован за счет сотрудников кафедры «Дорожное строительство», преподававших учебные дисциплины, связанные с проектированием автомобильных дорог. На кафедру «Проектирование дорог» перешли доцент Л.П. Лебедев, канд. техн. наук доцент М.Я. Куделко, канд. техн. наук Д.Д. Селюков, канд. техн. наук доцент И.К. Яцевич, ассистент В.В. Малиновский, ассистент В.А. Веренько. В последующие годы состав кафедры пополнялся за счет выпускников специальности «Автомобильные дороги», окончивших Белорусский политехнический институт. Длительное время на кафедре работали:

Лебедев Александр Петрович, доцент, работал на кафедре «Дорожное строительство» с 1959 года. В 1978 году перешел на кафедру «Проектирование дорог» и работал на кафедре до ухода на пенсию в 1985 году. Научная работа посвящена исследованию стока на малых водотоках. Разработанная А.П. Лебедевым методика определения расчетного расхода от таяния снега и от ливневых вод в виде утвержденной Министерством БССР инструкции используется и в настоящее время.

Богданович Юрий Александрович, доцент, работал с 1981 по 2008 год. Научные исследования направлены на уточнение норм проектирования с учетом безопасности движения и климата. Преподавал дисциплины «Проектирование автомобильных дорог» и «Информатика». Опубликовано свыше 40 работ.

Малиновский Владимир Васильевич, кандидат технических наук, доцент (1978 – 1992). Научные исследования проводил в области сдвигоустойчивости асфальтобетонных покрытий. Под его руководством выполнена и защищена кандидатская диссертация Танка Прасад (Непал) на тему «Использование отходов от сжигания рисовой шелухи в дорожных бетонах».

Куделко Михаил Яковлевич, кандидат технических наук, доцент, в должности заведующего кафедрой работал (1978 – 1983 годы). Основное научное направление – учет влияния температурных условий на деформационную устойчивость асфальтобетонных покрытий. Опубликовал 48 научных и методических работ.

Селюков Дмитрий Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент, работал на кафедре «Проектирование дорог» с 1978 по 2002 год. Основное научное направление – обоснование норм проектирования автомобильных дорог с учетом психологического восприятия и оценки дорожных условий водителем, судебная дорожная экспертиза.

Шумчик Виктор Касперович, кандидат технических наук, доцент. Работал на кафедре с 1996 года в должности ассистента, старшего преподавателя, доцента. Подготовил и защитил в 1998 году кандидатскую диссертацию (научный руководитель В.А. Веренько). С 2010 года работает директором ГП «БелдорНИИ».

Концевой Виктор Анатольевич, старший преподаватель с 1983 по 1992 годы, преподаватель-совместитель с 2005 года. Научное направление – повышение качества материалов дорожных одежд.

Мурашов Александр Петрович, работал в должности ассистента кафедры в 2005–2009 годах. Проводил исследования новых конструкционных материалов и оптимизации их составов.

Краткие сведения о преподавателях кафедры «Проектирование дорог» приведены ниже:

Мытько Леонид Романович в 1981 году после окончания учебы в очной аспирантуре направлен на работу на кафедру «Строительство и эксплуатация дорог» Белорусского политехнического института на должность ассистента. В 1982 году присуждена ученая

степень кандидата технических наук. В 1983 году присвоено научное звание доцента кафедры «Строительство и эксплуатация дорог». С февраля 2007 года избран на должность заведующего кафедрой «Проектирование дорог».

С 1982 по 1993 год был заместителем декана факультета дорожного строительства по работе с иностранными студентами. С сентября 2001 года по январь 2007 года – заместитель декана факультета транспортных коммуникаций БНТУ. С 1998 года – директор учебно-научно-производственного центра «Автомобильные дороги» Межотраслевого института повышения квалификации БНТУ.

С ноября 1986 по сентябрь 1987 года был на стажировке в Болгарии (г. София) в Высшем институте строительства и архитектуры (ВИАС) на кафедре «Дороги». В 2004 и 2005 годах проходил стажировку в Германии.

По результатам научных исследований опубликовано свыше 150 научно-технических и методических работ, из них 26 авторских свидетельств на изобретения, 15 учебных и учебно-методических пособий.

Подготовил одного кандидата технических наук.

Награжден Почетной грамотой Президиума Минского областного совета Всесоюзного общества изобретателей и рационализаторов, диплом третьей степени ВДНХ БССР, нагрудным знаком «Почетный дорожник» II степени в 2001 году и «Почетный дорожник» I степени в 2004 году.

Веренько Владимир Адольфович, доктор технических наук, профессор. Работает на кафедре с 1978 г. (ассистент, старший преподаватель, доцент, профессор). С 2006 по 2007 г. – зав. кафедрой. Основное научное направление – исследование надежности и долговечности дорожных одежд с асфальтобетонных дорожных покрытий. В 1998 году защитил докторскую диссертацию на тему «Бетоны на органо-минеральных вяжущих. Теория и практика применения». Автор более 200 научных статей и тезисов докладов, 5 монографий, 3 учебных пособий и 22 изобретений. Награжден знаком «Изобретатель СССР», серебряной медалью ВДНХ СССР. Почетный дорожник Республики Беларусь.

Яцевич Иван Климентьевич, кандидат технических наук, доцент, (с 1983 по 2006 заведующий кафедрой), научный руководитель студенческого проектного бюро «Автодор». Под его руководством

выполнены и защищены 4 кандидатские диссертации (М.Я. Куделко, В.А. Веренко, В.В. Малиновский, Абдэль Баги (Судан)). Большинство научных исследований по проблеме долговечности асфальтобетонных покрытий, а также по методике преподавания дисциплины «Проектирование автомобильных дорог». Опубликовано свыше 120 работ. Награжден нагрудным знаком «Почетный дорожник» I степени, Почетными грамотами Министерства строительства и эксплуатации дорог, Министерства высшего образования, БНТУ (БПИ, БГПА).

Адашкевич Владислав Игоревич, работает старшим преподавателем с 2000г, ведет разработку проектов по организации и безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах Республики Беларусь. Преподает дисциплину «Городские улицы и дороги».

Вишняков Николай Васильевич, старший преподаватель, работает на кафедре с 1983 года, курирует вопросы автоматизированного проектирования автомобильных дорог. На хозяйственной основе разрабатывает строительные проекты автомобильных дорог. Является заведующим СПБ «Автодор». Опубликовано свыше 10 работ.

Деркаченко Наталья Ивановна, старший преподаватель, работает на кафедре с 1981 года, выполняет большую научно-исследовательскую работу по внедрению в курсовое и дипломное проектирование современных технологий и методов проектирования дорожных сооружений. Преподает дисциплину «Основы проектирования дорог» для студентов специальности 1-27 01 01 «Экономика организация производства» (направление 1-27 01 01 -03 «Автодорожное хозяйство»). Исследует вопросы применения местных малопрочных материалов в конструктивных слоях дорожных одежд.

Кононова Елена Ивановна, работает в должности ассистента с 2003, руководит курсовым проектированием и читает лекции по дисциплине «Проектирование автомобильных дорог». Работает в области автоматизации проектирования автомобильных дорог.

Минова Ольга Евгеньевна, работает в должности старшего преподавателя с 2006 года. Преподает дисциплину «Проектирование мостовых переходов для студентов специальности 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены». Работает в области автоматизации проектирования автомобильных дорог.

Римашевская Татьяна Николаевна, работает в должности ассистента кафедры с 2007 года. Ведет занятия по экономическим и техническим дисциплинам. Исследует влияние дорожных условий на безопасность движения.

Солодка Мария Геннадьевна – старший преподаватель, ведет блок экономических дисциплин для студентов специальности 1-27 01 01 «Экономика организация производства» (направление 1-27 01 01 - 03 «Автотранспортное хозяйство»), работает на кафедре с 2007 года. Занимается вопросами экономического обоснования методики поэтапного капиталовложения в развитие и усовершенствование сети местных дорог Республики Беларусь.

Ерашов Владимир Сергеевич, ассистент кафедры с 2008 года. Проводит исследования в области повышения пропускной способности автомобильных дорог.

Мазаник Игорь Геннадьевич, ассистент кафедры с 2008 года. Занимается вопросами расчета потерь от дорожно-транспортных происшествий.

Шохалевич Татьяна Михайловна, ассистент кафедры с 2008 года. Работает в области новых технологий ремонта автомобильных дорог.

Учебно-вспомогательный персонал кафедры:

Лабанова Екатерина Леонидовна – заведующая лабораторией,

Гурбан Ольга Владимировна – инженер,

Куриленок Татьяна Анатольевна – инженер,

Конусевич Марина Ивановна – инженер.

Научная работа кафедры длительное время выполнялась в направлении повышения долговечности асфальтобетона в покрытии нежестких дорожных одежд, безопасности дорожного движения. По этому направлению были защищены кандидатские диссертации Малиновским Владимиром Васильевичем «Исследование деформационной устойчивости песчаного асфальтобетона» (руководитель И.К. Яцевич), Веренько Владимиром Адольфовичем «Исследование деформационной устойчивости дегтебетона» (руководитель И.К. Яцевич), Шумчиком Виктором Касперовичем (руководитель В.А. Веренько), Абдель Баги (Судан) «Исследование сдвигоустойчивости асфальтобетонных покрытий в условиях Судана» (руководители Я.Н. Ковалев, И.К. Яцевич), Танка Прасад (Непал) (руководитель В.В. Малиновский), Занковичем Виталием Валерьевичем (руководитель В.А. Веренько), а также докторская диссертация

Владимиром Адольфовичем Веренько (1998 год) «Бетоны на органических вяжущих. Теория и практика применения».

Сотрудниками кафедры опубликовано семь монографий, более 420 научных статей, получено более 60 авторских свидетельств и патентов, 3 справочника, 17 нормативных документов, более 90 учебных и методических работ. Кафедра является разработчиком ТКП 45-3.03-03 «Проектирование дорожных одежд улиц и дорог населенных пунктов», принимала участие в разработке ТКП 45-03.03.-19-2006 «Автомобильные дороги. Нормы проектирования».

В настоящее время научная работа сотрудников кафедры связана с решением проблем проектирования геометрических параметров автомобильных дорог с использованием ЭВМ, разработкой методов проектирования нежестких дорожных одежд, безопасности движения.

На основе научных и методических исследований разработаны и внедрены курсы лекций следующих дисциплин «Надежность автомобильных дорог», «Реконструкция автомобильных дорог», созданы и реализованы методики курсовых проектов «Основы проектирования», «Проектирование транспортных развязок» и «Проектирование нежестких дорожных одежд», «Проектирование водопропускных сооружений на малых водотоках».

Кафедра внедряет реальное курсовое и дипломное проектирование. С 1979 года при кафедре успешно работает студенческое проектное бюро «Автодор», имеющее статус лаборатории. В СПб «Автодор» силами студентов под руководством преподавателей по заказам производственных организаций разрабатываются строительные проекты. Участие студентов в работе СПб «Автодор» в значительной мере способствует их профессиональной подготовке, СПб «Автодор» награждено премией фонда при Президенте Республики Беларусь по поддержке талантливой молодежи.

Основные публикации кафедры:

- Прочность и долговечность асфальтобетона (1978 г.);
- Проектирование дорожных одежд (И.К. Яцевич, 1979 г.);
- Дорожные композиционные материалы (В.А. Веренько, 1993 г.);
- Психологическая безопасность автомобильных дорог (Д.Д. Селюков, 1997 г.);

- Оценка транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильных дорог (Мытько Л.Р., 2001 г.);
- Надежность дорожных одежд (В.А. Веренько, 2002 г.);
- Справочник мастера и прораба по строительству, ремонту и содержанию автомобильных дорог. (Мытько Л.Р., Яцевич И.К. и др., 2005 г.);
- Справочник инженера по безопасности движения (Мытько Л.Р., Кабак С.В., Рыбинский А.Г. 2005 г.);
- Деформация и разрушение дорожных покрытий. Причины и пути устранения (В.А. Веренько, 2008г.).

С 2007 года кафедра «Проектирование дорог» является выпускающей по специальности 1- 27 01 01 «Экономика и организация производства» (направление 1-27 01 01-03 «Автодорожное хозяйство»). По этому направлению ведется подготовка преподавательского состава, методических пособий, научных разработок.

УДК 624.132

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПЕРЕПОДГОТОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ ДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ**

**Мытько Л.Р., канд. техн. наук, доцент**

*Белорусский национальный технический университет  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Качество производства работ по строительству, ремонту и содержанию автомобильных дорог в большой степени зависит от компетентности, творческих возможностей, деловых качеств инженерно-технических работников. Поэтому работа по подбору, подготовке и переподготовке инженерно-технических работников является очень важной.

Для обеспечения дорожной отрасли высококвалифицированными инженерно-техническими кадрами необходимо решить ряд важнейших задач:

1. Определить оптимальный план приема в высшие и средние специальные учебные заведения по всем необходимым специальностям и специализациям.

2. Разработать систему подбора абитуриентов для поступления в учебные заведения и условия учебы и работы с таким расчетом, чтобы наибольшее число выпускников осталось работать в дорожной отрасли.

3. Разработать систему материальной заинтересованности в постоянном совершенствовании и углублении своих знаний, повышении квалификации инженерно-техническими работниками.

4. Сконцентрировать подготовку инженерно-технических кадров в наиболее престижных учебных заведениях, имеющих большой опыт подготовки специалистов для дорожной отрасли.

5. Изыскать финансовые и материальные ресурсы и оснастить учебные заведения, ведущие подготовку инженерно-технических работников для дорожной отрасли, современным оборудованием и вычислительной техникой.

6. Наладить четкую систему переподготовки и повышения квалификации инженерно-технических работников при высших учебных заведениях.

Важной проблемой, от которой в большой степени зависит качество подготовки инженерно-технических работников дорожной отрасли, является разработка системы подбора абитуриентов для поступления в учебные заведения. Опыт подготовки студентов показывает, что более подготовленные абитуриенты, у которых высокий средний балл в аттестате, быстрее овладевают знаниями и успешно завершают обучение. Абитуриентов, у которых средний балл в аттестатах невысокий, приходится отчислять из-за неуспеваемости на первых курсах.

Поэтому грамотная работа в школах по месту учебы работниками кадровой службы дорожных организаций и учебных заведений дает возможность привлечь к учебе более подготовленных абитуриентов, которые через несколько лет пополнят штат квалифицированных специалистов.

В нынешних условиях для привлечения наиболее способных абитуриентов для поступления в учебные заведения дорожного профиля необходимо материально заинтересовать учащихся. В частности одним из вариантов такой заинтересованности может быть

направление на учебу на платной основе. В этом случае после окончания учебного заведения специалист должен будет отработать на предприятии два года. Заинтересует многих абитуриентов и дополнительная стипендия, которую будет выплачивать предприятие, направляющее на учебу. Размер этой стипендии может зависеть от успеваемости.

Все вышеперечисленные мероприятия необходимы для того, чтобы как можно больше привлечь для поступления наиболее подготовленных абитуриентов и чтобы наибольшее число выпускников учебных заведений осталось работать в дорожной отрасли.

Для успешной работы на производстве инженерно-технические работники должны на протяжении всей трудовой деятельности последовательно углублять свои знания, овладевать новейшей техникой и оборудованием, интересоваться достижениями научных организаций в области дорожного строительства.

С целью стимулирования и материальной заинтересованности в совершенствовании знаний инженеров и техников на производстве можно ввести категории, как это применяется в некоторых научных организациях.

Для получения более высокой категории инженерно-техническим работникам требуется пройти повышение квалификации и аттестацию. Размер должностного оклада будет также зависеть от категории инженерно-технических работников.

Вести подготовку высококвалифицированных специалистов можно только в учебных заведениях, где имеется материальная база: аудитории, лаборатории, необходимые приборы и оборудование, созданы научные школы, подготовлена для проведения занятий методическая литература, имеется библиотечный фонд. Особое значение для качественной подготовки специалистов имеет наличие в учебном заведении профессоров, доцентов, преподавателей, имеющих большой опыт работы.

Для повышения качества подготовки специалистов для дорожной отрасли требуется сконцентрировать подготовку инженерно-технических работников в учебных заведениях, имеющих учебную и научную базы, преподавательский состав и опыт подготовки. Оснастить эти учебные заведения новейшими приборами, современными ПЭВМ, дать возможность преподавателям пройти стажировку в ведущих зарубежных учебных заведениях, предусмотреть

доплату молодым и ведущим преподавателям из средств дорожных организаций, включать в состав делегаций производителей, выезжающих за рубеж, ведущих преподавателей. Все это позволит привлечь к работе в учебных заведениях наиболее одаренную молодежь и предотвратить отток из учебных заведений опытных преподавателей.

Бесперывность обучения инженерно-технических работников осуществляется в результате постоянного самостоятельного изучения новейших достижений науки и передовых технологий, обучение непосредственно на предприятиях, а также в учебных заведениях повышения квалификации.

Для повышения качества переподготовки и повышения квалификации специалистов дорожной отрасли необходимо специализировать имеющиеся учебные заведения на отдельные группы слушателей. Переподготовку и повышение квалификации специалистов с высшим образованием ввести в высших учебных заведениях, а со средним техническим образованием и рабочих подготавливать на производстве и в учебном центре.

В Белорусском национальном техническом университете на факультете транспортных коммуникаций более 50 лет ведется подготовка специалистов дорожной отрасли. За эти годы подготовлено много высококвалифицированных специалистов, которые занимают ведущие посты в дорожных организациях.

В целях выполнения комплексной программы по непрерывности послевузовского образования на факультете транспортных коммуникаций совместно с Межотраслевым институтом повышения квалификации и переподготовки кадров по менеджменту и развитию персонала при БНТУ организовано повышение квалификации и переподготовки руководителей и специалистов дорожной отрасли.

Учебный процесс осуществляют ведущие ученые и преподаватели Белорусского национального технического университета, других высших учебных заведений республики, сотрудники отраслевых научно-исследовательских подразделений, а также ведущие специалисты отраслевых Министерств Республики Беларусь.

Слушатели в период учебы пользуются лабораториями и кабинетами, оснащенными современным оборудованием, читальными залами, научно-технической библиотекой, вычислительным центром и другими услугами. Специально для слушателей оборудованы

кабинеты, подготовлены видеофильмы, к их услугам предлагаются компьютерные классы, оснащенные современными ПЭВМ и программным обеспечением. Внедряются методы программного обучения, организуются деловые игры, разбираются конкретные ситуации.

В процессе обучения слушатели изучают новую технику и технологию, проблемы управления дорожной отраслью, вопросы повышения безопасности движения, проблемы рыночной экономики, юридические и другие вопросы.

Осуществляет переподготовка инженерных кадров по новым и перспективным направлениям, в которых нуждается отрасль.

За период с 1997 по 2010 годы прошли повышение квалификации более 1600 инженерно-технических работников дорожной отрасли: начальники и главные инженеры ДСУ и ДРСУ; мастера, прорабы ДСУ и ДРСУ; инженеры дорожных лабораторий; инженеры ППО, ПТО; инженеры технического надзора за ведением работ в дорожном строительстве.

В организациях дорожной отрасли много работает служащих, имеющих высшее образование не по специальности. Для повышения уровня подготовки инженерно-технических работников, не имеющих подготовки по профилю работы в дорожных и мостостроительных организациях целесообразно организовать переподготовку кадров по специальности «Автомобильные дороги» по заочной форме обучения продолжительностью 2 года с выдачей документа установленного образца о получении второй специальности – «инженер-строитель».

## ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДОРОГ

**Нестеренок М. С., канд. техн. наук, профессор**  
*Белорусский национальный технический университет*  
(г. Минск, Республика Беларусь)

**Введение.** Изыскания, проектирование, строительство, ремонт и реконструкция автомобильных дорог, инвентаризация дорожной сети в современных условиях производятся с применением комплексных инновационных технологий автоматизированной обработки исходной топографической информации. По геодезическим данным производится картографирование дорог, которое должно выполняться с точностью, предъявляемой к топографическим картам и планам крупных масштабов.

**Сущность инновационных технологий геодезических изысканий и использования цифровых моделей местности в автоматизированном проектировании автомобильных дорог.** Цифровые данные результатов полевых геодезических работ на трассах автомобильных дорог и данные, полученные по имеющимся картографическим материалам, используются в проектировании дорог и дорожных сооружений. В настоящее время проектирование выполняется в геоинформационных системах CREDO ТОПОПЛАН, CREDO ЛИНЕЙНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ и ОБЪЕМЫ, CREDO ДОРОГИ. Указанные системы проектирования созданы компанией «Кредо-Диалог», имеющей эффективно работающий филиал в г. Минске. Программные продукты компании обеспечивают вариантность проектирования автомобильных дорог с экономической и экологической оценкой вариантов проектных решений. Геоинформационная система наполняется набором цифровых данных в результате комплексных полевых геодезических, инженерно-геологических, гидрологических и других изысканий.

Функционал CREDO ДОРОГИ (CREDO III) [1] обеспечивает специалисту возможность проектировать автомобильные дороги всех технических категорий. В программном продукте заложены: создание цифровой модели местности (ЦММ) на основе

топографических материалов изысканий, камеральное трассирование, составление продольного профиля трассы и профилей поперечников, проектирование продольного и поперечных профилей дороги с расчетом объемов работ (земляных, планировочных, укрепительных); выпуск чертежей проекта, формирование цифровой модели проекта (ЦМП) для использования ее при детализации проекта.

**Современная основная геодезическая опора трассы автомобильной дороги.** Традиционная привязка трасс автомобильных дорог к пунктам государственной или местной геодезической сети посредством привязочных линейно-угловых ходов требует значительных затрат времени и труда и становится излишней в случае применения высокоточных спутниковых приборов местоопределения. Такие приборы используются как самостоятельные высокоточные средства GPS-технологий по определению плановых и высотных координат точек трассы, а также притрассовых опорных геодезических пунктов при изысканиях дорог и при выполнении съемки (инвентаризации) существующей дорожной сети.

Показатели точности и технологичности при определении координат точек трассы и расстояний  $D$  спутниковыми приборами характеризуются на примере приемника LEICA GPS 1200, работающего по методу базовой станции:

- 1) режим измерений «статика»  $\Delta D = 5 \text{ мм} + 10^{-6}D$ ;
- 2) в режиме измерений «кинематика»  $\Delta D = 10 \text{ мм} + 10^{-6}D$ ;
- 3) при камеральной обработке (постобработке) на компьютере данных режима «статика»  $\Delta D = 3 \text{ мм} + 10^{-6}D$ ;
- 4) погрешность превышения  $\Delta H$  в два раза больше погрешности расстояния  $\Delta D$ , т. е. близки к 10 мм на 1 км.

Следовательно, спутниковые геодезические методы контроля положения автомобильной дороги в плане и по высоте в данной координатной среде по точности и мобильности отвечают передовым технологиям и получают широкое применение как инновационная основа современной практики геодезического обеспечения дорожного строительства.

Инвентаризация дорожной сети с применением GPS-приборов может выполняться по схеме разреженной планово-высотной привязке характерных точек трассы, расположенных на прямых и криволинейных участках. Относительно таких точек инструментально определяются другие геометрические характеристики дороги.

По координатам GPS-точек трасса картографируется в требуемой проекции.

**Электронные дальномерно-угломерные приборы.** В комплект высокотехнологичного электронного тахеометра Leica TCRP1200+ можно включать GPS-приемник. Встроенное ПО данного электронного тахеометра включает и следующие программы, актуальные в дорожном строительстве:

- дорожная ось (Road Runner, Tunnel) – разбивка и контроль прямолинейных и криволинейных участков трассы дороги, тоннеля;
- опорная линия (Referense line) – вынос точек в натуру относительно базовой линии;
- разбивка DTM (Digital terrain Model Stakeout) – разбивка на основе ЦММ с указанием различия между фактическими и проектными координатами точек;
- съемка поперечного сечения (Cross section surveu) – съемка профилей дорог, трасс и др.;
- линейно-угловой ход (Traverse) – вычисление координат точек линейно-углового хода.

**Линейно-угловые геодезические ходы** (Traverse) прокладывают по оси трассы автомобильной дороги на стадии изысканий или в процессе выноса проекта в натуру. Прокладка выполняется при помощи электронного тахеометра, но допускается применение теодолита типа Т30 в сочетании со светодальномером [2]. Предельная длина линейно-углового хода определяется величиной  $\Delta\rho$  – допустимой погрешностью положения на плане масштаба 1 : М точки хода, наиболее удаленной от опорных пунктов (в середине хода, т.е. в слабом месте хода). Для открытой местности и застроенной территории допустимая погрешность  $\Delta\rho = 0,1$  мм, а для закрытой местности (заросшей кустарниковой и древесной растительностью)  $\Delta\rho = 0,15$  мм [2]. С вероятностью 0,95 принимается, что допустимая погрешность координат конечной точки хода  $m_{xy} = 2\Delta\rho$ . Согласно [3] значение  $m_{xy}$  рассчитывается по формуле

$$m_{xy}^2 = \Sigma m_s^2 + (m_\beta L/\rho)^2(n + 2)/12 , \quad (1)$$

где  $m_s$  – погрешность измерения стороны хода светодальномером;

$m_\beta$  – погрешность измерения углов (с);

$L$  – длина хода;

$\rho = 206265$  – число секунд в радиане;

$n$  – число сторон хода.

Из формулы (1) получается формула (2) для расчета допустимой длины линейно-углового хода, опирающегося на пункты с известными координатами,

$$L^2_{\text{доп}} = (m^2_{xy} - m^2_s n) / [(m_\beta / \rho)^2 (n + 3) / 12]. \quad (2)$$

В таблице приведены расчетные значения  $L_{\text{доп}}$  для неблагоприятных условий трассирования при  $m_\beta = \pm 30''$ ;  $m_s = \pm 0,05$  м.

Таблица 1

Расчетные допустимые длины линейно-угловых ходов дорожного трассирования в неблагоприятных условиях местности

Масштаб съемки; доп. невязка, $m_{xy}$ , М	Число сторон теодолитного хода, $n$								
	3	4	5	7	9	12	15	20	30
	Допустимая длина хода, $L_{\text{доп}}$ , км по критерию $f_{\text{доп}} = m_{xy}$ ; Средняя длина стороны $s_{\text{ср}} = L / n$ , м								
1 : 5000 $m_{xy} = 1,40$	<u>13,6</u> 4530	<u>12,6</u> 3150	<u>11,8</u> 2350	<u>10,5</u> 1500	<u>9,6</u> 1060	<u>8,5</u> 710	<u>7,8</u> 520	<u>6,9</u> 345	<u>5,7</u> 190
1 : 2000 $m_{xy} = 0,70$	<u>6,8</u> 2250	<u>6,2</u> 1560	<u>5,8</u> 1160	<u>5,2</u> 740	<u>4,7</u> 520	<u>4,2</u> 350	<u>3,8</u> 250	<u>3,2</u> 160	<u>2,7</u> 90
1 : 1000 $m_{xy} = 0,42$	<u>4,3</u> 1430	<u>3,9</u> 990	<u>3,7</u> 730	<u>3,2</u> 460	<u>2,9</u> 320	<u>2,6</u> 210	<u>2,3</u> 150	<u>1,9</u> 95	<u>1,5</u> 50
1 : 500 $m_{xy} = 0,21$	<u>1,7</u> 580	<u>1,6</u> 390	<u>1,4</u> 280	<u>1,1</u> 160	<u>0,9</u> 100	<u>0,6</u> 50	<u>0,3</u> 20	–	–

**Примечание.** На практике длины сторон хода определяются ситуацией; промежуточные точки сторон закрепляются в процессе пикетажных работ.

**Картографические проекции автомобильных дорог.** Дорожная сеть в масштабе республики проектируется и картографируется в государственной зональной системе прямоугольных координат в проекции Гаусса-Крюгера, а на территориях ряда городов – в местной системе прямоугольных координат. Высотные координаты всех дорог отвечают единой Балтийской системе высот. Спутниковые геодезические приемники обеспечивают высокоточную планово-высотную привязку осевых и внеосевых точек трассы, мобильный

контроль надежности положения притрассовых планово-высотных пунктов, а также достоверное определение координат опорных пунктов геодезической основы трассы, создаваемой линейно-угловыми ходами. Программное обеспечение GPS-приборов, действующих в геоцентрических координатах WGS-84 и ПЗ-90, включает набор программ по трансформированию координат из одной системы в другую, в частности в зональные координаты проекции Гаусса-Крюгера. При необходимости зональные координаты точек трассы преобразуются в частную систему координат населенного пункта, обслуживаемого трассой.

**Лазерное сканирование дорожных покрытий** представляет собой эффективный инновационный метод создания детального высокоточного цифрового и иллюстративного отображения топологии поверхности дорожного покрытия, на основе которой можно выполнить высокоточные и многовариантные разработки проектов его реконструкции [4]. Для создания соответствующих цифровых моделей наземный лазерный сканер, например типа «Scan Station» фирмы Leica (приборы имеются в УП «Геосервис» и ЗАО «Экомир» – г. Минск) должен располагаться при съемках на разделительной полосе или на обочине дороги, с которых обеспечивается адекватный охват сканируемой поверхности. Программное обеспечение результатов сканирования рассчитано на пост-обработку полевых данных. Точность моделирования рельефа поверхностей близка к  $\pm 3$  мм и достигается на расстояниях сканирования от 1 до 80 м. Предельное расстояние сканирования близко к 350 – 370 м, при этом точность определения координат точки, четко отражающей луч, достигает  $\pm(5 - 7)$  мм, а точность моделирования рельефа на максимальных удалениях составляет  $\pm(15 - 30)$  мм.

Для составления проекта реконструкции дороги погрешность пространственных координат точек поверхности допускается до  $\pm 5$  мм [4]. Поэтому в данной задаче современные наземные лазерные сканеры обеспечивают требуемую точность съемки дорог при дальностях до 100 м. Соответственно приблизительно через 100 м должны размещаться маркирующие точки для планово-высотной «сшивки» координатной среды смежных станций сканирования.

Результаты сканирования поверхности дороги используются в системах проектирования CREDO, при этом поперечные профили покрытия описываются оптимальным количеством точек с отметками, а шаг между поперечниками может изменяться согласно заданию.

**Заключение.** Инновационные методы геодезического обеспечения дорожного строительства, основанные на использовании электронных автоматизированных средств измерений и обработки исходной информации по отображению придорожной местности и трасс дорог, комплексная обработка данных полевых геодезических работ и проектирование на их основе автомобильных дорог в геоинформационных системах CREDO все более широко выполняются в республике Беларусь на уровне передовых мировых технологий.

### Литература

1. CREDO III – расширение возможностей. – Автоматизированные технологии изысканий и проектирования, № 3 (30), 2008. с. 23–30.
2. Инженерные изыскания для строительства: СНБ 1.02.01-96. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 1996. – 110 с.
3. Большаков, В.Д. Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам / В.Д. Большаков, [и др.] – М.: Недра, 1980. – 781 с.
4. Волошин, П.З. Комплексное использование технологий лазерного сканирования дорожных покрытий для создания цифровых моделей в CREDO / П.З. Волошин, Л.А. Токарев, А.И. Горб. – М.: Автоматизированные технологии изысканий и проектирования, 2009.

## **БЕЗБИТУМНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ДЛЯ ЯМОЧНОГО РЕМОНТА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ**

**Песецкий С.С., д-р техн. наук, профессор,**

**Ковалев Я.Н., д-р техн. наук, профессор,**

**Яглов В.Н., д-р хим. наук, профессор,**

**Медведев Д.И., канд. техн. наук, доцент**

*Белорусский национальный технический университет,  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Дорожно-эксплуатационная служба ежегодно выполняет значительный объем работ по текущему ремонту покрытий автомобильных дорог, основным видом которого является ликвидация ямочности. Хотя ямочность на дорогах возникает практически круглогодично (особенно при неблагоприятных погодных условиях), ее устраняют в основном в теплое время года. Несвоевременность выполнения текущего ремонта вызывает в дальнейшем существенное увеличение объема ремонтных работ и снижает безопасность движения. В связи с этим возникает задача устранения ямочности в короткий промежуток времени. Повысить качества ремонта асфальтобетонных покрытий позволяет использование безбитумного вяжущего, полученного путем пиролиза полиуретановых отходов.

Полиуретаны относятся к одному из новых видов полимерных вяжущих, имеющих большое промышленное значение. Они представляют собой высокомолекулярные соединения, содержащие значительное количество уретановых групп, независимо от строения остальной части молекул. Обычно эти полимеры получают при взаимодействии полиизоцианатов с веществами, имеющими несколько гидроксильных групп, например с гликолями.

Уретановые эластомеры обычно получают из диолов с длинной цепью (например, из линейных простых или сложных полиэфиров с молекулярным весом от 1000 до 2000), диизоцианатов и низкомолекулярных «удлинителей цепи» (гликоль или диамин).

Уретановые эластомеры можно считать блоксополимерами, в которых величину и строение любого блока можно изменять в широком диапазоне, поскольку обычный эластомер состоит

из элементарного звена сложного или простого эфира, остатка ароматического диизоцианата, уретановой группы, остатка низкомолекулярного гликоля («удлинителя») и аллофанатного узла разветвления. Таким образом, этот полимер содержит умеренно гибкие, длинные, линейные сегменты полиэфира и сравнительно жесткие сегменты (в основном это ароматические и уретановые группы). Разветвление может происходить только по этим жестким сегментам если сложный или простой полиэфир был линейным). Количество узлов разветвления и среднюю длину такого жесткого ароматического уретанового сегмента можно варьировать, изменяя, таким образом, в широких пределах свойства получающегося материала.

Полиуретаны можно использовать в качестве адгезива для заполнения пор и выбоин дорожных покрытий, обеспечивая оптимальное сцепление с бетонными, металлическими и деревянными поверхностями. Они стойки к воздействию кислот, щелочей, растворителей, масел, моющих средств, бензина. Жизнеспособность при 20 °С составляет от 40 до 130 мин. Время отверждения может быть значительно сокращено за счет температуры или добавления ускорителей. Окончательная прочность достигается через 2–3 дня.

Объектом исследования являлись быстротвердеющие композиты, полученные на основе полиуретанового аддукта, отвердителя и наполнителя, в качестве которого использовали мытый песок Заславского месторождения.

Методика приготовления композиций заключалась в следующем.

Рассчитанные количества аддукта и отвердителя в массовом соотношении от 6:1 до 4:1 тщательно смешивали с наполнителем (песком) до получения однородной массы. Приготовленную таким образом смесь укладывали в формы размером 40x40x160 и путем штабования формовали образцы-балочки. После выдерживания в формах в течение различного времени, образцы извлекали их форм и исследовали их физико-механические свойства.

Исследование механической прочности на сжатие ( $R_{сж}$ ) проводили на стотонном прессе, относя нагрузку на единицу поверхности образца. За предел прочности принимали среднеарифметическое шести величин  $R_{сж}$  испытанных образцов.

Испытания на изгиб ( $R_{изг}$ ) осуществляли на разрывной машине МИИ-100. Изучение морозостойкости проводили по стандартной методике.

При исследовании открытой пористости и водопоглощения образцов использовали метод насыщения водой.

Проведенный эксперимент показал, что свойства композитов зависят от состава вяжущего. Поэтому в работе поставлена серия опытов по определению оптимального соотношения аддукта и отвердителя. Экспериментальные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Зависимость прочностных свойств композитов от количества отвердителя в составе вяжущего

№ пп	Состав композитов			Соотношение		Механические свойства	
	Песок, г	аддукт, г	отверд., г	Вяжущее/песок, % масс.	Отверд./аддукт% масс.	$R_{сж}$ , МПа	$R_{изг}$ , МПа
1	1500	70	12	5,4	17,1	5,4	1,8
2	1420	94	20	7,3	21,2	12,7	4,6
3	1500	60	16	5,0	26,7	13,1	6,0
4	1500	65	10	5,0	15,3	2,9	1,2

Из приведенных в табл. 1 данных следует, что увеличение количества отвердителя в составе вяжущего с 15,3 % до 26,7 % приводит к возрастанию прочностных свойств композитов с 2,9 до 13,1 МПа ( $R_{сж}$ ) и с 1,2 до 6,0 МПа ( $R_{изг}$ ). Однако, руководствуясь экономическими соображениями (стоимость отвердителя в 1,5 раза выше стоимости полиуретанового аддукта), соотношение в вяжущем аддукта и отвердителя при получении композиций стабилизировали на уровне 6:1 (16 – 17 % отвердителя).

С целью определения оптимального количества вяжущего в составе композита были приготовлены образцы-балочки, механические свойства которых после суточного твердения, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Зависимость механической прочности образцов от состава.  
(Соотношение полиуретановая аддукт/отвердитель = 6:1)

№ пп	Состав композитов			Соотношение вяжущее/пе- сок, % масс.	Механические свойства	
	песок, г	аддукт, г	отверд., г		R <sub>сж</sub> , МПа	R <sub>изг</sub> , МПа
1	1500	62	10	5	3,9	1,25
2	1420	96	16	7	8,8	3,3
3	1500	120	20	9	15,8	5,9
4	1500	144	24	11	15,5	6,31

Как следует из приведенных в таблице 2 данных, увеличение соотношения вяжущее/песок с 5 до 9 % сопровождается возрастанием прочностных характеристик полученных композитов: R<sub>сж</sub> возрастает с 3,9 до 15,8 МПа, а R<sub>изг</sub> с 1,25 до 5,9 МПа. Дальнейшее увеличение соотношения вяжущее/песок сопровождается небольшим снижением R<sub>сж</sub> до 15,5 МПа. Следует, однако, отметить, что предел прочности на изгиб с увеличением количества вяжущего в смеси непрерывно возрастает. Это свидетельствует о том, что возрастание количества полиуретана в смеси приводит к улучшению эластичных свойств композитов, которые приобретают гибкость и, как следствие имеют лучшую сопротивляемость на изгиб. Следовательно, содержание в составе композитов вяжущего должно быть не менее 7 %. С целью оптимизации количества вяжущего поставлена серия опытов, результаты которой представлены в таблице 3. Как следует из приведенных результатов, оптимальным следует считать соотношение вяжущее/песок от 8 до 10 %. При увеличении этого соотношения прочностные свойства композитов несколько улучшаются. Однако следует отметить, что при этом происходит увеличение расхода относительно дорогостоящего вяжущего состоящего из полиуретановой смолы и отвердителя.

Таблица 3

## Свойства композитов

№ пп	Состав композитов			Соотношение вязущее/песок , % масс.	Механические свойства	
	песок, г	аддукт, г	отверд., г		R <sub>сж</sub> , МПа	R <sub>изг</sub> , МПа
1	1500	96	16	7,0	8,8	3,3
2	1500	108	18	8,0	14,1	4,9
3	1500	120	20	9,0	15,8	5,85
4	1500	132	22	10,0	16,0	6,1
5	1500	144	24	11,0	15,5	6,31

Поэтому в каждом конкретном случае при выборе состава композита необходимо руководствоваться вышеуказанными соображениями.

С целью изучения кинетики твердения полимерных композитов и определения сроков их возможного использования была поставлена серия опытов, результаты которой представлены в таблице 4.

Таблица 4

Зависимость прочностных характеристик композитов от времени твердения. Соотношение вязущее/песок = 8 %.

Состав композитов: песок – 1500 г, аддукт – 108 г, отвердитель – 18 г

№ пп	Время твердения, час	Механические свойства, МПа	
		R <sub>сж</sub>	R <sub>изг</sub>
1	3	5,0	1,3
2	6	8,3	2,9
3	15	10,1	3,6
4	18	11,9	4,2
5	24	13,0	4,5
6	72	14,6	5,1

Как следует из представленных данных, через 6 часов композиты набирают более 55 % своей конечной прочности, через 15 часов – 65–70 %, а через сутки – 85–90 %. Окончательную прочность образцы набирают через 3 суток. Таким образом, при использовании полимерных композитов в качестве, например, полимербетонов

для ямочного ремонта автомобильных дорог, последние могут быть введены в эксплуатацию через 3–4 часа.

При исследовании других свойств композитов было установлено, что увеличение количества вяжущего сопровождается снижением водопоглощения с 2,1 до 0,9 %. Полученные композиты фактически не меняют своего объема после отверждения и обеспечивают хорошее сцепление с различными поверхностями (бетон, асфальтобетон).

Указанные составы хорошо сопротивляются воздействию как высоких, так и низких температур.

Специально проведенными исследованиями морозостойкости установлено, что составы выдерживают без изменения свойств более 100 циклов замораживания и оттаивания.

УДК 625.7

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОЦЕНКИ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВ ЛЕГКИМ ПРИБОРОМ С ПАДАЮЩИМ ГРУЗОМ**

**Павлюк Д.А., д-р техн. наук, профессор,  
Лебедев А.С., Булах Е.А., Глуховец В.М.,  
Шурьяков М.В., Сокольчук С.И.**

*Национальный транспортный университет  
(г. Киев, Украина)*

### **Введение**

Ровность покрытия и прочность дорожной одежды во многом зависят от степени уплотнения грунта земляного полотна и слоев оснований. Недостаточное уплотнение приводит к образованию колеи, просадок, смещений, трещин. Существующие методы контроля уплотнения ориентированы, в основном на определении фактических показателей уплотнения и сравнения их с нормативными значениями. Контроль производится после окончания технологических операций по уплотнению слоёв дорожных одежд.

### **Недостатки использования коэффициента уплотнения**

В работе [1] отмечалось, что определение коэффициента уплотнения для контроля уплотнения грунтов связано с выполнением трудоемких и продолжительных повторяющихся операций (высушивание проб грунта, увлажнение, перемешивание, уплотнение, взвешивание и обработка результатов). Сам коэффициент уплотнения является не прямым, а косвенным показателем, характеризующим пригодность земляного полотна для возведения слоев дорожной одежды. Его значение лишь показывает, насколько плотность каждого конкретного грунта близка к его максимально возможной плотности, но не позволяет количественно оценить несущую способность земляного полотна.

Для этих целей больше подходят такие показатели, как модуль упругости или модуль деформации.

### **Использование модуля упругости и деформации**

Методы определения модуля упругости грунтов и оснований при статических испытаниях хотя и описаны в нормативных документах Украины [2], но на практике применяются крайне редко, так как требуют больших затрат времени, отличаются сложностью монтажа необходимых приспособлений и связаны с использованием тяжелой дорожной техники для создания нагрузки.

В последнее время за рубежом для контроля несущей способности грунтов и оснований широкое распространение получили портативные приборы с падающим грузом [3], реализующие динамический метод испытаний [4]. Наиболее совершенным из них, на наш взгляд, является прибор «ZFG-2000» производства фирмы «Zorn Stendal» [5].

### **Сопоставление динамического модуля деформации со значениями коэффициента уплотнения**

В работе [1] описаны исследования НТУ по сопоставлению результатов определения динамического модуля деформации при помощи указанного прибора со значениями коэффициента уплотнения песка, укладываемого в шурф с различными степенями уплотнения и увлажнения. Установлено, что при влажности, меньше оптимальной, при повышении коэффициента уплотнения происходит увеличение модуля деформации. При влажности грунта, больше оптимальной, наблюдается снижение модуля деформации. Установлено, что при одинаковом значении коэффициента уплотнения 0,99

динамический модуль деформации составляет 32,0; 36,3 и 17,6 МН/м<sup>2</sup> для влажности 2,86, 9,43 и 11,5 %, соответственно. Выявлена очевидная эффективность использования прибора ZFG при контроле уплотнения грунтов за счет значительного (в десятки раз) сокращения времени испытаний и появления возможности оперативного управления процессом уплотнения при строительстве.

### Расширение области применения приборов с лёгким падающим грузом

Указанная в нормативных документах методика оценки уплотнения грунта прибором ZFG не исчерпывает возможные сферы его применения. Применение прибора имеет особенность: при измерениях грунт подвергается динамическому нагружению и уплотняется. Исследования зависимости динамической осадки штампа (рис. 1) или динамического модуля деформации (рис. 2) от количества ударов падающего груза, полученные на различных строительных объектах, показали, что каждая из них имеет горизонтальную асимптоту. В случае, представленном на рис. 2, модуль деформации стремится к своему максимальному значению – 60 МПа.



Рис. 1. Зависимость осадки штампа от количества ударов падающего груза

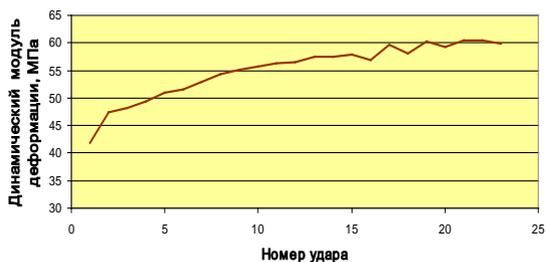


Рис. 2. Зависимость динамического модуля деформации от количества ударов

Это позволяет предложить способ оценки целесообразности уплотнения грунтов или слоев основания дорожной одежды уплотняющей техникой. Заблаговременно, перед началом работ по уплотнению, производятся измерения прибором с падающим грузом и строится зависимость динамического модуля деформации от количества ударов. По графику находится асимптотическое – максимальное значение модуля деформации.

Если оно превышает нормативное значение, можно запускать катки, если нет – работа уплотняющей техники не целесообразна и необходимо сушить грунт, либо укрепить его добавками, заменить песком, отсевом или другими материалами.

### **Заключение**

Применение указанного способа с применением прибора с падающим грузом могло бы упредить напрасную работу двух виброкатков на протяжении недели, которые так и не добились необходимой степени уплотнения основания (рис. 3).



Рис. 3. Контроль степени уплотнения основания



Рис. 4. Снятие слоев основания из-за невозможности в уплотнения

Верхние слои пришлось снимать (рис. 4), коренной грунт заменить песком.

### **Литература**

1. Ускоренная оценка уплотнения грунтов легким прибором с падающим грузом / Д.А. Павлюк [и др.] // Автошляховик України. – 2009. – № 5. – С. 27–31.
2. Відомчі будівельні норми України. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу: ВБН В.2.3-218-186-2004. – Київ :

Укравтодор, 2004. – 67 с.

3. Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau TP BF-StB Teil B 8.3. Dynamischer Plattendruckversuch mit Leichtem Fallgewichtsgerät – Köln: Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen. Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, 2003 – 75 s.

4. Дороги автомобильные международные. Определение несущей способности дорожных конструкций и их конструктивных слоев установкой динамического нагружения (УДН): СТ СЭВ 5497-86. – М.: Госстрой СССР, 1987 – 7 с.

5. Leichtes Fallgewichtsgerät ZFG-2000. Bedienungsanleitung. Gerhard Zorn Mechanische Werkstätten. Stendal. – 2006 – 21 s.

УДК 625.7

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЖИВАЕМОСТИ КАМЕННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ТОНКИХ СЛОЕВ ИЗНОСА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ**

**Павлюк Д.А., д-р техн. наук, профессор,  
Глуховеря В.М.**

*Национальный транспортный университет  
(г. Киев, Украина)*

### **Введение**

Необходимость в исследованиях обусловлена существующей проблемой разрушения тонкого слоя износа (выкрашивание, шелушение, поверхностные выбоины) и быстрым снижением транспортно-эксплуатационных показателей дорожных покрытий. Основной причиной этого явления считаем низкое качество материалов и нарушение технологии устройства. Во избежание этих явлений необходимо воссоздать и исследовать процесс отрыва каменного материала в лабораторных условиях.

### Устройство для оценки приживаемости каменного материала

В Национальном транспортном университете разработано устройство «ЦП-НТУ» («Центробежное устройство НТУ»), позволяющее оценить приживаемость каменного материала к дорожному покрытию при устройстве тонких слоев износа. Устройство представляет собой горизонтальную центрифугу, ротор которой вращается с заданной частотой (рис.1). Внутри тела вращения в специальные контейнеры помещают металлические пластины в количестве 4 шт., на которые при помощи вяжущего приклеены зерна каменного материала (рис. 2).

В процессе работы устройства возникает усилие отрыва, действующее на соединение вяжущего и каменного материала, которое зависит от частоты вращения ротора и массы внесенного материала.

Методика работы с устройством «ЦП-НТУ» [1] предусматривает отбор материалов и изготовление опытных образцов в соответствии с технологией устройства тонкого слоя, выдерживание образцов для формирования структурных связей, испытание. В результате получают характеристику разрушения - показатель приживаемости:

$$\dot{I}_n = \frac{n_2}{n_1} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где  $n_1$  – количество зерен до испытаний, шт. (рис.2,а);

$n_2$  – количество зерен после испытаний, шт. (рис.2,б).



Рис. 1. Общий вид устройства «ЦП-НТУ»



Рис. 2. Опытные образцы

### Исследование влияние вида добавки в битум

Материалы: битум БНД 90/130 Мозырского НПЗ; гранитный щебень фракции 10...20 (с. Рокитное, Украина); добавки в битум № 1-Wetfix BE, №2-Stardope 130P, № 3-Licomont BS 100. Добавки в исходный битум вносились в соответствии с действующими рекомендациями (таблица 1).

Щебень для проведения экспериментов предварительно рассеивался по фракциям на стандартных ситах. Из остатков на сите 15 мм отобран щебень кубовидной формы с разницей в массе не более 5 %.

Таблица 1

Содержание добавок в сериях испытаний

Серия	Содержание добавки, % от массы битума		
	Wetfix BE	Stardope 130P	Licomont BS 100
1	0	0	0
2	0,5	0	0
3	0	0,5	0
4	0	0	2,5

Битум распределялся на экспериментальные пластины в количестве 1 л/м<sup>2</sup>, после чего пластины прогревались при температуре 140 °С в течение 30 мин. Каменный материал сразу укладывался

в прогретое вяжущее в количестве 20...23 зерна на одну пластину и уплотнялся ручным прессом в 25 кг через резиновую прокладку в течении 10 с. Формирование структурных связей происходило 1 час на воздухе в помещении лаборатории при температуре 22 °С, а после – сутки в воде при температуре 20 °С.

Результаты испытаний устройством «ЦП-НТУ» приведены в таблице 2. Время испытания составляет 3 мин. В процессе эксперимента необходимое количество испытаний для получения достоверных данных определены по критерию предела функции Коши.

Таблица 2

Результаты экспериментов

Серия	$n_1$ , шт.	$n_2$ , шт.	$P_n$ , %	Характер отрыва
1. БНД 90/130	268	114	42,5	смешанный и адгезионный в равной степени
2. БНД 90/130+0,5%W	176	91	51,7	в основном смешанный, единичные случаи с адгезионным
3. БНД 90/130+0,5%S	166	122	73,5	в основном смешанный, единичные случаи с адгезионным
4. БНД 90/130+2,5%L	173	52	30,1	в основном адгезионный, единичные случаи со смешанным

Анализ полученных данных показал, что добавки № 1 и № 2 повышают показатель приживаемости, а добавка № 3 напротив – снижает его.

#### **Исследование процесса отрыва каменного материала от битума**

Экспериментальные образцы изготавливались на битуме БНД 90/130 с ПАВ. Расход битума – 0,7 л/м<sup>2</sup>. В прогретое вяжущее погружался каменный материал в количестве 9 гранул на пластину и уплотнялся ручным прессом до 20 кг в течении 10 с. Гранулы являют собой параллелепипед одинаковой толщины, массой около 5,4 г и площадью контакта около 3,5 см<sup>2</sup>. После формирования структурных связей проводились испытания, которые предусматривали фиксацию времени отрыва всех каменных материалов в процессе рабо-

ты устройства «ЦП-НТУ». График изменения показателя приживаемости во времени показан на рис. 3.

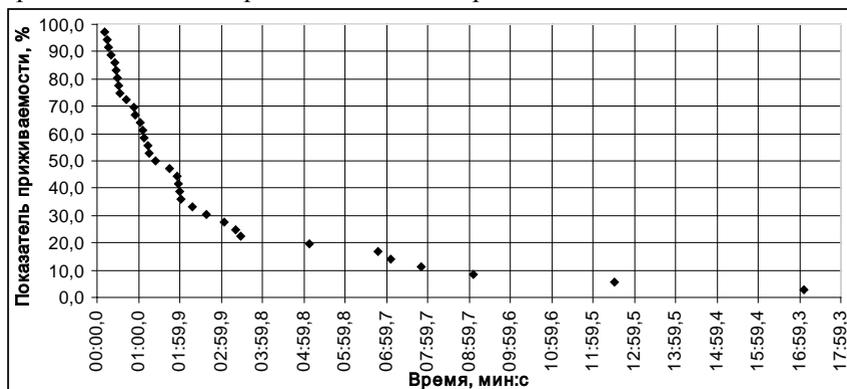


Рис. 3. Развитие процесса отрыва

Время начала отрыва 11 с. Время окончания отрыва 17 мин. 06 с. При этом основной отрыв произошел за 3 мин. и показатель составил 30,6 %.

Такое поведение показателя приживаемости можно объяснить только с точки зрения реологических свойств битума. Известно, что с увеличением напряжений структура битума разрушается и наблюдается отклонение от закона Гука [2].

### Заключение

Разработанное устройство «ЦП-НТУ» и методика оценки приживаемости позволяет подобрать вид добавки в вяжущее и оптимизировать технологические режимы устройства тонких слоев износа дорожных покрытий. Это позволяет получить высокие значения показателя приживаемости.

### Литература

1. Методические указания по использованию устройства «ЦП-НТУ» для оценки сцепления вяжущего и каменного материала: М 218-02070915-601:2006. – Киев: Укравтодор, НТУ, 2006. – 17 с.
2. Золотарев, В.А. Долговечность дорожных асфальтобетонов / В.А. Золотарев. – Харьков: Высшая школа, 1977. – 114 с.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СОВМЕСТНОГО УРАВНИВАНИЯ ГНСС-ВЕКТОРОВ И НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

**Пигин А.П.<sup>1</sup>, канд. техн. наук,  
Васильков Д.М.<sup>2</sup>, канд. физ.-мат. наук,  
Чадович Д.В.<sup>3</sup>, Яковенко М.П.<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup>*«Кредо-Диалог» (г. Минск, Республика Беларусь)*

<sup>4</sup>*«Кредо-Диалог» (г. Москва, Россия)*

*В новой версии популярного программного продукта CREDO\_DAT реализован ряд инновационных решений, одно из них - обработка и уравнивание (совместно с наземными или отдельно) результатов спутниковых измерений. Это решение является в определенной степени альтернативным по отношению к принятым в фирменных программных продуктах. В предлагаемой статье описывается принцип и основные алгоритмы этого решения.*

Одной из задач, реализованных в новой версии системы CREDO\_DAT, является совместная обработка спутниковых и наземных измерений. В публикации [1] мы предварительно рассматривали этот вопрос. Нами проведен более детальная проработка алгоритмов, анализ и практическая проверка предложений из статьи [1]. Результаты приведены ниже.

В литературе и практике имеет место несколько подходов к совместной обработке спутниковых и наземных измерений. Варианты таких подходов для локальных геодезических построений рассмотрены в [2]. На этой основе, а также с учетом разработок и практического опыта, изложенных в работе [3], для реализации нами апробирован следующий вариант. В основу положений обработки принят принцип – пространственные измерения в геоцентрических координатах  $\Delta X_{ki}, \Delta Y_{ki}, \Delta Z_{ki}$ , полученные в результате постобработки в пакетах производителей оборудования, преобразовываются в горизонтную (топоцентрическую) систему координат точки  $k$ , т.е. в «измерения» наклонных дальностей, направлений и зенитных расстояний, выполненных с базовых станций  $k$  на определяемые пункты  $i$ .

Далее данные обрабатываются на плоскости в рабочей системе координат в обычном порядке, на основе уже реализованного и выверенного математического аппарата CREDO\_DAT.

Исходными данными, включаемыми в совместную обработку являются приближенные (навигационные) геодезические координаты базовых станций (B, L), приращения геоцентрических координат, полученные в системах постобработки из решения базовых линий в СК WGS84 ( $\Delta X_{ki}$ ,  $\Delta Y_{ki}$ ,  $\Delta Z_{ki}$ ), их точностные характеристики  $\delta x$ ,  $\delta y$ ,  $\delta z$ .

Эти данные читаются из файлов соответствующих форматов – SNAP-файлы (PINACLE), данные по станциям и базовым линиям \*.txt, \*.csv (LGO), \*.asc (TGO, TBC), \*.tvf (Topcon Tools), отчеты по решению базовых линий (Spectrum Survey).

При уравнивании сети используются также координаты и нормальные высоты исходных пунктов на участке работ в рабочей системе координат (x, y, H<sub>γ</sub>).

Для перехода от эллипсоидальных (геодезических) превышений к превышениям нормальных<sup>4</sup> высот используются аномалии высот из модели геоида EGM2008 [4].

Рабочие формулы для плановых «измерений» (из [2,3])

Измеренные наклонные дальности:

$$SD_{ki} = \sqrt{\Delta X_{ki}^2 + \Delta Y_{ki}^2 + \Delta Z_{ki}^2} . \quad (1)$$

Значение SD подлежит исправлению поправками за приведение линии к горизонту, редуцированию на поверхность эллипсоида и плоскость в текущей проекции в рабочей СК (HD).

Измеренные углы:

$$\beta_{ki} = A_{ki} - A_{kj} ,$$

---

<sup>4</sup> Строго говоря, высоты геоида в модели EGM2008 позволяют определить ортометрические высоты, но так как в расчете превышений используются разности аномалий высот, методика предназначена для обработки в сетях кадастровых съемок, инженерных изысканиях, инженерных и городских сетях, разностью высот геоида и квазигеоида мы пренебрегаем.

где

$$ctg A_{ki} = \frac{\Delta Z_{ki} * \cos B_k - (\Delta X_{ki} * \cos L_k + \Delta Y_{ki} * \sin L_k) * \sin B_k}{\Delta Y_{ki} \cos L_k - \Delta X_{ki} * \sin L_k} \quad (2)$$

Для обработки используются «измеренные» направления. В значения «измеренных» направлений вносятся просто значения азимутов  $A_{ki}$ , т.е.  $M_{ki}=A_{ki}$ . Значения  $M_{ki}$  исправляются поправками за редуцирование на плоскость в рабочей проекции.

Рабочие формулы для высотных «измерений»

Для расчета «измеренных» превышений и уравнивания высот можно рассчитать зенитные расстояния [2, 3], которые в принципе можно использовать как данные тригонометрического нивелирования. В этом случае геодезическое (эллипсоидальное) зенитное расстояние рассчитывается по следующей формуле:

$$\cos hZ_{ki} = \cos B_k * \cos L_k * \frac{\Delta X_{ki}}{SD_{ki}} + \cos B_k * \sin L_k * \frac{\Delta Y_{ki}}{SD_{ki}} + \sin B_k * \frac{\Delta Z_{ki}}{SD_{ki}} \quad (3)$$

«Измеренное» зенитное расстояние определяется по известной формуле:

$$Z_{ki} = hZ_{ki} - \xi * \cos A_{ki} - \eta * \sin A_{ki} \quad (4)$$

При расчете превышения по «измеренному» зенитному расстоянию учитывается только поправка за кривизну земли и поправка за переход к нормальным высотам:

$$h_{ki} = HD_{ki} * ctg Z_{ki} + \frac{HD_{ki}}{2R \sin^2 Z_{ki}} - (\Delta H^{\gamma}_i - \Delta H^{\gamma}_k) \quad (5)$$

где  $R$  – средний радиус кривизны эллипсоида линии  $ki$ .

$$R = \frac{a\sqrt{1-e^2}}{1-e^2 \sin^2((B_k + B_i)/2)}$$

Здесь  $a$  и  $e$  – параметры текущего эллипсоида.

Для использования этого пути пользователь должен знать не всегда доступные ему разности геодезических и нормальных высот, уклонения отвесных линий.

Однако, при расчете геодезических (эллипсоидальных) превышений вектора с  $k$  на  $i$  после некоторых преобразований формулы расчета  $\cos hZ_{ki}$  превышение можно получить проще:

$$\Delta H_{k \rightarrow i} = \Delta X * \cos B_k * \cos L_k + \Delta Y * \cos B_k * \sin L_k + \Delta Z * \sin B_k. \quad (6)$$

При этом среднее превышение между нормальными (точнее – ортометрическими) высотами конечной (i) и начальной (k) точками вектора свободно от влияния кривизны эллипсоида и вычисляется по формуле:

$$H_i - H_k = (\Delta H_{k \rightarrow i} - \Delta H_{i \rightarrow k}) / 2 + \zeta_k - \zeta_i, \quad (7)$$

где  $\Delta H_{k \rightarrow i}$ ,  $\Delta H_{i \rightarrow k}$  – вычисленное геодезическое превышение в горизонтальной СК соответственно точки «k» и точки «i»,

$\zeta_k, \zeta_i$  – аномалии высот, выбираемые из модели геоида EGM2008 по навигационным координатам пунктов.

Установление весов «измерений»

В [2] для установления весов рекомендуется использовать паспортные характеристики приборов. В CREDO\_DAT для установления весов наземных измерений используются точностные характеристики измерений линий, направлений и превышений, устанавливаемые для каждого класса (группы) измерений либо на основе требований нормативных документов, либо назначаемые пользователем в соответствии с методикой измерений в классе (группе).

Для обеспечения гибкости, выбора стиля уравнивания ГНСС-векторов в CREDO\_DAT используются точностные характеристики векторов  $\delta x$ ,  $\delta y$ ,  $\delta z$ , кроме того предоставлена возможность введения некоторого множителя для RMS, а также возможность с той или иной степенью (от 0 % до 100 %) учитывать для установления весов точностные характеристики класса (группы) измерений.

Анализ точности предлагаемого метода

Расстояния, получаемые из (1) – это физические длины, точность которых зависит только от точности полученных в постобработке приращений координат и не зависит от предлагаемой методики (естественно, не считая точности редуцирования и масштабного коэффициента в параметрах связи рабочей СК и WGS84).

Точность рассчитанных по (2) направлений в определенной степени зависит от точности полученных навигационных координат. Но степень влияния незначительна. Изменения для редуцированных линий длиной 25 км при изменении навигационных координат на 1” (~30м в плане) дает погрешность в 0,001”, чем вполне

можно пренебречь в сетях кадастровых съемок, инженерных изысканий, городских сетях.

Точность рассчитанных по (7) превышений существенно зависит от точности значений навигационных координат и точности модели геоида. На сегодня модель EGM2008 превышает по точности все доступные общеземные и некоторые локальные модели. Собственно, определение гравитационного поля земли – постоянная задача геодезии и создаваемые модели постоянно уточняются, поэтому более детально рассмотрим вторую составляющую – влияние точности получения навигационных координат на точность превышения.

Для оценки влияния значения широты и долготы места наблюдения на точность получения значения превышения в горизонтной системе координат, продифференцировав формулу (6) по  $B$  и  $L$ , численным методом детально оценено влияние значения широты и направления вектора на точность превышения. Результаты эксперимента показали, что широта и долгота места наблюдения, направление вектора не влияют на точность получения значения превышения в горизонтной (топоцентрической) системе координат.

Наиболее существенна потеря точности в превышении вызывается точностью определения навигационных координат, причем имеет место линейная зависимость. В таблице приведена требуемая точность определения навигационных координат (в метрах) для обеспечения соответствующей погрешности превышения.

Таблица 1

Влияние погрешности навигационных координат		0,006	0,008	0,010	0,014
Длина вектора	10 км	4,42	5,89	7,36	10,30
	15 км	2,94	3,93	4,91	6,87
	20 км	2,21	2,94	3,68	5,15
	30 км	1,47	1,96	2,45	3,43

Для проверки предлагаемой методики авторами, с привлечением специалистов фирм – поставщиков и пользователей ПО и ГНСС-оборудования (ГФК Лейка и ГСИ (Москва), Белаэрокосмогеодезия и Экомир (Минск)) проведены многочисленные проверки методики на

производственных объектах. Результаты обработки по предлагаемой методике сравнивались с результатами обработки в Pinnacle, LGO, Topcon Tools, Spectrum Survey, TGO.

Следует отметить, что расчеты, проведенные в этих продуктах для одного и того же набора данных в Rinex-файлах, отличались на первые сантиметры и в плане, и по высоте. При этом результаты уравнивания по предлагаемой методике, как правило, находились близкими к среднему из уравнивания в разных пакетах.

В целом же результаты сравнения можно оценить как удовлетворительные, позволяющие сделать вывод о пригодности методики для обработки данных ГНСС измерений, в том числе совместно с наземными измерениями, в сетях кадастровых съемок, инженерных изысканиях, инженерных и городских сетях.

### **Литература**

1. Пигин, А.П. К реализации совместной обработки спутниковых и наземных измерений локальных сетей в системе CREDO\_DAT/ А.П. Пигин, Д.В. Чадович // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования, 2003. – с. 63.

2. Бойко, Е.Г. Методы совместной обработки локальных наземных и спутниковых геодезических сетей / Е.Г. Бойко, В.М. Зимин, М.Г. Годжаманов. – М.: Геодезия и картография. – 2000. – № 8.

3. Глушков, В.В. Космическая геодезия: методы и перспективы развития/ В.В. Глушков, К.К. Насретдинов, А.А. Шаравин. – М.: Институт политического и военного анализа, 2002.

4. Интернет – <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/index.html>.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ НАНЕСЕНИЯ НА ТОПОГРАФИЧЕСКИЙ  
ПЛАН ТОЧЕК СЪЁМОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ, РЕЕЧНЫХ  
ТОЧЕК ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ  
И НИВЕЛИРОВАНИЯ ПО КВАДРАТАМ ДЛЯ СТУДЕНТОВ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ И АРХИТЕКТУРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ**

**Позняк А. С., канд. техн. наук, доцент,**

**Гусь О.В., Брухан Т.А., студенты**

*Белорусский национальный технический университет  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

**Введение**

21-й век – век информационных технологий и компьютерной техники. И уже, наверное, сложно представить мир без компьютеров. Они прочно вошли во все сферы жизнедеятельности и во все отрасли науки и техники. Любая информация и процессы компьютеризированы. Не исключением является и такая наука, как геодезия.

Камеральная обработка результатов геодезических измерений является одной из важнейших частей процесса по получению пространственных координат характерных точек местности. Она требуется практически при любых геодезических работах. Это связано со спецификой этих работ – высокая точность требует специальных методов как проведения собственно измерений, так и камеральной обработки их результатов – применения уравнивания измеренных величин, введения поправок, постоянного прослеживания всех получающихся результатов (в том числе и с целью контроля их правильности) и т.д. Это, естественно, влечет за собой определенные проблемы, главные из которых – это недопущение ошибок, и длительное время самой обработки из-за ее большого объема. Хотя все процессы обработки построены так, чтобы максимально снизить риск появления ошибок, но так как всё-таки исполнителем работ является человек, то, естественно, нельзя полностью гарантировать отсутствие ошибок. Конечно, потом они будут обнаружены и исправлены, но сам процесс поиска может занять значительное время. Когда камеральную обработку выполняет человек с большим

опытом проведения подобных работ, то риск подобных ошибок снижается, следовательно уменьшается и время, требуемое на проведение обработки. Но в нашем случае данную работу выполняет человек, не имеющий подобного опыта – студент, поэтому риск вышеперечисленных ошибок многократно возрастает.

В связи с этим встает вопрос об автоматизации геодезических вычислений. Во-первых, это значительно сократит время расчетов, а во-вторых, это даст гарантию от ошибок в них – попросту говоря, компьютер никогда не сделает ошибку при выполнении математической операции. На самом деле, практика показала преимущества подобного подхода, и в настоящее время ручная обработка результатов геодезических измерений встречается крайне редко.

Поэтому многие студенты решили приобщиться к процессу автоматизации геодезических вычислений. Это наши первые подобные работы, и для того, чтоб они пригодились и в будущем нашим последователям, мы решили автоматизировать расчетно-графические работы, которые студенты выполняют на первом курсе.

В рамках изучения курса геодезии студенты строительных и архитектурных специальностей сталкиваются с необходимостью выполнять вычислительную обработку полевого журнала топографо-геодезических работ на участке поймы реки Щара. По данным варианта составляют топографический план данного участка местности по результатам теодолитной, тахеометрической съёмок и нивелирования по квадратам. Данная работа занимает огромное количество времени. Вычисление одного только журнала является долгой рутинной работой и занимает около 10 – 12 часов. Составление топографического плана «вручную», нанесение каждой точки также занимает примерно столько же времени.

Цель нашей работы – сократить рутинные вычисления студентов строительных и архитектурных специальностей и сделать первый шаг в автоматизации составления топографического плана. Объект нашей работы - полевой журнал, вычисления в котором автоматизированы в EСХЕL и занимают теперь несколько секунд.

В последующем с помощью программы Rx, составленной на алгоритмическом языке AutoLisp, выполнена автоматизация нанесения на топографический план точек съёмочного обоснования, речных точек тахеометрической съёмки и нивелирования по квадратам.

## Основные этапы нашей работы.

1. Первый шаг-заполнение полевого журнала. В первую таблицу «Исходные данные» вводим данные своего варианта.

2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Исходные данные для выполнения задания								
2									
3	Координаты геодезических пунктов								
4									
5	X <sub>512</sub> =	4701,43				X <sub>513</sub> =	4948,72		
6	Y <sub>512</sub> =	-2692,27				Y <sub>513</sub> =	-2692,27		
7									
8									
9	Дирекционные углы								
10									
11	α <sub>511-512</sub> =	33 40				α <sub>513-514</sub> =	128 35,7		
12									
13	Высоты точек								
14									
15	H <sub>512</sub> =	216,22				H <sub>513</sub> =	220,339		
16									

Результат: все остальные таблицы заполняются автоматически.

Для построения точек на плане необходимо перевести координаты точек из полярных в прямоугольные. Для этого создана ещё одна таблица, перевод точек в которой с помощью заложенных формул производится автоматически.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Журнал тахеометрической съемки в прямоугольных координатах									
2										
3										
4	Высота станции H2=			217,27	Высота станции H1=			215,68		
5	Высота прибора I2=			1,50	Высота прибора I1=			1,48		
6	Горизонт прибора ГП2=			218,77	Гориз. прибора ГП1			217,16		
7										
8										
9										
10	Номер точки	Прямоугольная координата X	Прямоугольная координата Y	Высота H	МО=		0 -1			
11					Угол 2-513		51 31,47			
12	512	4701,43	-2692,27	216,22	Угол 1-2=		26 3,65			
13	1	4797,59	-2723,56	215,68	X	Y	H			
14	1	4724,03	-2803,99		512	4701,43	-2692,27	216,22		
15	2	4798,01	-2803,56		1	4797,59	-2723,56	215,675		
16	2	4798,01	-2803,56		2	4892,63	-2723,39	217,274		
17	3	4866,55	-2760,02	215,09	D1	4634,67	-2591,54	219,3018		
18	4	4856,26	-2746,51	215,09	D7	4851,18	-2545,26	219,783		
19	5	4819,60	-2776,14	215,04	513	4948,72	-2692,27	220,339		
20	6	4777,46	-2782,20	215,04	ΔX		36,086			
21	7	4804,45	-2761,95	217,46	ΔY		7,713			
22	8	4789,04	-2749,12	215,19	1	4626,96	-2555,45			
23	9	4777,99	-2762,96	215,04	D1	4634,67	-2591,54			
24	10	4750,73	-2774,21	215,02	15	4642,38	-2627,52			
25	11	4716,64	-2773,28	214,93	22	4650,10	-2663,71			
26	12	4734,02	-2737,14	216,54	29	4657,81	-2699,79			
27	13	4766,65	-2731,74	216,59						
28	14	4806,44	-2721,91	215,33						
29	15	4828,21	-2738,35	215,58						
30	16	4843,62	-2714,08	215,90						
31	17	4830,22	-2669,67	215,77						

3. Далее копируем все точки.
4. И вставляем их в Microsoft Word.

5. Для того, что бы с координатами данных точек можно было работать в автокаде, мы должны привести их к знакомому ему виду. Следующий шаг – преобразование таблицы в текст, замена запятых на точки и удаление лишних пробелов.

6. Далее нажимаем – Макет – Преобразование в текст.

В появившемся окне выбираем – Другой и в маленьком окошечке ставим пробел.

Таблица преобразовалась в текст, лишние пробелы исчезли. Между точками осталось по одному пробелу.

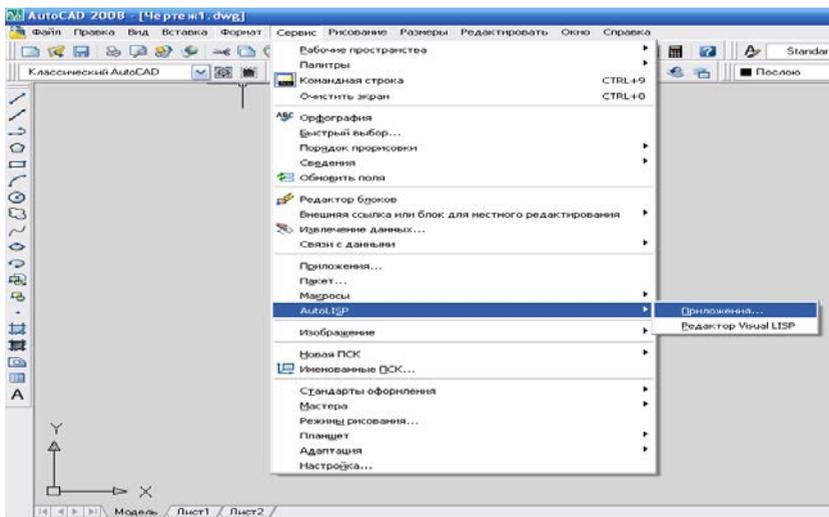
7. Осталось преобразовать запятые в точки. Это осуществляется с помощью команд: Главная – Заменить –, на . – Заменить все.

8. Текст принял нужный нам вид. Копируем его и вставляем в Блокнот.

9. Точки готовы к дальнейшей работе. Сохраняем их под каким-либо именем, например ТХ.

10. Теперь запускаем программу AutoCAD.

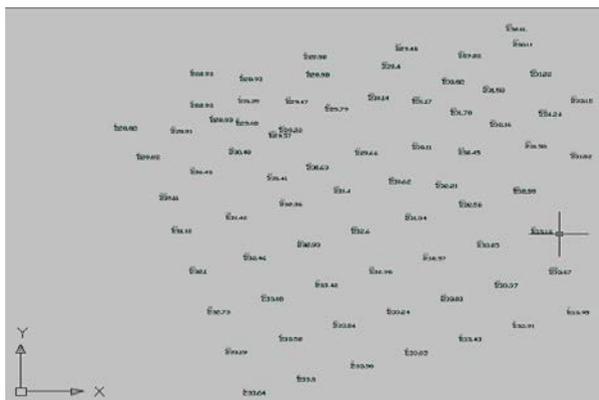
11. Выбираем команду Сервис – AutoLISP – Приложения.



12. Выбираем приложение Рх и нажимаем – загрузить.

13. Далее в командной строке прописываем название приложения – Рх.

14. Нажимаем enter, и у нас появляется окно, в котором мы должны выбрать файл для считывания координат. Мы выбираем сохраненный ранее файл в блокноте PX и открываем его.



Все точки, в соответствии со своими координатами появляются на экране. В окончательном варианте имеем готовые точки съёмочного обоснования, речные точки, точки тахеометрической съёмки и нивелирования по квадратам. Построение точек с помощью данной программы заняло несколько минут, в то время как ручное нанесение точек занимает многие и многие часы.

В перспективе данной работы – разработка автоматизации остальных частей топоплана.

### Заключение

В заключении необходимо еще раз обратить внимание на такой важный аспект проблемы, как плюсы и минусы автоматизации. Казалось бы, что здесь нет никакой проблемы, ведь, как мы увидели, автоматизация позволяет многократно увеличить производительность работ по обработке вычислений за счет увеличения скорости их выполнения, и во много раз сократить вероятность появления любых ошибок в процессе камеральной обработки. Алгоритмы, которые используются при разработке средств автоматизации, многократно проверяются в процессе разработки на наличие скрытых ошибок, что позволяет довести надежность процесса вычислений до необходимого уровня.

При применении готовых технологий процессы получения требуемых результатов автоматизированы почти до предела – съемка местности, запись результатов, производство камеральных работ происходит автоматически, желательно с минимальным участием человека. Поэтому становится нормальным такое положение дел, при котором исполнитель работ не понимает сущности того, что он делает, а только хорошо и четко знает алгоритм действий, подлежащих выполнению с его стороны.

При самостоятельной разработке подобных средств автоматизации данных проблем не должно возникать, потому что для того, чтобы создать функционирующую таблицу, автоматизирующую вычисления, необходимо представлять себе суть происходящего. Также необходимо разграничить сферы применения тех или иных средств автоматизации в зависимости от решаемых задач.

Делая вывод, можно сказать, что автоматизация геодезических вычислений является актуальной темой, и совершенно необходима во всех сферах работ, где используется обработка результатов геодезических измерений.

### Литература

1. [www.worldgeodesist.narod.ru](http://www.worldgeodesist.narod.ru)
2. [www.stroi-geodezia.ru](http://www.stroi-geodezia.ru)
3. Кулешов, Д.А. Инженерная геодезия для строителей: учебник для втузов / Д.А. Кулешов, Г.Е. Стрельников. – Москва: Недра, 1990.
4. Заболотнова, Е.Ю. Организация данных в виде таблиц: практическая работа с программой Microsoft Excel: Практикум/ Е.Ю. Заболотнова; под ред. д-ра физ.-мат. наук В.А. Гриценко. – Калининград: Калинингр. ун-т, 2000. – 36 с.
5. Нестерёнок, М.С. Инженерная геодезия/ М.С. Нестерёнок, А.С. Позняк.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ «FREE T-GEORPLAN 6» ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ**

**Позняк А.С., канд. техн. наук, доцент,  
Кольцов Е.В., Иванов А. Л., студенты**

*Белорусский национальный технический университет  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Вычислительная обработка учебных полевых журналов топографо-геодезических изысканий на участке поймы реки Щара занимает у студентов строительных специальностей при успешной предварительной теоретической и практической подготовке не менее семи часов рабочего времени с использованием инженерного калькулятора. На учебной геодезической практике на аналогичные вычисления затрачивается несколько рабочих дней. Эта рутинная работа на наш взгляд является мало интересной и необходимой в связи с повсеместным внедрением в производство полевых электронных средств измерений и автоматическим получением пространственных координат необходимых точек с целью последующего составления топографического плана или цифровой модели местности. Однако в настоящее время отказаться от принятой учебной технологии не представляется возможным в связи с отсутствием на кафедре в необходимом количестве дорогостоящих электронных тахеометров и соответствующего программного обеспечения. Поэтому использование доступных программных средств автоматизации расчетно-графических работ по геодезии является актуальным и своевременным.

Программа Free T-Georplan 6, далее - Georplan, предназначена для создания и корректировки крупномасштабных топографических планов. Используемая система координат - прямоугольная, с положительными координатами (по горизонтали - Y, по вертикали - X).

Построение плана начинается с создания "нового плана" и выбора масштаба. Нанесение на план всех точек выполняется автоматически. В данной программе предусмотрены все виды исполнительных работ, которые могут понадобиться для построения

топоплана. Программа содержит ряд таблиц, сходных с таблицами полевых журналов, выдаваемых студентам. При построении плана необходимо воспользоваться таблицами для вычисления данных теодолитного хода и тахеометрической съёмки. Geoplan позволяет рассчитать каждую из них автоматически. Для расчёта координат точек теодолитного хода необходимо ввести исходные данные (координаты пункта полигонометрии и соответствующие дирекционные углы и горизонтальные проложения) и указать тип хода. После того как программа рассчитает координаты всех геодезических пунктов, добавим их в план нажав кнопку «Добавить в план точки хода». Для нанесения остальных 37 точек воспользуемся таблицей тахеометрической съёмки. Заполняется она следующим образом: вводятся координаты точки стояния и точки ориентирования, высота станции и инструмента, расстояние по дальномеру и отсчёты по ГК, ВК и рейке. После элементарных действий мы получаем все точки нанесённые на план с подписями высот (рис. 1).

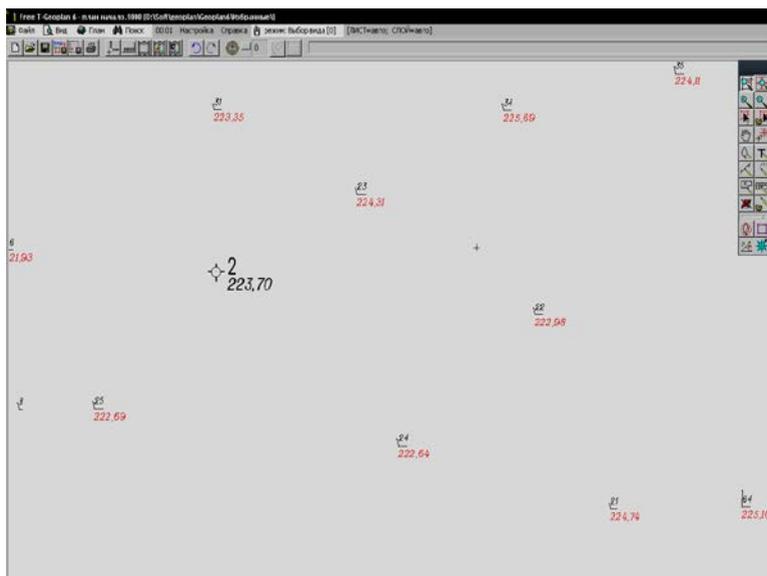


Рис. 1. Точки теодолитного хода и тахеометрической съёмки

Приступим к построению берега реки Щара и её ручья по полученным точкам в соответствии с абрисом полевого журнала. Для этого на панели инструментов выбираем иконку «Линейные объекты». Также для удобства построения следует нажать кнопку «Привязка по точкам» и тогда программа автоматически будет привязывать линию к выбранным точкам, расположенным в окрестности курсора. Соединив необходимые точки, получим плоскую кривую, которую следует преобразовать в сплайн, щёлкнув по ней правой кнопкой мышки и выбрав «Установить кривую для всех сегментов». В результате мы получим нужное нам изображение (рис. 2).

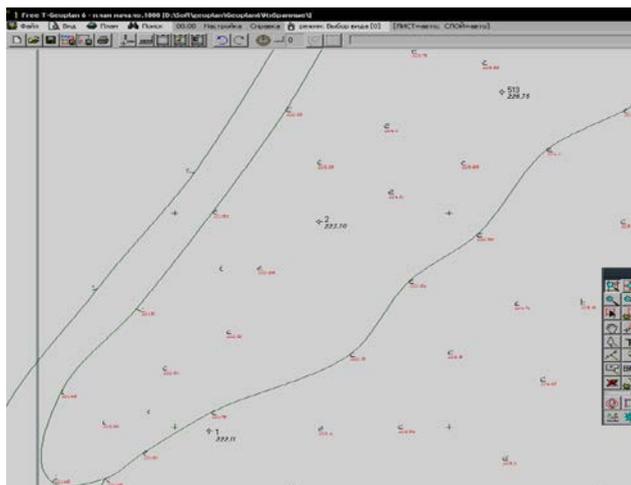


Рис. 2. Берег реки Щара и ручей

Необходимо отметить, что в процессе создания плана Geoplan будет автоматически распределять объекты по слоям в зависимости от их семантики. Аналогичным образом выполняется нанесение на план жилой постройки с прилегающими к ней объектами. Далее в соответствии с абрисом полевого журнала нанесём дорогу, также щёлкнув на кнопку «Линейные объекты». Различие построения дороги и берега, к примеру, состоит в том, что по окончанию соединения точек следует щёлкнуть правой кнопкой мышки и выбрать не «Закончить линию» а, «Закончить полосу» и в появившемся окне указать ширину полосы и выбрать необходимый

тип сегмента. При необходимости нанесения на план сенокоса следует воспользоваться клавишей «Площадные объекты», затем выбрать необходимую область и по завершении выделения указать «РАСТИТЕЛЬНОСТЬ, ВЫСОКОТРАВНАЯ». Далее приступаем к построению горизонталей. Программа делает это в полуавтоматическом режиме, а именно: самостоятельно интерполирует между выбранными точками и в последующем преобразует кривые, получившиеся в результате соединения проинтерполированных точек, в сплайны с разрывами и подписями. При построении горизонталей важно следить за правильной последовательностью интерполяции т.к. если интерполировать между первой и последней точками, к примеру, программа не правильно проведет горизонталь. Для корректного построения необходимо интерполировать строго по возрастанию высот! Также в программе предусмотрены функции, такие как «Зарамочное оформление» и «Оформление». Недостаток зарамочного оформления в том, что оно рассчитано на масштабы 1:500 и 1:2000. Но это легко исправляется следующим образом: выбираются команды «Привязка по точкам» и «Линейные объекты», затем выделяется необходимая область вокруг плана и в классификаторе выбирается «ОФОРМЛЕНИЕ #, ДВОЙНАЯ ЧЕРНАЯ ЛИНИЯ 0.1\*0.8». Затем повторяем первые две команды, но на сей раз выбрать необходимо «Площадные объекты» и в классификаторе указать «ОФОРМЛЕНИЕ#, ЧИСТЫЙ ЛИСТ». В результате получаем готовый план (рис. 3).

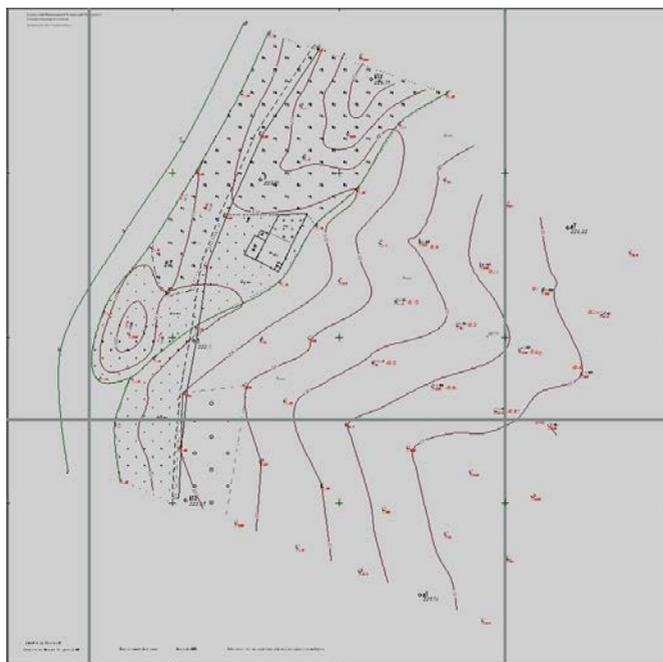


Рис. 3. Топографический план

Конечно, будут существовать разногласия в правильности использования компьютеров для решения учебных задач. Ведь если вычисление координат, превышений и так далее. Будет вычисляться простым нажатием кнопки, то студент не сможет понять всю суть работы. Что следует друг за другом, какие действия и так далее. Но проходя геодезическую практику, мы будем вычислять все те же значения. И зная смысл выполняемой работы, мы можем с чистой совестью ввести значения и быстро и качественно получить точный результат.

В завершении хочется еще раз добавить, что использование компьютеров, использование современного программного обеспечения для решения поставленных задач, для решения геодезических задач, это наше настоящее и наше будущее.

Мы можем с уверенностью сказать, что поставленная задача успешно выполнена. Поэтому давайте осваивать это поприще и будем вместе идти в ногу со временем.

## Литература

Геодезическое сообщество [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.geodesist.ru/>

УДК 528.48

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ**

**Позняк А.С., канд. техн. наук, доцент,  
Прокурат Л.В., Гармаза О.Е.**

*Белорусский национальный технический университет  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

#### **Введение**

Рейтинговая система оценки знаний студентов по инженерной геодезии представляет собой комплекс организационных, учебных и контрольных мероприятий, базирующийся на современном методическом обеспечении лекций, лабораторных и расчетно-графических работ, учебной геодезической практики. Она включает компьютерные методы обучения и возможности сети Интернет, непрерывный мониторинг учебной и исследовательской деятельности студентов, дифференцированную оценку текущей успеваемости, контрольно-обучающее тестирование и позволяет стимулировать систематическую работу студентов, снижать роль случайных факторов при сдаче экзаменов и зачетов [1, 2 и др.].

#### **Особенности изучения инженерной геодезии**

Основные отличительные особенности изучения инженерной геодезии заключаются в том, что только в аудиториях кафедры имеются возможности в полном объеме практически изучать устройство и принцип работы геодезических приборов и принадлежностей (теодолитов, нивелиров, тахеометров, дальномеров, экеров, эклиметров, землемерных лент и электронных рулеток, тахеографов, геодезических шаблонов в строительстве и т.п.).

При методическом обеспечении учебного процесса преследуется цель научить студентов строительных специальностей выполнять

основные геодезические работы, обеспечивающие технологическую цепочку изыскания – проектирование – строительство – эксплуатация зданий и инженерных сооружений. Для этого в первом семестре студенты индивидуально измеряют геодезические примитивы с помощью теодолита, нивелира, тахеометра и планиметра, выполняют расчетно-графические работы (РГР) по построению топографического плана участка предполагаемого строительства, знакомятся с решением типовых инженерно-геодезических задач по топографической карте масштаба 1:10000. Во втором семестре студенты камерально обрабатывают журнал технического нивелирования трассы автодороги, составляют продольный и поперечный профили; выполняют геодезические расчеты при проектировании вертикальной планировки (разрабатывают планы организации рельефа и земляных масс) и высотной привязке здания - определяют отметку чистого пола первого этажа (строительного нуля); рассчитывают разбивочные элементы для перенесения основной оси здания в натуру способами угловой засечки и полярных координат с контролем и оценкой точности.

Все перечисленные работы выполняются в сентябре-марте, а с апреля появляется возможность начать подготовку к учебной геодезической практике, организовать выполнение лабораторных работ по основным поверкам и юстировкам используемых на практике приборов, построению проектных углов, расстояний, отметок и уклонов непосредственно на местности при благоприятных погодных условиях. При этом каждая лабораторная работа несет элементы исследования. Например, при несоблюдении главного условия нивелира студенты получают недопустимую невязку превышений в замкнутом нивелирном ходе, при большой коллимационной погрешности теодолита – соответствующую ошибку в построении проектного угла. Для определения величины и направления крена одного из углов учебного корпуса высотой около 70 метров и сравнительной оценки полученных результатов студенты используют метод отвесного проецирования верхних и нижних точек на горизонтально расположенную рейку и метод «горизонтальных углов». При этом расстояния измеряют по нитяному дальномеру, ориентируют нуль лимба на магнитный север, т.е. в полной мере используют все функциональные возможности теодолита и сравнивают полученные результаты двух методов. Некоторые студенты, понимая

практическую значимость выполняемых работ и с целью закрепления знаний и приобретения дополнительных навыков в работе с геодезическими приборами, посещают одни и те же занятия дважды с другими группами.

Учитывая большой объем планируемых учебных задач и дефицит времени, возникает необходимость в отборе и дополнительной подготовке наиболее ответственных студентов, которые способны возглавить бригады на учебной геодезической практике и самостоятельно выполнить в полном объеме и с хорошим качеством программу практики. Для этого на лекциях студенты получают индивидуальные контрольные задачи, которые позволяют глубже представить геометрическую сущность и интерпретацию выполняемых РГР. Например, по данным полевого журнала топографо-геодезических изысканий, используя координаты точек теодолитных ходов и выполнив дополнительные вычисления необходимо в соответствии со своим вариантом составить схему одного из треугольника, на которой показать координаты ( $X, Y$ ) и высоты ( $H$ ) вершин треугольника, дирекционные ( $\alpha$ ), вертикальные ( $\nu$ ) и горизонтальные ( $\beta$ ) углы его сторон, румбы, расстояния ( $D$ ), горизонтальные проложения ( $d$ ), превышения ( $h$ ), приращения координат ( $\Delta x, \Delta y$ ), площадь ( $P$ ). На сайте БНТУ ([www.bntu.by](http://www.bntu.by), ФТК, кафедра инженерной геодезии) имеются основные методические и программные разработки преподавателей кафедры, позволяющие студентам повысить производительность и эффективность своей работы при выполнении контрольных, лабораторных, РГР и программы учебной геодезической практики.

На каждом лабораторном занятии по десятибалльной системе преподавателем оценивается работа каждого студента за две недели. Конечно, для этого необходимо очень четко и конкретно «озадачить» (по возможности заинтересовать, объяснить необходимость и значимость задач, мобилизовать) молодых людей на плодотворную работу, назначить дополнительные консультации. Если студент не удовлетворен своей двухнедельной рейтинговой оценкой, ему предоставляется возможность исправить ее в течение двух недель. Следует помнить о том, что во время учебной геодезической практики весьма затруднительно преподавателю руководить и дифференцировано оценивать работу каждого студента, следить за соблюдением техники безопасности и охраны окружающей среды,

помогать обеспечить сохранность и работоспособность геодезических приборов. Как правило, по разным причинам до 30 % студентов не выполняют весь запланированный объем работ в срок. Наиболее успешно и вовремя заканчивают полевые работы и грамотно оформляют отчеты те студенты, которые в течение года регулярно выполняли все задания и имели рейтинговые оценки не ниже семи баллов.

По результатам выполнения контрольных, лабораторных и РГР, заполнению и оформлению конспекта лекций и зачетного листа по работе с геодезическими приборами, тестированию на ПК, каждому студенту сообщается итоговая рейтинговая оценка в конце семестра. Следует отметить, что при компьютерном оценивании знаний контроль всегда совмещается с обучением, т.к. после повторного тестирования студент уже знает, как ответить правильно и почему.

Дополнительные рейтинговые баллы получают студенты, регулярно выполняющие научно-исследовательские работы и активно участвующие в работе предметного кружка по инженерной геодезии. В этом году на студенческой конференции (присутствовало 76 студентов) наиболее интересными были следующие доклады:

- использование Excel для автоматизации вычислений в полевых топографо-геодезических журналах и AutoLisp при графическом построении на плане точек съемочного обоснования, речных точек тахеометрической съемки и вершин квадратов;

- автоматизация РГР по инженерной геодезии с помощью бесплатно распространяемых в сети Интернет программ «OpenOffice.org Calc» и «Free T-Geoplan»;

- исследование точности подсчета объемов земляных масс при вертикальной планировке незастроенных участков по программам, разработанным на Фортране и Паскале;

- автоматизация расчетов при подготовке разбивочных элементов для перенесения оси сооружения на местность способами полярных координат и угловой засечки с оценкой точности результатов.

Эти доклады сопровождалась демонстрацией слайдов и видеороликов. Студентов, выступивших с докладами, встречали и провожали бурными аплодисментами, так как многие студенты уже успели успешно апробировать новые разработки для автоматизации своих расчетов и графических построений. Качество, скорость вычислений и наглядность полученных материалов заметно изменились

в лучшую сторону, многократно увеличилась их надежность и безошибочность. Известно, что вычислительная обработка только учебного полевого журнала топографо-геодезических изысканий занимает у студентов строительных специальностей при предварительной теоретической и практической подготовке не менее семи часов рабочего времени с использованием инженерного калькулятора. На учебной геодезической практике на аналогичные вычисления затрачивается несколько рабочих дней. Эта рутинная работа на наш взгляд является мало интересной и необходимой в связи с повсеместным внедрением в производство полевых электронных средств измерений и получением автоматически пространственных координат точек с целью последующего составления топографического плана или цифровой модели местности. Однако в настоящее время отказаться от принятой учебной технологии не представляется возможным в связи с отсутствием на кафедре в необходимом количестве дорогостоящих электронных тахеометров и соответствующего программного обеспечения.

Представленные законченные научно-исследовательские работы доведены до практического внедрения в учебный процесс и значительно повышают качество и производительность РГР. Необходимо учитывать и то, что на первом курсе студенты имеют, как правило, весьма посредственные чертежные способности, поэтому автоматизация графических работ так же является весьма актуальной. Использование разработанных программ на языке AutoLisp для графического построения на плане точек съемочного обоснования, реечных точек тахеометрической съемки и вершин квадратов заметно повышает производительность и качество работ.

На экзамен по инженерной геодезии выносятся три теоретических вопроса и одна задача. Итоговая оценка складывается из рейтинговой оценки и оценок по каждому вопросу и задаче. Например, рейтинговая оценка равна 7 баллов, ответ на первый вопрос оценен на 7 баллов, второй – 6, третий – 6, задача – 7. Итого, получается в сумме 33 балла. Для перехода на десятибалльную систему умножаем на коэффициент равный 0.2 и имеем 6.6 балла, округляем до семи баллов. Заранее в начале семестра студенты знакомятся с рейтинговой системой оценок и на письменном экзамене каждый студент самостоятельно оценивает свою работу по пяти указанным пунктам. Если его оценка отличается от оценки преподавателя

более чем на два балла, то он приглашается для решения дополнительных задач или ответов на вопросы. Следует отметить, что студенты, имеющие рейтинговые оценки более восьми баллов (потенциальные бригадиры на учебной практике), приглашаются в комиссию по экзаменационной оценке знаний других студентов. Это позволяет им дополнительно общаться с преподавателем, самостоятельно оценивать письменные ответы коллег и углубить свои знания. Кроме этого оценка на экзамене ответов другого студента, изучающего ту же тему – дают возможность преподавателю лучше узнать будущих бригадиров, детально проверить и вовремя повысить уровень их подготовки. Как правило, совпадение результирующей, рейтинговой оценки текущей успеваемости и окончательной экзаменационной оценки знаний достигает 80 – 90 %.

### **Заключение**

Рассмотренная организация учебного процесса ориентирована на развитие у студентов ответственного отношения к дорогостоящим геодезическим приборам, творческого индивидуального мышления, что возможно в результате внедрения рейтинговой системы при оценке выполненных работ, Интернет и компьютерных методов обучения, позволяющих моделировать работу с геодезическими приборами и автоматизировать различные вычислительные и графические работы. Для контроля качества знаний студентов и мотивирования их к учебной деятельности, в образовательный процесс по инженерной геодезии были введены элементы системы рейтингового контроля и оценки знаний, которые позволяют студентам: осознавать необходимость систематической и ритмичной работы по усвоению учебного материала; четко представлять систему формирования итоговой оценки; своевременно оценить состояние своей работы по изучению инженерной геодезии, выполнению всех видов учебной нагрузки до начала экзаменационной сессии; углубленно осваивать изучаемый материал, непрерывно повышая свой рейтинг в течение семестра; вносить в течение семестра коррективы по организации текущей самостоятельной работы.

### **Литература**

1. Положение о рейтинговой системе оценки знаний, умений и навыков студентов в УО «Белорусский государственный экономич-

ческий университет» (БГЭУ): Приказ от 26.03.2008 г., №250-А// Ректор БГЭУ В.Н. Шимов. – 2004.

2. Положение о рейтинговой системе оценки знаний студентов по дисциплине в Белорусском государственном университете. Утверждено Приказом ректора БГУ от 04.02.2008 г, № 38-ОД.

УДК 625.878

## **АСФАЛЬТОБЕТОН ДЛЯ МОСТОВОГО ПОЛОТНА**

**Реут Ж.В.<sup>1</sup>, Кушинский В.А.<sup>2</sup>,  
Чистова Т.А.<sup>3</sup>, канд. техн. наук**

<sup>1</sup> *Белорусский национальный технический университет,*  
<sup>2,3</sup> *ГП «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт»*  
*(г. Минск, Республика Беларусь)*

### **Введение**

Транспортно-эксплуатационные характеристики мостовых сооружений зависят от множества факторов, оказывающих, при этом, различное, по последствиям, воздействие на их состояние. К одному из них следует отнести и преждевременное разрушение покрытия проезжей части, проявляющееся в образовании трещин, выбоин, что, как правило, вызывает нарушение гидроизоляционного слоя и создает благоприятные условия для разрушения бетона и коррозии арматуры плит проезжей части, балок пролетных строений и других конструктивных элементов мостового сооружения [1]. Эти процессы значительно активизируются при эксплуатации мостов в зимний период, что обусловлено обработкой проезжей части противогололедными реагентами (NaCl, CaCl, CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> др.), которые способствуют образованию в бетоне двойной соли Фригеля [2], совместное воздействие указанной соли с водой приводит к выщелачиванию цементного раствора, а в последующем и к деградации бетонных плит, что резко сокращает срок службы мостовых конструкций.

Условия работы дорожных одежд на мостовых сооружениях существенно отличается от условий работы покрытий автомобильных дорог. [3]. Для мостовых сооружений характерно воздействие

значительных амплитудных динамических нагрузок. При проходе автомобилей по ортотропной плите мостового полотна в верхней части металлической плиты возникают растягивающие напряжения, аналогичные по характеру растягивающим напряжениям как и в слое износа дорожной одежды. Повторяющиеся воздействия движущихся транспортных средств вызывают усталостное напряжение в слое асфальтобетона и определяют усталостную долговечность материала.

Также следует отметить и наличие более резких температурных перепадов мостового сооружения по сравнению с дорожной конструкцией (промерзание зимой и сильный перегрев летом). Из-за сильного нагрева (или охлаждения) металлических ферм моста, разница в теплопроводности материалов и, как следствие, большого перепада и скорости изменения температур в слоях системы, появляются дополнительные температурные напряжения системы гидроизоляции - дорожное покрытие, провоцирующие наряду с напряжениями от нагрузки движущихся транспортных средств возникновение напряжений сдвига на границе двух слоев – гидроизоляции и покрытия. Это приводит к тому, что необходим учет не только адгезии между покрытием и герметиком, но и динамических нагрузок на границе слоев покрытия и герметика. На покрытиях мостов появляются специфические дефекты в виде вспучивания системы гидроизоляции - покрытие под давлением водяного пара от испарившейся влаги, проникнувшей между слоями дорожной одежды и слоем гидроизоляции. В результате образуются трещины, разрывающиеся сверху вниз.

#### **Способы защиты мостовых конструкций от динамических и температурных воздействий**

Защитить конструкции мостового сооружения от разных видов воздействий и последующего разрушения можно несколькими способами:

- а) создав надежную гидроизоляцию (выполняет функции гидрозашиты);
- б) устройством покрытий, выполняющих функции дорожного покрытия и изоляции;
- в) устройство монолитного гидроизоляционного слоя из специального бетона [1].

Анализируя существующие отечественные и зарубежные способы устройства гидрозащиты конструктивных элементов проезжей части мостового полотна при ремонте, можно сделать вывод, что одни технологии имеют достаточно высокую стоимость и требуют значительных капиталовложений, другие оказываются недолговечными [4].

В конструкциях одежды ездового полотна на металлической плите проезжей части следует предусматривать меры по обеспечению надежного сцепления покрытия с поверхностью металла и защите металлической поверхности от коррозии.

Снизить затраты и обеспечить защиту при устройстве покрытий мостов можно с помощью асфальтобетона способного выполнять функции гидроизоляционного слоя и покрытия, обеспечивающего водонепроницаемость, деформативность (сдвигоустойчивость, трещиностойкость), износостойкость и шероховатость.

Наиболее эффективным и технологически осуществимым техническим решением может быть устройство покрытия с резиносодержащим материалом. Использование мелкодисперсной резиновой крошки в составе асфальтобетона повышает как деформативные (трещиностойкие) [5] так и водонепроницаемые свойства асфальтобетона.

Для проведения опытно-экспериментальных работ были подобраны составы асфальтобетонных смесей с различным содержанием дробленой резиновой крошки. Результаты определения физико-механических показателей образцов (по СТБ 1115-2004), приведенные в таблице, указывают на их улучшение за исключением состава 5.

Учитывая тот факт, что исследуемые асфальтобетонные смеси будут укладываться на ездовом полотне мостового перехода, были проведены сравнительные испытания по измерению предела прочности при изгибе при температуре 0 °С. Предел прочности при изгибе асфальтобетонных образцов с резиновой крошкой при температуре минус 10 °С на 34 % выше, чем у традиционного асфальтобетона типа А (по СТБ 1033).

Деформативность рассматриваемых составов асфальтобетона определялась при непрямом растяжении (испытание на усталостное разрушение методом косвенного растяжения по образующей). Результаты испытаний, выполненные на установке «Нотингема» при температуре минус 10, 0, плюс 10 °С и приведенные на рис. 1,

указывают на более высокую деформативную способность резиноасфальтобетона, чем у традиционных асфальтобетонных. Это подтверждает, что трещиностойкость такого асфальтобетона значительно выше и вероятность появления трещин меньше.

Таблица 1

Физико-механические показатели экспериментальных составов асфальтобетона

Наименование показателей	Номер состава					Тип А
	1	2	3	4	5	
Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	2,44	2,44	2,43	2,42	2,41	2,42
Пористость минерального остова, % по объему	18,0	18,2	18,1	18,0	17,8	18,5
Остаточная пористость, % по объему	1,83	1,95	1,24	1,31	1,15	4,3
Водонасыщение, % по объему	0,3	0,5	0,3	0,4	0,6	3,2
Набухание, % по объему не более	0	0	0	0	0	0,2
Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, МПа, не менее	1,56	2,0	1,2	1,2	1,1	1,15
Предел прочности при сдвиге при температуре 50°С, МПа, не менее	2,44	2,34	2,35	2,1	2,0	2,5
Водонепроницаемость по СТБ 1535	Следов воды нет, при толщине слоя 1 см					Следов воды нет, при толщине слоя 4 см

Асфальтобетон с мелкодисперсной резиновой крошкой обладает повышенными деформативными свойствами в среднем на 30 % выше, чем традиционный асфальтобетон без крошки, при этом его прочностные характеристики не снижаются. Водонепроницаемость асфальтобетона с резиновой крошкой в 4 раза выше, чем у асфальтобетона типа А.

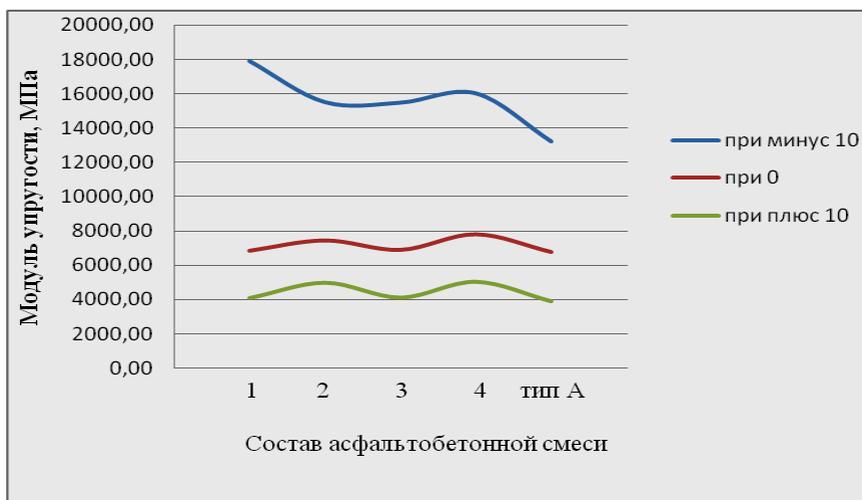


Рис. 1. Модули деформации асфальтобетона

### Вывод

Асфальтобетон с резиновой крошкой обладает повышенной трещиностойкостью к усталостному действию растягивающих напряжений по сравнению с традиционными асфальтобетонными смесями, и способствует снижению динамических и температурных воздействий на мостовое полотно.

### Литература

1. Минин, А.В. Автомобильные дороги Беларуси /А.В. Минин [и др.]; под общ. ред. А.В. Минина. – Минск: БелЭн, 2002. – 672 с.
2. Сахаров, И.Д. Новые гидроизоляционные материалы для мостовых сооружений / И.Д. Сахаров, В.Ю. Казарян. // Стройпрофиль. – 2001. – № 9. – С. 44–45.
3. Товкес, И.Н. Современные материалы для гидроизоляции мостов/ И.Н. Товкес. // Стройпрофиль – 2001. – № 8. – С. 34–35.
4. Овчинников, И.Г. Выбор оптимального решения конструкции дорожной одежды и технологии ее устройства на объектах мостового перехода у села Пристанное Саратовской области / И.Г. Овчинников,

В.Н. Макаров, О.Н. Распаров. // Дороги России XXI века. –2004. – № 2. – С. 55–61.

5. Гезенцевей, Л.Б. Дорожный асфальтобетон / Л.Б. Гезенцевей [и др.]; под общ. ред. Л.Б. Гезенцевей. – Москва: Транспорт, 1985. – 199с.

УДК 625.72

## **ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОФИЛЯ ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ 5**

**Селюков Д.Д., канд. техн. наук, доцент**

*Белорусский национальный технический университет  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Несмотря на принимаемые общие и конкретные меры по повышению безопасности дорожного движения на государственном, ведомственном, инженерном и водительском уровне деятельности по управлению дорожным движением, аварийность на дорогах автомобильных и улицах Республики Беларусь остается стабильно высокой.

Учету влияния дорожных условий на возникновение аварийной ситуации, приводящей к дорожно-транспортным происшествиям, уделяется недостаточно внимания, хотя дорожные условия прямо или косвенно всегда сопряжены с возникновением аварийной ситуации.

Участок дороги автомобильной и улицы обладает определенными транспортно-эксплуатационными параметрами и показателями. Одни из них оказывают наибольшее влияние на возникновение дорожно-транспортных происшествий, другие – меньшее влияние. В результате ранжирования элементов дороги на аварийность уста-

---

<sup>5</sup> **Профиль шероховатой поверхности дорожного покрытия** – это линия пересечения реальной поверхности дорожного покрытия вертикальной плоскостью. Под **реальной поверхностью дорожного покрытия** понимают поверхность, которая отделяет шероховатую поверхность дорожного покрытия от окружающей среды. Под **параметрами профиля шероховатой поверхности дорожного покрытия** понимают высоту выступа или глубину впадины, расстояние между выступами, угол при вершине выступа, радиус окатанности выступа.

новлено, что коэффициент сцепления пневматической шины транспортного средства с поверхностью дорожного покрытия оказывает наибольшее влияние на возникновение дорожно-транспортного происшествия после ширины полосы движения и состояния видимости [1, с.176].

Коэффициент сцепления поверхности дорожного покрытия является интегрирующим параметром, характеризующим сцепные качества дорожного покрытия, который зависит от шероховатости поверхности и уровня увлажнения.

Значение коэффициента сцепления определяется в основном параметрами профиля шероховатой поверхности дорожного покрытия, продолжительность сохранения которых в процессе эксплуатации зависит от сопротивления истиранию каменных материалов. При движении транспортных средств по проезжей части дороги в зоне контакта беговой дорожки протектора пневматической шины транспортного средства с опорной поверхностью возникают касательные сдвигающие и удерживающие силы, под действием которых происходит истирание и полирование выступов шероховатой поверхности дорожного покрытия. В результате истирания и полировки высота выступов уменьшается, угол при вершине выступа приобретает окатанность определенного радиуса, происходит изменение профиля шероховатой поверхности дорожного покрытия, а поверхность дорожного покрытия становится скользкой, а затем и гладкой. Этот процесс происходит быстрее на полосах наката, что влияет на изменение коэффициента сцепления по ширине проезжей части.

На поверхности дорожного покрытия имеются локальные места (например: места ямочного ремонта асфальтобетонного покрытия, выпотевание битума, разметка и др.), которые отличаются параметрами профиля шероховатой поверхности дорожного покрытия в продольном и поперечном направлениях. Наличие таких участков на поверхности дорожного покрытия проезжей части дороги представляет для водителя опасность для движения, поскольку ограничение скорости на таких участках отсутствует, а водитель не имеет информации на щитке приборов транспортного средства о величине коэффициента сцепления и визуально их не может определить. Наибольшую опасность для движения такие участки представляют в период выпадения дождя при мокром состоянии покрытия.

В действующих нормативных документах Республики Беларусь отсутствуют требования к параметрам профиля шероховатой поверхности дорожного покрытия [2, 3]. Приборы по измерению параметров профиля шероховатой поверхности дорожного покрытия отсутствуют. Влияние средней высоты выступа шероховатой поверхности дорожного покрытия на коэффициент сцепления изучен, а влияние остальных параметров профиля шероховатой поверхности дорожного покрытия на коэффициент сцепления ждет своего изучения.

Наличие дешевых и простых приборов по измерению и фиксации параметров профиля шероховатой поверхности дорожного покрытия у дорожно-эксплуатационных организаций позволит оперативно и самостоятельно получать, и контролировать параметры профиля шероховатой поверхности дорожного покрытия, обоснованно вводить ограничение скорости движения, что относится к конкретным мерам по повышению безопасности дорожного движения. Кроме того, измерение, фиксирование и визуализация параметров профиля шероховатой поверхности дорожного покрытия по следам скольжения, качения или торможения колес транспортного средства на месте дорожно-транспортного происшествия необходимо для нужд органов уголовного преследования, правосудия и экспертов дорожно-транспортных происшествий. Визуализация состояния поверхности дорожного покрытия и параметров профиля шероховатой поверхности дорожного покрытия в месте и сразу после ДТП имеет большое значение при производстве следственных действий, судебных и криминалистических дорожных экспертиз дорожно-транспортных происшествий как вещественное доказательство о параметрах профиля шероховатой поверхности дорожного покрытия и сцепных качествах дорожного покрытия.

Известны оптические, ультразвуковые, стереографические, контактные и бесконтактные способы измерения параметров профиля шероховатости покрытия [4 – 6]. Одни способы разработаны для нужд машиностроения и их не используют для определения профиля шероховатости дорожного покрытия, другие способы предназначены для измерения ровности поверхности дорожного покрытия. Эти способы не пригодны для измерения параметров профиля шероховатой поверхности дорожного покрытия, а именно измерения угла выступа, радиуса округлости выступа шероховатости и др.

Известны приборы контактного и бесконтактного измерения параметров профиля шероховатости покрытия [4 – 8]. Одни приборы стационарные, разработаны для нужд машиностроения и их не используют для определения параметров профиля шероховатой поверхности дорожного покрытия, другие приборы («песчаное пятно» и ПКШ-4) получили наибольшее распространение в области дорожного строительства. Эти приборы не дают наглядного представления о фактических размерах профиля шероховатой поверхности дорожного покрытия проезжей части дороги в месте следов торможения, качения или юза колеса транспортного средства на месте ДТП. Они сужают диапазон и снижают точность при измерении параметров профиля шероховатой поверхности дорожного покрытия (расстояние между выступами шероховатости, глубина впадин, высота выступа, угол выступа, радиус округлости выступа). Эти приборы не позволяют повысить точность измерения параметров профиля шероховатой поверхности дорожного покрытия, например по увеличенному изображению регистратора.

Автором предложено устройство и способ по определению параметров профиля шероховатой поверхности дорожного покрытия для нужд судебной и криминалистической дорожной экспертизы дорожно-транспортных происшествий. Заявка на изобретение зарегистрирована под №20060175, по которой получено положительное решение Национального центра интеллектуальной собственности Государственного комитета по науке и технологиям Республике Беларусь от 26 апреля 2010 года о выдаче патента на изобретение.

Предлагаемое устройство для определения профиля шероховатой поверхности дорожного покрытия на месте дорожно-транспортного происшествия, содержит:

- дорожный курвиметр, включающий два мерных колеса окружностью один метр, которые насажены на ось длиной, необходимой для размещения рефлектора длиной 30 см;
- рефлектор длиной 30 см с размещенным в нем источником света с отражателем и конденсатором, обеспечивающим плоский световой поток шириной до 0,5 мм;
- ручку и площадку, прикрепленные к оси, которые необходимы для перемещения по поверхности дорожного покрытия

курвиметра и размещения источника электроэнергии и регистратора, счетчика пройденного пути с электронным приводом;

- опоры, прикрепленные к оси, с размещенным на них устройством, обеспечивающим опускание и подъем рефлектора;
- мерные миллиметровые линейки, размещенные на опорах и снаружи рефлектора;
- уровень с механизмом определения наклона поверхности дорожного покрытия к горизонту, размещаемый в створ измерения в месте дорожно-транспортного происшествия.

Счетчик пройденного пути и уровень с механизмом определения наклона расположены в вертикальной плоскости и в зоне световой полосы и мерных миллиметровых линеек для одновременной фиксации их показаний на одном цифровом фотоснимке регистратором в виде цифрового фотоаппарата.

Использование для регистрации цифрового фотоаппарата с фотовспышкой позволяет измерить шероховатость дорожного покрытия в темное время суток. Фотоснимок дает наглядное представление о фактических размерах профиля шероховатой поверхности дорожного покрытия.

Предложенное устройство по определению параметров профиля шероховатой поверхности дорожного покрытия используют следующим образом. Устанавливают устройство в створ километрового столба и сбрасывают показания счетчика пройденного пути на ноль. После чего катят устройство по поверхности дорожного покрытия вдоль кромки проезжей части до створа измерения в месте дорожно-транспортного происшествия и считывают показания по счетчику пройденного пути. Затем опускают рефлектор на поверхность дорожного покрытия и измеряют поперечный уклон поверхности дорожного покрытия к горизонту при помощи уровня с механизмом определения наклона. Далее включают источник света и снимают цифровым фотоаппаратом в месте световой полосы одним снимком изображение поверхности дорожного покрытия, световой полосы, низа рефлектора, мерных миллиметровых линеек, счетчика пройденного пути и уровня с механизмом определения наклона. Затем по увеличенному на компьютере фотоснимку измеряют высоту шероховатой поверхности дорожного покрытия, глубину впадины шероховатой поверхности дорожного покрытия,

расстояние между выступами шероховатой поверхности дорожного покрытия, радиус округлости выступа шероховатой поверхности дорожного покрытия, угол между выступами шероховатой поверхности дорожного покрытия.

Адресную привязку створа измерения, наклона поверхности дорожного покрытия к горизонту и профиля шероховатой поверхности выполняют на компьютере по 10-кратному увеличенному цифровому изображению, который позволяет видеть показания счетчика, индикатора уклона и измерять профиль шероховатой поверхности дорожного покрытия. Расстояния между выступами, высоту выступа, глубину впадины и радиус округленности выступа измеряют с точностью до 0,1 мм. Углы выступов измеряют с точностью до 1 градуса.

Повышение точности и расширения диапазона по измерению характеристик профиля шероховатой поверхности проезжей части дороги достигается в результате одновременного одинакового увеличения мерных линеек и профиля шероховатой поверхности дорожного покрытия проезжей части дороги.

### **Литература**

1. Селюков, Д.Д. Судебная автодорожная экспертиза дорожно-транспортных происшествий / Д.Д. Селюков. – Минск: Харвест, 2005. – 416 с.
2. Автомобильные дороги. Нормы проектирования: ТКП 45-3.03-19-2006. – Минск: Минстройархитектура, 2006. – 47 с.
3. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения: СТБ 1291–2007. – Минск: Госстандарт, 2008. – 25 с.
4. Немчинов, М.В. Сцепные качества дорожных покрытий и безопасность движения автомобилей / М.В. Немчинов. – М.: Транспорт, 1985. – С. 216 – 224.
5. Селюков, Д.Д. Судебная автодорожная экспертиза дорожно-транспортных происшествий / Д.Д. Селюков. – Минск: Харвест, 2005. – С. 157 – 160, 236 – 239.
6. Селюков, Д.Д. Способ определения неровностей дорожного покрытия и устройство для его осуществления / Д.Д. Селюков. – Авторское свидетельство СССР № 1518422, кл. E01C 23/07, 1986.

7. Клюев, В.В. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. / под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1986. – Кн. 1.

8. Васильев, А.П. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения / А.П. Васильев, В.М. Сиденко. – М.: Транспорт, 1990 .

УДК 691.004.18

**ТОЧНОСТЬ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ  
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАННОГО ВЫСОТНОГО  
ПОЛОЖЕНИЯ ОСНОВАНИЙ И ПОКРЫТИЙ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

**Столбов Ю.В., д-р техн. наук, профессор,  
Столбова С.Ю., канд. техн. наук, доцент,  
Нагаев Д.О.**

*Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия  
(СибАДИ, Российская Федерация)*

Одним из основных показателей качества строительства автомобильных дорог является точность высотного положения поверхностей их оснований и покрытий.

Показатели точности устройства слоев оснований и покрытий автомобильных дорог изложены в СНиП 3.06.03–85 [1].

В этом нормативном документе при приемке выполненных работ по устройству верхних слоев покрытий рекомендуется определение полученных вертикальных отметок (амплитуд) путем нивелирования с шагом 5 м.

В то же время в п.14.5 СНиП 3.06.03–85 приведены допускаемые отклонения амплитуд значений вертикальных отметок при нивелировании их с шагом 5, 10 и 20 м (таблица 1).

Таблица 1

Допускаемые значения амплитуд вертикальных отметок  
поверхностей оснований и покрытий

Категория дороги	Значения амплитуд, мм, при использовании комплектов машин					
	Без автоматической системы задания вертикальных отметок			С автоматической системой задания вертикальных отметок		
	Расстояние между точками, м					
	5	10	20	5	10	20
I, II, III	7	12	24	5	8	16
IV, V, I-с, II-с и внутренние дороги промышленных предприятий	10	16	-	-	-	-

Там же отмечено, что 90 % определений должны быть в пределах указанных в табл.1, а 10 % определений не должны превышать эти значения более чем в 1,5 раза.

Пояснений о применении шага (расстояний между точками) при определении вертикальных отметок оснований и нижних слоев покрытий в [1] нет.

На точность высотного положения слоев оснований и покрытий оказывают влияние погрешности разбивочных и строительных работ.

Среднеквадратическая погрешность процесса по устройству оснований и покрытий  $m_H$  может быть определена по выражению:

$$m_H = \sqrt{(m_T)^2 + (m_C)^2}, \quad (1)$$

где  $m_C$  – среднеквадратическая погрешность строительных работ;

$m_T$  – среднеквадратическая погрешность геодезических работ.

В СНиП 3.06.03–85 приведены допустимые отклонения при приемке завершеного процесса на устройство слоев оснований и покрытий

без разграничения их на строительные и разбивочные работы.

Для определения допусков на разбивочные работы и геодезический контроль в процессе строительства слоев оснований и покрытий предлагается метод расчета с учетом точности технологического процесса  $T_{\Pi}$  их устройства, определяемого по выражению

$$T_{\Pi} = \frac{\delta_{\text{Н}}}{m_{\Gamma}}, \quad (2)$$

где  $\delta_{\text{Н}}$  – допускаемые отклонения амплитуд от нормируемых в СНиП 3.06.03–85;

$m_{\Gamma}$  – фактическая среднеквадратическая погрешность технологического процесса устройства слоев оснований и покрытий.

В работе [2] приведены следующие нормы точности на геодезические работы (разбивку и контроль в процессе строительства) в зависимости от  $T_{\Pi}$ :

$$\begin{aligned} \text{при } T_{\Pi} = 1 & \quad \delta_{\Gamma} = 0,45 \cdot \delta_{\text{Н}}; \\ \text{при } T_{\Pi} = 1,5 & \quad \delta_{\Gamma} = 0,55 \cdot \delta_{\text{Н}}; \\ \text{при } T_{\Pi} = 2 & \quad \delta_{\Gamma} = 0,9 \cdot \delta_{\text{Н}}; \\ \text{при } T_{\Pi} = 2,5 - 3 & \quad \delta_{\Gamma} = \delta_{\text{Н}}. \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\delta_{\Gamma}$  – предельная погрешность на геодезические работы.

При нормировании точности геодезических и строительных работ необходимо учитывать доверительную вероятность обеспечения высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог [3].

Согласно п.14.5 СНиП 3.06.03-85, при переходе от предельных к среднеквадратическим погрешностям следует принимать доверительную вероятность  $P = 0,9$ . Согласно же обязательному приложению 2, при оценке качества работ на «хорошо» следует принимать  $P = 0,9$ , а при оценке на «отлично» –  $P = 0,95$ . Поэтому приведем пример расчета допусков на геодезические и строительные работы с учетом точности технологических процессов устройства оснований и покрытий  $T_{\Pi}$ , шагов нивелирования (5, 10 и 20 м) и доверительных вероятностей ( $P = 0,9$  и  $P = 0,95$ ) определения амплитуд вертикальных отметок.

Пример 1.

$T_{\Pi} = 1$ , шаг – 5 м,  $\delta_{\text{H}} = \pm 7$  мм (без автоматической системы задания вертикальных отметок),  $P = 0,9$ , нормируемый множитель при переходе от предельных к среднеквадратическим погрешностям  $t = 1,645$ .

Согласно [2],  $\delta_{\Gamma} = 0,45 \cdot \delta_{\text{H}} = 3,15$  мм, а  $m_{\text{H}} = 7 / 1,645 = 4,26$  мм,  $m_{\Gamma} = 3,15 / 1,645 = 1,91$  мм.

Подставив значения  $m_{\text{H}}$  и  $m_{\Gamma}$  в выражение (1), получим значение  $m_{\text{C}} = 3,81$  мм, предельная погрешность на строительные работы будет равна  $\delta_{\text{C}} = 6,26$  мм.

Подобным образом выполнены расчеты допусков (предельных и среднеквадратических погрешностей) на геодезические и строительные работы при устройстве оснований и покрытий автомобильных дорог при различных коэффициентах точности технологических процессов ( $T_{\Pi} = 1,0; 1,5; 2,0$ ), шаге нивелирования (5, 10, 20 м), доверительных вероятностях определения погрешностей амплитуд вертикальных отметок ( $P = 0,9$  и  $P = 0,95$ ) и результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Нормы точности на геодезические и строительные работы для обеспечения высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог (без автоматической системы задания вертикальных отметок, категорий дорог I, II, III)

№ п/п	Коэффициент точности технологического $T_{\Pi}$ процесса	Шаг нивелирования, м	Нормированное значение амплитуд вертикальных отметок		Допуски на строительные работы		Допуски на геодезические работы	
			$\delta_{Н}$ , мм	$m_{Н}$ , мм	$\delta_{С}$ , мм	$m_{С}$ , мм	$\delta_{Г}$ , мм	$m_{Г}$ , мм
При $P = 0,9$								
1	$T_{\Pi} = 1,0$	5	7	4,26	6,26	3,81	3,15	1,91
	$T_{\Pi} = 1,5$				5,86	3,56	3,85	2,34
	$T_{\Pi} = 2,0$				3,05	1,86	6,30	3,83
2	$T_{\Pi} = 1,0$	10	12	7,29	10,73	6,52	5,40	3,28
	$T_{\Pi} = 1,5$				10,01	6,09	6,60	4,01
	$T_{\Pi} = 2,0$				5,21	3,17	10,80	6,56
3	$T_{\Pi} = 1,0$	20	24	14,59	21,43	13,0	10,80	6,56
	$T_{\Pi} = 1,5$				20,04	3	13,20	8,02
	$T_{\Pi} = 2,0$				10,46	9	21,6	13,13
При $P = 0,95$								
4	$T_{\Pi} = 1,0$	5	7	3,5	6,24	3,12	3,15	1,58
	$T_{\Pi} = 1,5$				5,86	2,93	3,85	1,92
	$T_{\Pi} = 2,0$				3,05	1,52	6,30	3,15
5	$T_{\Pi} = 1,0$	10	12	6,0	10,72	5,36	5,40	2,70
	$T_{\Pi} = 1,5$				10,02	5,01	6,60	3,30
	$T_{\Pi} = 2,0$				5,24	2,62	10,80	5,40
6	$T_{\Pi} = 1,0$	20	24	12,0	21,44	10,7	10,80	5,40
	$T_{\Pi} = 1,5$				20,04	2	13,20	6,60
	$T_{\Pi} = 2,0$				10,46	2	21,60	10,80
					5,23			

Выполненные исследования на кафедре геодезии Сибирской Государственной автомобильно-дорожной академии (СибАДИ) по точности высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог при их устройстве показывают, что нормы, регламентируемые в СНиП 3.06.03-85, не всегда обеспечиваются на практике. Поэтому для обеспечения заданного высотного положения поверхностей слоев оснований и покрытий автомобильных дорог необходимо налаживать технологический процесс по их устройству не по предельным нормируемым допускаемым отклонениям, а по среднеквадратическим погрешностям геодезических и строительных работ с заданной доверительной вероятностью ( $P = 0,9$  или  $P = 0,95$ ).

### Литература

1. Автомобильные дороги: СНиП 3.06.03-85. – Госстрой СССР. – М.ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – С. 106.
2. Столбов, Ю.В. О нормировании точности контрольных измерений при монтаже строительных конструкций / Ю.В. Столбов, В.В. Столбов // Промышленное строительство. – 1978. – № 4. – С. 29–31.
3. Столбов, Ю.В. Назначение точности возведения строительных конструкций с учетом ответственности зданий и сооружений / Ю.В. Столбов, В.В. Столбов // Вестник СибАДИ, вып. 4. 2006. – С. 134–138.

# АНАЛИЗ ЭНЕРГОИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА АБЗ И ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ УДЕЛЬНОГО ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ПРОИЗВОДСТВО ГОРЯЧЕЙ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

**Хрусталеv Б.М., акад. НАН Беларуси, д-р техн. наук, профессор,**  
**Ковалев Я.Н., д-р техн. наук, профессор,**  
**Романюк В.Н., канд. техн. наук, доцент**  
*Белорусский национальный технический университет*  
*(г. Минск, Республика Беларусь)*

На базе эксергетического метода проведен термодинамический анализ двух схем работы сушильно-нагревательного барабана (СНБ) и асфальтобетонных заводов, рис. 1.

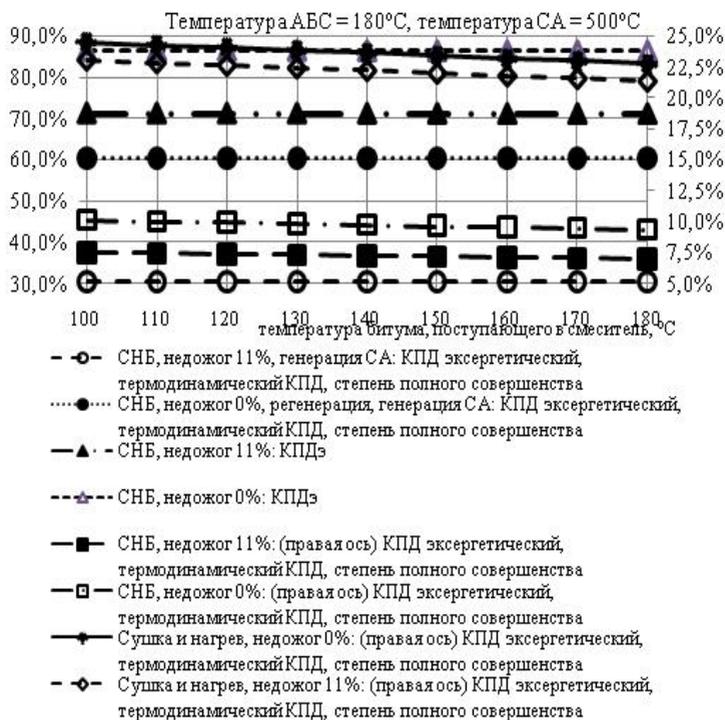


Рис. 1. Изменение относительных энергетических и эксергетических характеристик процесса тепловой обработки минеральных материалов

В первой схеме, результаты анализа которой в том числе приведены на рис. 1, используется традиционная схема потоков в СНБ: противоток, разбавление продуктов сгорания воздухом, факел горения находится внутри объема СНБ. Во второй схеме факел горения вынесен из объема СНБ, а обеспечение требуемой температуры сушильного агента достигается за счет рециркуляции. В обоих случаях окончательная тепловая обработка битума осуществляется непосредственно в смесителе за счет энергии песчано-щебеночной смеси (ПЩС). Изменения работы СНБ по второй схеме по отношению к первой, снижают удельное потребление энергии на АБЗ на 16 %. Базируются эти мероприятия на принципах первого закона термодинамики, предписывающие подавление рассеяния энергии, и относятся к малозатратному этапу снижения энергопотребления, возможности которого на данный момент практически исчерпаны. Уменьшение удельного расхода топлива на 16 % вполне приемлемо, но следует подчеркнуть, что подобные результаты не отвечают требованиям, поставленным руководством страны о снижении энергоемкости ВВП Республики Беларусь в два раза.

Анализ эксергетических характеристик (рис. 1) приводит к выводу о необходимости повышения качества энергопотребления, поскольку эксергетический КПД в обеих схемах оказывается невысок и с его повышением связана дальнейшая реализация имеющихся резервов. Энергосберегающий потенциал теплотехнологии АБС в настоящее время превышает 50 %. Для его реализации необходим переход ко второму, затратному этапу модернизации энергообеспечения, базирующемуся на принципах второго закона термодинамики, согласно которым требуется обеспечить подавление потерь эксергии. В этом случае изменяется качество энергоиспользования и, как следствие, снижается удельное энергопотребление на АБЗ до теоретического минимума. Речь идет, в первую очередь, о подавлении внутренних потерь эксергии, поскольку внешние потери связаны с потоками рассеяния энергии и блокируются на первом этапе модернизации энергоиспользования. Подавление внутренних потерь эксергии обеспечивается комплексом мероприятий, среди которых в настоящее время получает наибольшее распространение интеграция в структуру АБЗ газовых тепловых двигателей внутреннего сгорания, рис. 2.

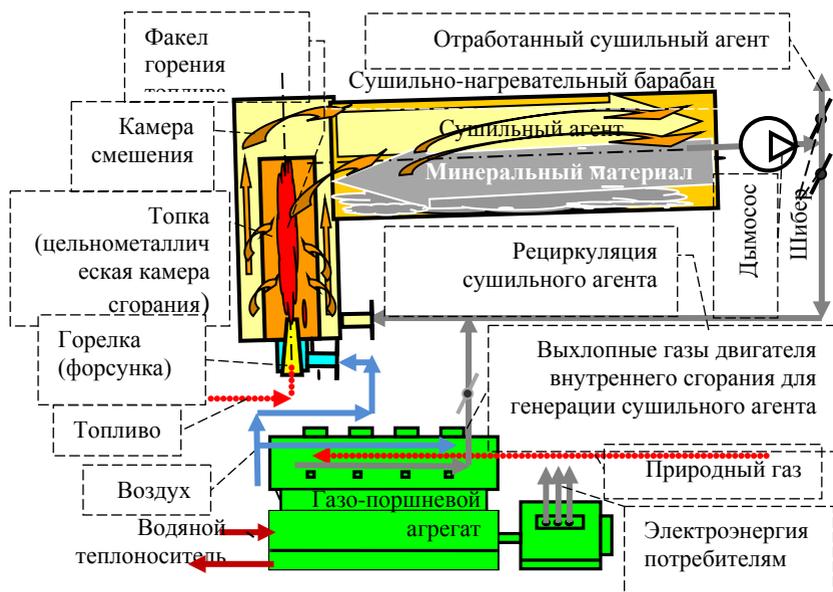


Рис. 2. Схема комплекса для комбинированной выработки энергопотоков на базе теплотехнологии горячей АБС, образованная в результате сопряжения двигателя внутреннего сгорания и СНБ

Экономическая целесообразность перехода к современному когенерационному технологическому энергообеспечению на АБЗ не достигается, что связано со спецификой их работы: только в течение светового времени суток и только в весенне-осенний период. Однако, эта же особенность раскрывает новые возможности для реализации важнейшего системного эффекта, реализуемого при совместном производстве продукции на указанных когенерационных комплексах асфальтобетонных заводов: асфальтобетонной смеси для системы Департамента «Белавтодор» и электроэнергии для Минэнерго. Оказывается чрезвычайно выгодно использовать будущие когенерационные энерготехнологические комплексы АБЗ подобным образом, суммарная электрическая мощность которых оценивается до 1 ГВт, для обеспечения графиков электрических нагрузок энергосистемы Беларуси. Когенерационные комплексы АБЗ будут работать только в часы максимальной нагрузки энергосистемы, существенно снижая пиковую нагрузку на централизованные мощности последней. При этом обеспечивается требуемое удельное снижение

расхода топлива на АБЗ, которое достигает теоретически требуемых значений, рис.3.

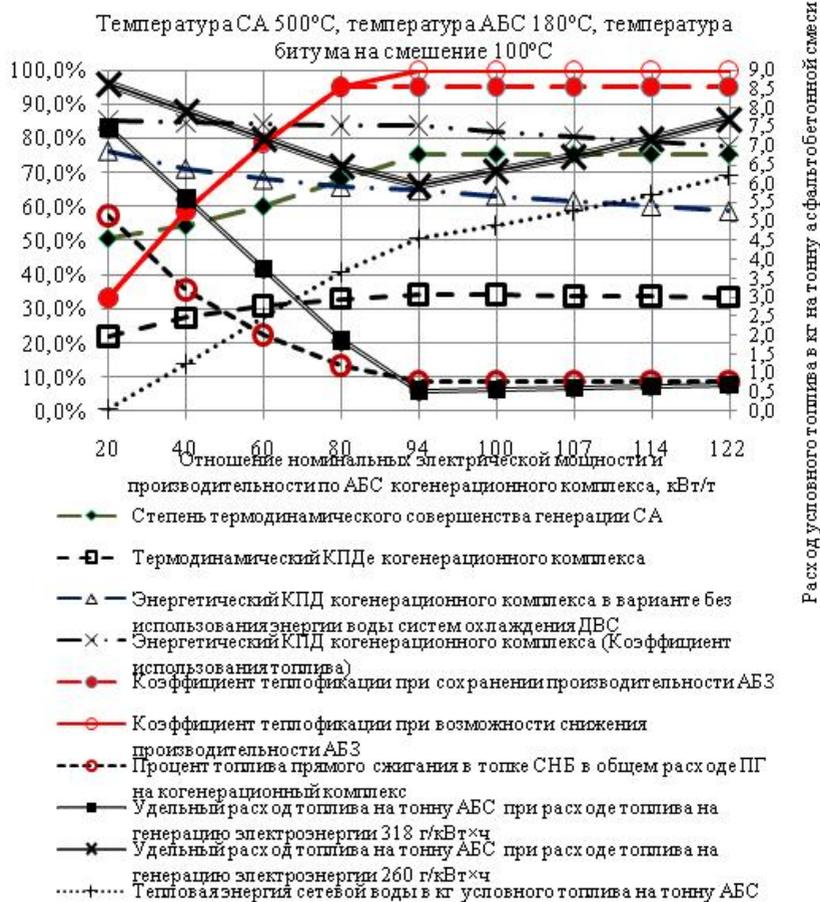


Рис. 3. Влияние электрической мощности когенерационного комплекса на базе тепловых нагрузок подготовительного производства на его относительные энергетические характеристики

В зимний период, когда АБЗ не работают, когенерационные комплексы, имеющие контейнерное исполнение, перемещаются на отопительные котельные энергосистемы и далее обеспечивают генерацию в пиковый и полупиковый периоды суточного графика потребления электроэнергии, чем обеспечивается экономическая

целесообразность использования основного оборудования когенерационных комплексов. Строительство и эксплуатация когенерационных комплексов обеспечивает Минэнерго, располагающее для этого всем необходимым. АБЗ обеспечивают тепловую нагрузку в неотапительный период и получают электроэнергию и тепловую энергию по себестоимости ее производства самым дешевым комбинированным способом. 90 % генерируемой электроэнергии оказываются невостребованными на АБЗ и их Минэнерго получает в свое распоряжение. Кроме того, для Минэнерго через 4 года, требуемые для возврата вложений в создание указанных генерирующих мощностей, высвобождаются большие инвестиционные средства, чего нет в большинстве альтернативных вариантах решения проблемы пиковых нагрузок энергосистемы.

Предлагаемая совместная деятельность обеспечивает финансовую выгоду Департаменту «Белавтодор» и Минэнерго и снижает годовую потребность Республики Беларусь в условном топливе на 0,7–1,2 млн т. Анализ экономической эффективности проекта показал наличие его доходности при величинах ставки дисконтирования до 40 %, рис. 4.

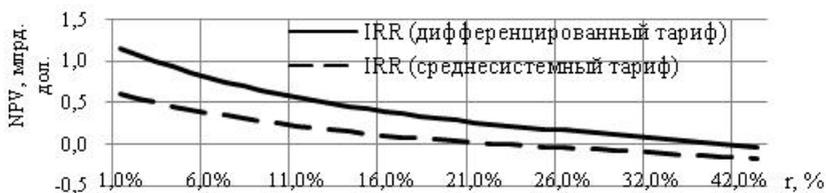


Рис. 4. Зависимость значения чистого приведенного дохода от ставки дисконтирования (r) при постоянном макроэкономическом окружении и 2 вариантах тарифа на электроэнергию, не зависящем и зависящем от времени потребления в течение суток (горизонт расчета 10 лет)

Безусловно, требуется разработка математической модели и углубление анализа, опытная эксплуатация для нескольких АБЗ. Вместе с тем, все технические решения апробированы в аналогичных условиях. Пример АБЗ особенно выразительно показывает необходимость системного подхода к выявлению и реализации

максимально полного энергосберегающего потенциала производства.

УДК 625.7

## **К ВОПРОСУ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ РАЗВЯЗОК**

**Хомяк А.Я., канд. техн. наук, доцент,  
Татарченко С.В.**

*Национальный транспортный университет  
(г. Киев, Украина)*

Рост городов, процессы глобализации и автомобилизации значительно изменяют условия движения как на дорогах общего пользования, так и на улично-дорожной сети городов. Загруженность дорог и улиц транспортом снижает эффективность его использования и заставляет искать пути повышения пропускной способности транспортных артерий.

По данным Киевской горадминистрации, ежедневно в столице и подъездах к ней наблюдается до 80 заторов и «тянучек». Согласно подсчетам специалистов Национального транспортного университета Украины, киевские автомобилисты ежегодно проводят в пробках по 45 дней. Специалисты Московского автомобильно-дорожного института подсчитали, что один автомобиле-час в Москве стоит \$5. «Если машина простояла в пробке 1 час, то ущерб ВВП страны составляет \$5», — объясняет суть показателя профессор МАДИ Евгений Лобанов [1]. Исходя из московских почасовых экономических потерь, Киев ежегодно теряет на пробках \$9 млрд.

По данным ГП «Укргипродор» ежедневно в направлении Киева и в обратном направлении проезжают: по Черниговской трассе – 18,2 тыс. автомобилей, по Ковельской – 12,6 тыс. автомобилей, по Чёпской – 18 тыс. автомобилей, по Одесской трассе – 19,4 тыс. автомобилей, по Днепропетровской – 8 тыс. автомобилей. До 2020 года за сутки в Киев и в обратном направлении будут проезжать: по Черниговской трассе – 43,5 тыс. автомобилей, по Ковельской – 46,9 тыс. автомобилей, по Чопской – 67,2 тыс. автомобилей, по Одесской

трассе – 72,4 тыс. автомобилей, по Днепропетровской – 41,6 тыс. автомобилей.

Одна из причин переагруженности существующей дорожной сети – высокие темпы прироста количества автомобилей, в частности, в городах. Например, в Киеве, с начала года количество зарегистрированных в ГАИ автомобилей увеличились на 30 тыс. По данным главного управления МЧС Киева, общее количество автомобилей в Киеве достигает 1,5 млн: 800 тыс. зарегистрированных автомобилей и около 400 – 500 тыс. транзитных. При этом на дороги в Киеве приходится лишь 2 % общей площади города. Для сравнения: в Москве дороги занимают 7 % площадей города, в Мадриде – 17 %, в Лондоне и Нью-Йорке – 20 % [1].

Одной из причин осложнения условий движения транспортных средств, вплоть до остановки и простоя в «пробках», есть недостаточная пропускная способность дорог и улично-дорожных сетей. Эффективным решением проблемы является устройство транспортных развязок.

Пересечение автомобильных дорог в разных уровнях решается в зависимости от значения пересекающихся дорог, интенсивности движения на них и распределения потоков движения на пересечении. Для выбора схемы пересечения должна быть известна эпюра распределения потоков движения [2].

Причина постоянных пробок, точнее одна из главных причин, совсем не большое количество транспорта, как кажется на первый взгляд, а неправильно запроектированные развязки. Анализ уже существующих транспортных развязок показал, что большинство отечественных развязок построено по проектам, которые составлены по принципу формального соответствия основных геометрических параметров ограниченным и несовершенным требованиям действующих норм без должного функционального анализа принимаемых решений. Функциональная проработка проектов некоторых развязок является редким исключением и не предусмотрена применяемыми в странах СНГ правилами их формального проектирования. Построенные по этим проектам развязки представляют собой примеры простой геометризации принципиальных схем организации движения с соблюдением числа и ширины полос, продольных и поперечных уклонов, радиусов в плане и в продольном профиле [3].

Преимущественно, существующие развязки запроектированы в виде клеверного листа, что не устраняет конфликтных точек, возникающих при взаимном пересечении транспортных потоков.

Дорожная развязка по своей сути должна потоки разводить. Если она не выполняет эту функцию, при загрузке движением возникают очереди: при въезде на съезды, выезде со съездов на основные направления движения и пр. Тогда имеем ситуацию, аналогичную той, которая показана на рис. 1.



Рис. 1. Развязка «клеверный лист»

Пересекающиеся потоки занимают не одну полосу, а две, а в некоторых случаях и три. Все это – дополнительные заторы даже не на перегруженной дороге. А в загруженный день пробка создается автоматически.

Единственный плюс таких развязок, типа «клеверный лист» – удобная возможность разворота. Но и разворот должен быть автономным, а не встроенным в имеющиеся развязки. Ведь машины, которым нужно просто развернуться, создают дополнительную загрузку.

Значительное снижение пропускной способности наблюдается на участках слияния и пересечения транспортных потоков. Пропускная способность съездов снижается из-за недостаточной плавности

участков входа и выхода, недостаточной ширины проезжей части, радиусов закруглений и высокой интенсивности движения в главном направлении.

При максимальной интенсивности движения на внешней полосе автомагистрали справа заезд теоретически невозможен, и на съезде возникают очереди автомобилей, которые образуют заторы как на съезде, так и на основной дороге. В другом случае, когда интенсивность движения по полосе справа на основной дороге равна нулю, то количество автомобилей, которые выезжают на нее, зависит лишь от пропускной способности полос движения съезда.

Вопрос проектирования съездов на транспортных развязках изучен недостаточно и нуждается в уточнениях. В частности, до сих пор не изучен и важен вопрос относительно определения оптимального количества полос движения на съездах и организации свободного выезда из съезда, ведь от этого зависит пропускная способность всего узла.

В связи с тем, что нормы и методы проектирования транспортных развязок основываются на данных о составе потока и интенсивности движения 60-х годов XX века, опыт проектирования в условиях плотных транспортных потоков недостаточен и малоизучен. В нормативной литературе рекомендации даны, в основном, для невысоких интенсивностей движения и состава потока со значительным процентом грузовых автомобилей, в результате чего в современных условиях получается ошибочная оценка пропускной способности.

Использование опыта зарубежных стран требует адаптации к нашим дорожным условиям и составу транспортного потока.

Существует необходимость разработки новых современных научных методик и проверки существующих теоретических и практических решений (в том числе, и зарубежных) на основе изучения реальных режимов движения. К изучению движения на дороге следует подходить как к движению не отдельных машин, а целых групп, которое отличается от поведения одного водителя. Объединение результатов этих исследований и классических подходов моделирования транспортных потоков может стать эффективным для понимания того, как можно ликвидировать заторы и разработать новые подходы к управлению транспортными потоками.

Также необходимо принимать во внимание влияние заторов на автомобильных дорогах на экологию окружающей среды. Киев в международном рейтинге занимает 29 место по загрязнению. Общий уровень загрязнения воздуха в Киеве – выше среднего по Украине и оценивается специалистами как высокий. Главным загрязнителем воздуха, по данным департамента экологического контроля Министерства охраны окружающей среды Украины, являются автомобили. В Киеве выбросы автомобильного транспорта составляют 83,4 % всех вредных выбросов в атмосферу [4]. Выхлопные газы автомобилей особенно опасны для здоровья, их выбросы осуществляются в непосредственной близости от тротуаров в зоне активного пешеходного движения. Снижение времени простоев автомобилей в заторах уменьшит количество выбросов вредных веществ в окружающую среду.

### **Заключение**

Разработка качественно нового подхода к практике проектирования и строительства развязок требует решения упомянутых выше проблем и, соответственно, совершенствования норм и методологии проектирования.

### **Литература**

1. «Все о проблеме пробок в столице» <http://kontrakty.ua/stati/avtoklub/523>
2. Бируля, А.К. Проектирование автомобильных дорог. Часть 2 / А.К. Бируля. – М., 1954.
3. Величко, Г.Д. Клеверный лист / Г.Д. Величко // Информационно-аналитический журнал «Автомобильные дороги». – 2009. – № 9.
4. «Экология Киева» – <http://www.vitamarg.com/eco/article/424-ecologiy-kieva>

## К ВОПРОСУ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДОРОЖНЫХ СЕТЕЙ

Хомяк А.Я., канд. техн. наук, доцент,  
Татарченко С.В.

*Национальный транспортный университет  
(г. Киев, Украина)*

### **Введение**

Транспорт – одна из важнейших отраслей материального производства, которое осуществляет перевозки пассажиров и грузов. Транспорт как отрасль народного хозяйства характеризуется тем, что в процессе его деятельности непосредственно не создается конечный продукт. Его продукция – это транспортные услуги (перемещения в пространстве и во времени пассажиров и грузов. Сегодня, в условиях все возрастающих потребностей в перевозках и в рыночных условиях к транспортной системе предъявляются высокие требования относительно качества, регулярности и надежности транспортных связей.

### **Особенности проектирования**

При осуществлении перевозок основное задание заключается в ускорении доставки грузов и пассажиров на основе существенного снижения себестоимости и повышения производительности труда. Автомобильный транспорт занимает значительное место в пассажирских и грузовых перевозках. Так, по объему перевозок грузов он стабильно превышает железнодорожный транспорт в 4,5–5 раз, а по объему перевозок пассажиров — в 5–6 раз. Автобусным транспортом перевозится практически столько же пассажиров, сколько всеми другими видами транспорта (троллейбусным, трамвайным, железнодорожным, метрополитенным, таксомоторным, легковым, морским, речным, авиационным) вместе взятыми. Общая длина дорог и улиц с твердым покрытием, включая длину улиц-набережных в городах и поселках городского типа, превышает четверть миллиона километров. Автомобильный транспорт доминирует в грузовых перевозках на короткие расстояния (среднее расстояние перевозки

грузов приблизительно 20 км), от дверей – до дверей, обеспечивая при этом практически полную гарантию сохранения груза, срочность и надежность перевозок.

Одним из важных факторов, который определяет производительность труда и себестоимость перевозок на автомобильном транспорте, является оптимальная сеть автомобильных дорог.

Сеть автомобильных дорог – это совокупность всех дорог, которые обслуживают сферы хозяйственной и общественной деятельности на территории страны. Поиск путей повышения производительности и снижения себестоимости на автомобильном транспорте нуждается в анализе размещения и состояния сети дорог. Вопрос о рациональном размещении дорог волновал специалистов давно. Решением проблемы проектирования сетей автомобильных занимались такие ученые как Я.В. Хомяк, И.А. Романенко, И.Э. Линник, Б.А. Волков, Э.В. Гаврилов, С.Л. Игнатов и другие [1–4].

И.А. Романенко предлагал принципиальную схему развития сети основных автомобильных дорог. Принципиальная схема сети дорог – это такая система развития взаимно увязываемых условно прямолинейно направленных дорог, при которой сумма прямых и дополнительных затрат рабочего времени на перевозку не превышает общественно необходимых. В качестве критерия для построения сети автомобильных дорог предлагались затраты рабочего времени на перевозки. Наиболее существенным в этом методе является этап построения верного размещения узлов дорожных разветвлений, в результате чего предполагалось исключать неоправданные потери рабочего времени на перевозки.

Критерием для проектирования оптимальной сети дорог, который предложен Я.В. Хомяком, является минимум дорожно-транспортных затрат. Задача о размещении дорог решается путем отбора в сеть таких дорог, которые, соединив между собой все корреспондирующие точки, обеспечили бы реализацию транспортных связей при наименьших дорожно-транспортных затратах. Этот метод является алгоритмическим, что позволило создать программу для соответствующих расчетов при проектировании оптимальных и рациональных сетей автомобильных дорог. Даная методика заложена в основу проектирования дорожной сети как Украины, так и других стран.

Работы, которые выполнялись позже, связаны со стремлением усовершенствования ранее разработанных методов проектирования дорожных сетей, однако практического применения они не получили.

Дорожная сеть находится в постоянном развитии, и должна проектироваться с учетом тех новых реалий, которые связаны с динамикой роста интенсивностей движения, изменением скоростного режима движения, непрерывного изменения состава движения транспортных средств.

При проектировании сети должно быть обеспечено наиболее рациональное сочетание капиталовложений и транспортно-эксплуатационных затрат.

Сегодня при проектировании дорожных сетей нельзя не учитывать стоимость отвода земель, приходится решать вопросы собственности.

Выгодное геополитическое расположение на пути основных транзитных потоков между Европой и Азией автоматически делает Украину транзитным государством. По территории государства проходят транспортные коридоры. Их наличие и развитие налагает особые требования к функционированию дорожной сети.

Основные требования к дорожной сети со стороны автомобильного транспорта сводятся к недостаточной ее протяженности, неравномерному размещению, а также недостаточно удовлетворительному транспортно – эксплуатационному показателю. Это качественная сторона вопроса. Эффективное решение проблемы нуждается и в количественном выражении потребностей автомобильного транспорта: сколько и в какие сроки нужно построить или реконструировать дорог, где их нужно строить и которые должны быть их транспортно эксплуатационные показатели.

Экономическая составляющая проектирования дорожных сетей заключается в определении всех видов расходов, которые влечет изменение конфигурации и технико-эксплуатационных характеристик сети. К таким расходам принадлежит стоимость отведения земли, затраты на строительство и содержание дорог в зависимости от их категории, скорости и интенсивности движения, природных условий, учета требований охраны окружающей среды.

## **Заключение**

Существующие методы проектирования дорожных сетей требуют совершенствования в связи как с постоянно возрастающими потребностями в безопасных и комфортных перевозках, так и с изменившимися дорожно-транспортными условиями.

## **Литература**

5. Линник, И.Э. Критерии оптимизации транспортных сетей города / И.Э. Линник, Э.В. Гаврилов // «Коммунальное хозяйство городов № 63». – 2005 г.

6. Рекомендации по проектированию сети автомобильных дорог областного и местного значения. – М., 1970 г.

7. Романенко, И.А. Техничко-экономические основы проектирования сетей автомобильных дорог: учеб. пособие для вузов / И.А. Романенко. – 2-е изд. – М., 1975 – 267 с.

8. Хомяк, Я.В. Проектирование оптимальных сетей автомобильных дорог / Я.В. Хомяк. – М., 1969 – 144 с.

УДК 535.31

## **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ, РЕКОНСТРУКЦИИ, РЕМОНТЕ И СОДЕРЖАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

**Шумчик В.К., канд. техн. наук,  
Кравченко С.Е., канд. техн. наук, доцент**

*Государственное предприятие «БелдорНИИ»,  
Белорусский национальный технический университет  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

### **Введение**

Целью государственной экономической политики нашей Республики является перевод экономики на инновационный путь развития. В условиях глобального дефицита сырьевых и энергетических ресурсов альтернативы инновационной экономике нет. Этому направлению в своей деятельности следует и дорожное хозяйство

Республики Беларусь. Одним из главных приоритетов Департамент «Белавтодор» определил разработку и применение технологий и материалов, призванных обеспечить качество дорожно-строительных работ при оптимальных энерго- и ресурсозатратах, и возможность применения альтернативных материалов при условии обеспечения транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильных дорог и мостов. Если проанализировать дорожное хозяйство в плане применения новых материалов, механизмов и технологий, то его можно представить следующим образом.

### **Инновационные технологии при сооружении земляного полотна**

Одной из важнейших проблем при сооружении земляного полотна является обеспечение требуемой степени уплотнения слагающих его грунтов, что может быть реализовано лишь при наличии соответствующей грунтоуплотняющей техники. За рубежом для уплотнения грунтов применяют катки массой 25–30 т. В то время как наши подрядчики еще работают катками массой 14–15 т. Как выход из существующей ситуации при уплотнении земляного полотна широко используются вибрационные катки массой 12–18 т, позволяющие уплотнять слои толщиной до 60–70 см.

Значительное внимание при сооружении земляного полотна уделяется вопросам снижения затрат при практической реализации этого процесса. Можно предложить два пути решения этой задачи:

- технологический, заключающийся в применении транспортных средств большой грузоподъемности и уплотняющих средств с большей нагрузкой воздействия на уплотняемый грунт;

- конструктивный – применение проектных решений при устройстве земляного полотна, обеспечивающих уменьшения объемов земляных работ и дальности возки грунтов. К таковым можно отнести: уход от преимущественного прохождения дороги в насыпи; отказ от строительства развязок с прохождением дороги высшей категории поверху. Такая схема должна применяться только на пересечениях с железными дорогами и водными преградами. Во всех остальных случаях пересечения должны быть организованы с прохождением второстепенных дорог над дорогие основные хода. Это позволит снизить не только объемы земляных работ, но и затраты на строительство путепроводов. Уменьшить объемы земляных работ можно и снизив рабочие отметки насыпей, используя при этом

в конструкции земляного полотна влагопрерывающие и дренирующие прослойки из геосинтетических материалов. При проектировании земляного полотна на обходах населенных пунктов вблизи жилой застройки преимущество отдавать прохождению дороги в выемке, что, кроме дополнительного резерва грунта, обеспечит и улучшение акустической обстановки в жилой застройке и не потребует строительства дорогостоящих шумозащитных экранов.

Для снижения затрат на выполнение системы водоотвода, укрепительных работ на конусах и откосах насыпей подходов широко используются геосинтетические материалы в виде пространственных и плоских георешеток и геосеток, геотекстильных полотен, в том числе с семенами трав.

### **Иновационные технологии при устройстве оснований**

Программой «Дороги Беларуси на период 2006 – 2015 годы» предусматривается увеличение прочности дорожных одежд ряда участков автомобильных дорог до восприятия транспортной нагрузки 13 тонн на ось и более. Это потребует изменения как в подходах к выбору материалов для устройства дорожных одежд, так и методик их расчета.

Используемый ныне вариант конструкции нежесткой дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием на основании из неукрепленных материалов работает на пределе возможностей.

Условие, при котором модуль упругости щебеночного основания должен быть стабильно высоким в течение всего срока службы, выполнить весьма сложно в силу ряда обстоятельств:

- разрозненность и отсутствие комплексного подхода к задачам подбора исходных материалов и состава смесей для устройства оснований из неукрепленных материалов, технологии устройства щебеночных оснований и методов контроля качества выполненных строительных работ. Разработанные методы назначения максимальной плотности каменных материалов и подбора оптимальных зерновых смесей для оснований стандартизированные в СТБ, частично решают эту проблему;

- связь предела несущей способности неукрепленных щебеночных оснований дорожных одежд с общей прочностью щебня. Известно, что для достижения заданного модуля упругости дорожной конструкции необходимо использовать тяжелую виброуплотняющую технику, при этом щебень под действием катков нередко подвергается

разрушению (это касается лещадных и игловатых зерен, содержание которых в гранитном щебне достигает 30 – 35 %), что снижает несущую способность щебеночных оснований в целом;

- трудности обеспечения ровности дорожных оснований из неукрепленных каменных материалов. В странах дальнего зарубежья она решается путем использования смесей меньшей крупности (до 40 мм) и путем укладки слоев асфальтоукладчиками. Это позволяет снизить до минимума погрешности в работе и позволяет добиться снижения допусков в 2 раза (с 2 см до 1 см) при устройстве оснований из неукрепленных материалов.

Проблему создания достаточного запаса прочности при условии увеличения нагрузок до 13 т на ось позволяет решить устройство укрепленных оснований. Опыт строительства дорог в Беларуси показал эффективность метода устройства дорожных оснований с использованием асфальтогранулята для расклиновки крупного гранитного щебня. Эффект расклиновки асфальтогранулятом заключается в том, что при устройстве в последующем асфальтобетонного покрытия из горячих смесей, температура укладки которых не менее 100 – 110 °С, асфальтогранулят, представляющий собой продукт дробления асфальтобетонных покрытий, спекается и образует со щебнем практически монолитный слой. Вследствие этого зерна щебня лишаются подвижности и не разрушаются под действием динамических воздействий от транспортной нагрузки. При этом общий модуль упругости дорожной конструкции и коэффициент запаса прочности дорожной одежды возрастает в 1,1 – 1,2 раза по сравнению с исходным.

Повысить общую несущую способность дорожной одежды можно используя материалы, обладающие свойствами самоцементации, в частности, металлургические шлаки. Белорусский металлургический завод «БМЗ» (г. Жлобин) до 120 тыс. тонн шлака ежегодно выгружает в отвалы, большую часть данного материала возможно использовать в дорожном строительстве.

Для повышения несущей способности перспективно использование оснований из каменных материалов (щебень, гравий), армированных с помощью геосинтетических материалов, главным образом, геосеток и георешеток, что позволяет перераспределять возникающие от действия транспортной нагрузки напряжения на большую площадь, и тем самым способствовать стабильной работе

дорожной одежды даже в неблагоприятных природно-климатических условиях.

Наиболее перспективно использование синтетических геосеток, армирование которыми позволяет повысить модуль упругости основания в 1,5–2 раза даже при снижении его толщины. Кроме того, геосетки на границе контакта основания и грунта земляного полотна предотвращают взаимопроникновение материалов смежных слоев, что увеличивает долговечность дорожной конструкции.

Перспективно использовать для устройства оснований дорожных одежд укрепленные вяжущими материалы. Наиболее приемлемыми для условий Беларуси являются варианты использования битумных эмульсий для укрепления каменных материалов, которые возможно применять для приготовления смесей, как на заводе, так и в полевых условиях. Укрепление вяжущим позволяет использовать и малопрочные материалы, в том числе доломитовый щебень, для устройства конструктивных элементов дорог высоких категорий.

Использование укрепленных материалов позволяет существенно увеличить несущую способность дорожных одежд и обеспечить возможность пропуска транспортных нагрузок не менее 13 т на ось.

В последнее время возник вопрос дефицита гранитного щебня. Взамен предлагается использовать доломитовый щебень, однако по своим механическим характеристикам он значительно хуже гранитного, что сдерживает его применение в дорожном строительстве, а при изготовлении асфальтобетонных смесей высоких марок это и невозможно. Модификация доломитового щебня специальными реагентами (производит Мадикор), а также новые подходы к подбору минеральной части асфальтобетона (совместное применение гранитного и доломитового щебней в определенном соотношении) позволят расширить объемы его применения в дорожном строительстве.

При устройстве оснований целесообразно также использовать щебень, изготавливаемый из гравия прочных пород, месторождения которого имеются в каждой области республики. Однако это потребует модернизации производств и наращивания мощностей по добыче нерудных ископаемых.

В последнее время начали применяться холодные регенерированные асфальтобетонные смеси (технология холодный ресайклинг), представляющие смесь асфальтового гранулята (фрезерованного

асфальтобетонного покрытия), специальной катионной битумной эмульсии, цемента, воды, взятых в определенных соотношениях и приготавливаемые в стационарных или мобильных установках, специальных смесителях-укладчиках и укладываемые в конструктивные слои дорожной одежды в холодном состоянии. В зависимости от категории автомобильной дороги вышеуказанные смеси могут укладываться в верхние слои основания (I – III категории), в нижний (III категория) или верхний слои покрытия (IV – V категории).

### **Иновационные технологии при устройстве покрытий**

#### *Щебеночно-мастичные асфальтобетоны*

До 2002 года в Республике Беларусь повсеместно при устройстве верхних слоев покрытий автомобильных дорог применялись традиционно плотные асфальтобетоны типов А и Б, имеющие недостаточные эксплуатационные свойства (колеобразование, трещинообразование, коррозионные разрушения, недостаточный срок службы).

Начиная с 2002 г. при устройстве верхних слоев автомобильных дорог РБ начал широко применяться щебеночно-мастичный асфальтобетон типа ЦМСц. В отличие от традиционных асфальтобетонов щебеночно-мастичный асфальтобетон обладает повышенными сдвигоустойчивыми свойствами, что препятствует накоплению пластических деформаций (колея, наплыв, сдвиг). Повышенная толщина битумных пленок на поверхности минерального материала способствует увеличению коррозионной стойкости таких асфальтобетонов и снижению трещинообразования на покрытии. Текстура покрытия устроенного с применением щебеночно-мастичного асфальтобетона способствует отводу воды с поверхности автомобильной дороги, что уменьшает эффект аквапланирования колеса автомобиля и благоприятно сказывается на безопасности движения транспортных средств Коэффициент сцепления колеса с асфальтобетонным покрытием, устроенным из щебеночно-мастичного асфальтобетона, на 20% выше, по сравнению с покрытием из традиционных асфальтобетонов. В настоящее время, в плане совершенствования качественных характеристик щебеночно-мастичных асфальтобетонов, исследуются составы щебеночно-мастичного асфальтобетона на основе битумополимерного вяжущего как совместно с целлюлозным волокном, так и без него и те же составы с расширенным диапазоном фракционного состава их каркасной составляющей.

### *Асфальтобетонные смеси с применением асфальтогранулята*

Как показывают результаты многочисленных исследований, при переработке асфальтобетонного лома и его повторном использовании, содержащиеся в нем минеральные составляющие, сохранившие на своей поверхности пленку асфальтового вяжущего, проявляют свойства, характерные для активированных материалов.

В тоже время анализ полученных данных показывает, что асфальтобетоны, содержащие в своем составе асфальтогранулят, обладают пониженной устойчивостью к старению, к воздействию знакопеременных температур, к агрессивному воздействию противогололедных материалов по сравнению с обычными плотными асфальтобетонами, что ограничивает объем применения асфальтогранулята в составе горячих асфальтобетонных смесей для устройства нижних слоев асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог и верхних слоев оснований до 20 %.

### *Гидроизолирующее асфальтобетонное покрытие на мостах и путепроводах*

Асфальтобетонные покрытия на мостовом полотне искусственных сооружений находятся в более жестких эксплуатационных условиях, чем покрытия на автомобильных дорогах. Они подвергаются амплитудным динамическим нагрузкам и более резким температурным перепадам, что приводит их к преждевременному разрушению. Это обстоятельство увеличивает затраты на выполнение ремонтных мероприятий, а также снижает водонепроницаемые свойства мостового полотна, что приводит к преждевременной коррозии и разрушению несущих конструкций пролетного строения. Препятствовать этому способен разработанный состав вибролитого асфальтобетона, содержащий до 65 % щебня фракции 5 – 10 (5 – 15) мм, на битумополимерном вяжущем для устройства покрытий мостового полотна, выполняющее одновременно функции и покрытия и гидроизоляции.

### *Гидроизоляционное асфальтобетонное покрытие из литой смеси на основе резиновой крошки*

Разработан состав литой асфальтобетонной смеси с использованием мелкоизмельченной (фр. 0 – 0,63) резиновой крошки, который позволяет получать асфальтобетонные покрытия, обладающие водонепроницаемостью, повышенной деформативностью, способствующей повышению трещиностойкости. Высокое содержание

щебня (до 65 %) обеспечивает такому асфальтобетону высокие прочностные характеристики и, прежде всего, высокую степень сдвигоустойчивости в широком температурном диапазоне.

*Эмульсионно-минеральные смеси с ускоренным сроком формирования*

Отличие данного вида эмульсионно-минеральных смесей от традиционных, применяемых в настоящее время в Республике Беларусь, заключается в ускоренном наборе прочности вследствие интенсивного отвода воды. Смеси состоят из минеральной части, основанной на использовании доступных каменных материалов и песков, специальной катионной битумной эмульсии и воды, подобранных в оптимальном соотношении и предназначены для устройства конструктивных слоев автомобильных дорог. ГЭС готовятся с использованием мобильной установки «Дельта 100» белорусского производства.

*Сдвигоустойчивое покрытие на участках с особо тяжелыми условиями эксплуатации (перспективная технология)*

На участках с особо тяжелыми условиями эксплуатации (места стоянки автотранспорта, остановки общественного транспорта, регулируемые перекрестки и т.д.) для повышения прочностных свойств асфальтобетона наряду с применением модифицированных битумов или битумов с высокой вязкостью разрабатывается технология пропитки асфальтобетона специальными составами, не требующая специального дорогостоящего оборудования. Применение в пропиточном цементном составе красителя позволит получать цветные асфальтобетоны.

*Битумно-полимерная лента для сопряжения смежных полос укладываемого асфальтобетонного покрытия*

Битумно-полимерная лента технологична: позволяет использовать средства механизации; обладает достаточной эластичностью в широком температурном диапазоне, что обеспечивает хорошую стыковку смежных полос, предотвращая тем самым коррозионное разрушение в зоне сопряжения.

Применение битумно-полимерной ленты позволяет снять ограничение по длине полосы укладки асфальтобетона, увеличивает производительность асфальтоукладочного комплекса на 10–20 %, значительно улучшает показатель ровности покрытия, предотвращает образование продольных трещин.

### *Активирующая добавка для минеральных материалов*

Активирующая добавка (активатор) представляет собой водный раствор солей поливалентных металлов, обработка которым приводит к увеличению адгезии органического вяжущего к поверхности минеральных частиц более чем на 25 %, что, соответственно, дает существенное улучшение физико-механических показателей асфальтобетона на активированных материалах по сравнению с традиционным асфальтобетоном: коэффициент водостойкости увеличивается на 35,8 %, водонасыщение уменьшается на 43,0 %.

### **Инновационные технологии при устройстве защитных слоев**

*Мембранная технология ремонта жестких покрытий автомобильных дорог и мостового полотна искусственных сооружений*

Данная технология устройства защитных и защитно-гидроизоляционных слоев, позволяет снизить стоимость ремонтных работ, увеличить срок службы защитных и защитно-гидроизоляционных слоев в 2 – 3 раза, обеспечить защиту несущих конструкций пролетных строений искусственных сооружений от влаги при утрате своих свойств существующей гидроизоляцией.

Норма распределения мембраны в зависимости от ее назначения – защитное или защитно-гидроизоляционное покрытие – составляет 2,5 – 3,5 л/м<sup>2</sup>.

*Тонкослойные асфальтобетонные покрытия магистральных, республиканских автомобильных дорог по технологии ТОНФРИЗ.*

Тонкослойные покрытия устраиваются из специальных горячих асфальтобетонных смесей с использованием модифицированных битумов, укладываемых на слои проклеивания и герметизации из катионной модифицированной битумной эмульсии, которая наносится непосредственно перед укладкой асфальтобетонной смеси. Комбинация горячей и холодной эмульсионной технологий позволяет укладывать указанные покрытия толщиной 10 – 15 мм, что невозможно при укладке горячих асфальтобетонов по традиционной технологии.

Альтернативой поверхностной обработке является технология устройства защитных слоев из холодных литых асфальтобетонных смесей. Существующая технологическая и нормативная база позволяет устраивать защитные слои, как с применением чистых битумных эмульсий (Сларри-Сил), так с использованием модифицированных вяжущих (Микропокрытие). Ведутся работы по введению в

эти смеси дисперсно-армирующих волокон (стекловолокно, полиэфирные и целлюлозные волокна и др.), что позволит продлить срок эксплуатации таких слоев и повысить их сцепные характеристики за счет применения более крупных фракций минерального материала.

Для достижения оптимальных эксплуатационных характеристик защитных слоев разработана и применяется на дорогах республики технология Кап Сил, представляющая комбинацию поверхностной обработки, с применением крупной фракции щебня, и защитного слоя Сларри Сил. Данный вариант позволяет получить шероховатый защитный слой повышенной долговечности, обладающий хорошими гидроизоляционными и сцепными характеристиками. В качестве профилактической меры восстановления эксплуатационных характеристик верхних слоев в асфальтобетонных покрытиях разработана технология реабилитации способом пропитки с применением катионных эмульсий на основе битумов и пластифицирующих составов. Данная технология позволяет при минимальных затратах продлить межремонтные сроки эксплуатации изношенных асфальтобетонных покрытий.

Широкое распространение в регионах республики получила, разработанная институтом, технология перевода гравийных покрытий в черные. Ее суть заключается в стабилизации верхнего слоя битумной эмульсией и устройстве защитного слоя методом двух- или трехслойной поверхностной обработки («сэндвич»).

В качестве перспективных направлений, над которыми ведутся работы в настоящее время, можно отметить противогололедные материалы пролонгированного действия, вводимые в состав дорожно-строительных материалов на стадии строительства или содержания автомобильных дорог. Ведутся исследования по разработке новых перспективных составов эмульгированных вяжущих и добавок в дорожные битумы.

### **Иновационные технологии при обеспечении безопасности дорожного движения**

#### *Горизонтальная дорожная разметка*

Для разметки автомобильных дорог широко применяются эмали, краски, термопластики, пластики холодного нанесения. В настоящее время исследуются долговечные ленточные материалы для временной и постоянной разметки, структурная и рельефная

разметка толстослойными пластиками, световозвращающие элементы для повышения ночной видимости разметки в неблагоприятных погодных условиях, способы ремонта и восстановления локальных разрушений разметки, способы повышения световозвращения разметки в зимний период.

#### *Дорожные ограждения*

В последние годы в Республике Беларусь стали применяться тросовые дорожные ограждения. Существующая нормативная база на их применение учитывает возможности отечественного производителя. Расширен спектр конструкций барьерных ограждений соответствующих СТБ 1300.

#### *Аудит безопасности дорожного движения*

С целью оценки эффективности работы дорожных организаций в части обеспечения безопасности дорожного движения разработаны системы аудита по следующим направлениям: реализации проектных решений; аудит нормативной базы и выполнения требований технических нормативных правовых актов; аудит системы учета ДТП; мониторинг наличия и состояния ТСОДД (технические средства организации дорожного движения).

### **Заключение**

Все вышеприведенные инновационные технологии прошли широкую производственную апробацию, актуализированы в соответствующих нормативных документах. Однако эффективность их применения может быть достигнута лишь при условии наличия высокого уровня проектной и технологической документации, исходных материалов, в первую очередь щебня и битума, стабильных физико-механических свойств.

## **ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ АСФАЛЬТОБЕТОН НА БИТУМАХ, АКТИВИРОВАННЫХ СВЧ-ПОЛЕМ**

**Ядыкина В. В., д-р техн. наук, профессор,  
Акимов А. Е.**

*Белгородский государственный технологический университет  
им В. Г. Шухова  
(г. Белгород, Россия)*

Развитие автомобильных дорог невозможно без высококачественных дорожно-строительных материалов. На сегодняшний день в отрасли существует проблема применения органических вяжущих. Низкое качество дорожных битумов по ГОСТ 22245-90 – неудовлетворительная, недостаточная для условий России трещиностойкость, эластичность, адгезия – является одной из главных причин преждевременного разрушения дорожных, мостовых и аэродромных асфальтобетонных покрытий. Анализ показал, что главной причиной появления на дорогах выбоин является именно недостаточная адгезия битумов к каменным материалам.

В связи с этим необходимо предложить варианты решения этой проблемы. Одно из самых распространённых решений – применение в битумах поверхностно-активных добавок, улучшающих сцепление с каменным материалом. Однако, активно разрабатываются и другие способы повышения адгезионной способности битумов, например, применение различных способов физической активации: воздействие ультразвука, ультрафиолетового света, СВЧ энергии, магнитного поля [1–3].

В данной работе исследуется возможность применения токов сверхвысокой частоты для улучшения качества дорожных битумов.

Битум подвергался воздействию СВЧ-поля, после чего определялись его физико-механические характеристики. Результаты приведены в таблице.

Произошедшие в составе битума изменения должны повлиять на процессы структурообразования при контакте с минеральными материалами.

Таблица 1

Физико-механические характеристики битумов после их активации в СВЧ-поле

Марка битума	Время обработки, мин.					
	0	0,5	1	2	3	4
БНД 40/60						
пенетрация	60	50	45	39	38	39
температура размягчения	50,1	50,8	51,4	51,7	51,9	51,8
температура хрупкости	-15	-15	-15	-15	-14	-13
индекс пенетрации	-	-1,00	-	-	-	-
	0,74		1,09	1,32	1,33	1,30
БНД 60/90						
пенетрация	72	61	55	47	47	46
температура размягчения	48,4	49,4	48,9	49,3	49,8	49,9
температура хрупкости	-17	-17	-18	-19	-17	-16
индекс пенетрации	-	-0,88	-	-	-	-
	0,73		1,26	1,51	1,38	1,41
БНД 90/130						
пенетрация	110	92	74	65	60	54
температура размягчения	44,7	44,8	45,1	45,6	45,7	46,3
температура хрупкости	-19	-19	-18	-18	-17	-17
индекс пенетрации	-	-1,10	-	-	-	-
	0,59		1,16	1,77	1,93	2,00

Установлено, что СВЧ-активация вызывает значительный рост вязкости битума, для битумов марок БНД 40/60. 60/90 и 90/130 увеличение вязкости составило 35, 36 и 51 % соответственно;. При этом температура размягчения и хрупкости изменяются незначительно: для битума марки БНД 40/60 изменения составили 4 % и 15 %; для БНД 60/90 – 3 % и 11 % и для БНД 90/130 3 % и 12 % соответственно, что свидетельствует о том что СВЧ-активация не вызывает необратимых изменений в составе и структуре органических вяжущих, характерных для старения.

Адгезия битума к минеральным материалам оценивалась методом адсорбции красителя метиленового голубого. График изменения адгезии битума представлен на рис. 1.

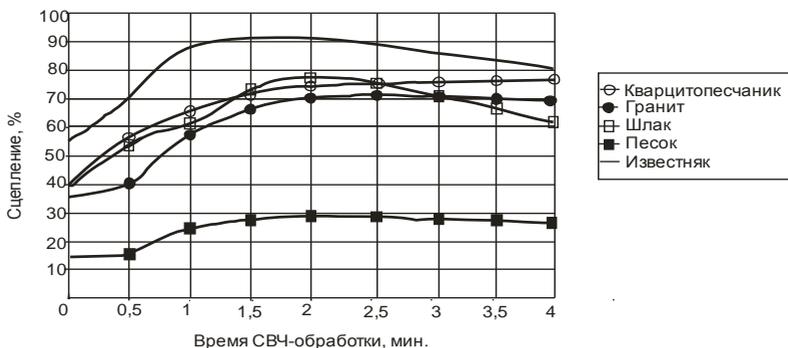


Рис. 1. Изменение адгезии битума к каменному материалу после СВЧ-активации

Приведённые результаты показывают, что значительно возрастает сцепление активированного СВЧ-полем битума с поверхностью известняка (на 61 %), гранита (на 105 %), кварцитопесчаника (на 88 %), шлака (на 95 %).

Проследить взаимодействие активированного и неактивированного битума с минеральными порошками различной природы позволил метод конической пластометрии. Обработанный СВЧ-энергией при оптимальном времени битум смешивался с минеральным порошком, затем определялось предельное напряжение сдвига, возникающее при погружении тарированного конуса в смесь вяжущего и минерального порошка. Результаты представлены на рис. 2.

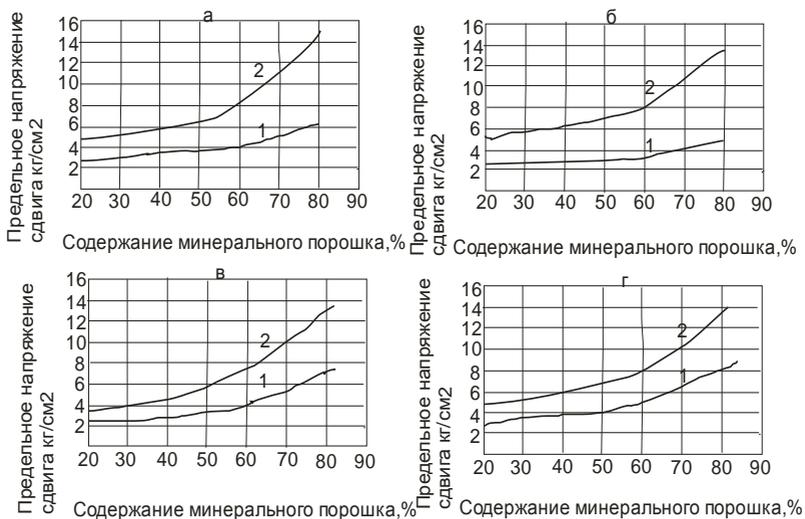


Рис. 2. – Влияние СВЧ обработки на струкутuroобразование  
а.- кварцитопесчаник, б.- гранит, в.- шлак, г.- известняк.  
1.– битум до обработки, 2.- битум после обработки

Из графиков видно, что применение СВЧ-обработки битума значительно улучшает его взаимодействие с минеральными порошками. Происходит рост предельного напряжения сдвига (до 70 % на кварцитопесчанике, до 40 % на граните и известняке, более чем в 2 раза на шлаке). Результаты свидетельствуют о том, что битум, активированный СВЧ-энергией, значительно эффективнее переводится в плёночное состояние.

Приведённые выше результаты свидетельствуют о значительном улучшении адгезионной и струкутuroобразующей способности битума после его активации в поле сверхвысокой частоты. Эти изменения должны положительно повлиять на физико-механические и эксплуатационные характеристики асфальтобетонов, что отражено в таблице 2.

Таблица 2

Физико-механические характеристики асфальтобетона  
на СВЧ-активированных битумах

наименование показателя	Требования по ГОСТ	тип Г		тип Б	
		контроль	СВЧ-активация	контроль	СВЧ-активация
Водонасыщенность, %	1,5 – 4,0	3,66	2,51	2,81	2,35
Набухание, %	Не нормир.	1,65	1,52	1,24	1,21
Предел прочности при сжатии, МПа: -при 20 °С -при 50 °С -при 0 °С -в водонасыщенном состоянии при 20 °С	2,20 1,20 не более 12 не нормир.	5,41 2,80 9,80 4,76	6,85 4,95 9,17 6,57	6,13 2,61 11,32 5,45	6,95 4,21 10,16 6,74
Коэффициент водостойкости	Не менее 0,85	0,88	0,96	0,89	0,97
Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении	Не менее 0,75	0,77	0,85	0,76	0,88

Как видно из приведенных данных, асфальтобетон на модифицированных битумах обладает большей прочностью при 20 и 50 °С, а также повышенной водостойкостью. Прочность образцов асфальтобетона типа Г при 20 °С увеличилась на 27 %, при 50 °С – на 76 %. Прочность асфальтобетона типа Б возросла на 14 % и 61 % соответственно. Повышение прочности объясняется несколькими причинами: во-первых, это увеличение адгезии битума к поверхности каменного материала, что снижает риск разрушения по границе контакта «вяжущее – поверхность материала». Во-вторых, это улучшение структурирования модифицированного битума минеральным порошком, что было показано в проведенных ранее исследованиях, следовательно, вяжущее эффективнее переводится из объёмного в плёночное состояние. Особенно наглядно это видно по

росту прочности асфальтобетона при 50 °С и снижению прочности при 0 °С. В асфальтобетоне уменьшается количество объёмного битума, который при повышении температуры переходит в текучее состояние, из-за чего асфальтобетон теряет прочность при высоких температурах. При низких температурах объёмный битум переходит в хрупкое состояние, что вызывает увеличение жёсткости и прочности асфальтобетона, из-за чего возрастает риск образования трещин и разрушения асфальтобетона. Структурированный битум имеет гораздо меньшую температуру перехода в хрупкое состояние. Следовательно, применение битума, обработанного в СВЧ-поле, позволит повысить такие важные эксплуатационные характеристики, как теплостойкость, трещиностойкость и морозостойкость.

Важным параметром, характеризующим работу асфальтобетонного покрытия в условиях интенсивного увлажнения, является длительная водостойкость.

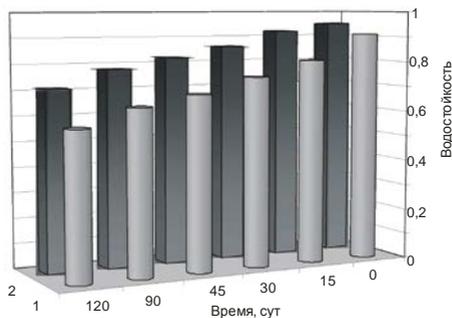


Рис. 3. Длительная водостойкость асфальтобетона:

1 – контрольные образцы, 2 – на битуме, активированном в СВЧ-поле

При применении вяжущего, обработанного СВЧ-полем, этот параметр существенно увеличивается (рис. 3), так как растёт адгезия активированного битума к каменному материалу, а значит, требуется больше энергии, чтобы отделить плёнку вяжущего от его поверхности.

Из рисунка видно, что с течением времени водостойкость образцов на необработанном битуме снижается гораздо быстрее, чем водостойкость на СВЧ-активированном битуме. На 120 сутки коэффициент водостойкости на асфальтобетоне с активированным битумом выше на 18 %, чем на исходном.

Таким образом, применение битума, активированного СВЧ-энергией, позволяет улучшить взаимодействие вяжущего с минеральным материалом, что значительно повышает физико-механические характеристики композита, его долговечность при работе в жёстких климатических условиях.

### **Литература**

1. Генцлер, И.В. Влияние ультразвука на органические вяжущие / И.В. Генцлер, А.С. Карапетян // Известия вузов. Строительство. – 2001. – № 1. – С. 36–39
2. Шадрин, Б.К. Омагничивание битумов /Б.К. Шадрин // Известия вузов. Строительство. – 2003. – №6. – С. 12–16.
3. Вендриховски, В.А. Влияние радиоволн на сцепление битума с каменными материалами/В.А. Вендриховски // Строительные материалы. – 1995. – №8. – С. 29–30.
4. Бурминский, Н.И. Перспективы использования СВЧ-технологии для приготовления дорожных битумов / Н.И. Бурминский, Е.М. Барачова // Изв. вузов. Строительство. – 1999. – №2–3. – С. 114–115.

УДК 625.855

## **МЕХАНИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ**

**Ядыкина В.В., д-р техн. наук, профессор,  
Траутвайн А.И.**

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В. Г. Шухова  
(г. Белгород, Россия)*

В настоящее время важнейшей задачей является использование местных минеральных материалов в качестве заполнителей и наполнителей для производства цемента- и асфальтобетона. Однако имеющееся сырье зачастую не отвечает нормативным требованиям, что вынуждает использовать различные технологии его обработки, которые могли бы улучшить качество готовой продукции.

В настоящее время установлено [1], что все материалы, независимо от их природы и агрегатного состояния, являющиеся в нормальных условиях химически пассивными, при определенных режимах обработки могут стать химически активными. Это позволяет использовать малоактивное дешевое кремнеземистое сырье и техногенные отходы производства для создания на их основе прочных композиционных материалов, используя различные активационные технологии.

Известно, что в рамках энергетического подхода механическую активацию трактуют как процесс преобразования энергии из одних ее форм в другие [2]. При этом считается, что определенная часть подводимой энергии устанавливается (поглощается) твердым телом. Одной из главных форм усвоения энергии является возникновение дефектов структуры, таких как дислокации в кристаллах, вакансии, междоузельные атомы, внутренние трещины и другие нарушения идеальной кристаллической решетки.

В связи с тем, что в настоящее время важнейшей задачей является использование местных минеральных материалов в качестве заполнителей и наполнителей для производства цемента- и асфальтобетона, в работе использовались дисперсные материалы из техногенного сырья Курской магнитной аномалии (КМА): кварцитопесчаник и отход мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов, ММС, а также кварцевый песок Нижнеольшанского месторождения и отсева дробления гранита.

Активность материалов характеризовалась наличием обменных кислотных Бренстедовских центров на их поверхности, так как в [3] показано, что именно они оказывают наиболее существенное влияние на взаимодействие с цементом и битумом. Концентрация активных центров определялась методом ионного обмена с гидроксидом кальция.

В основу научных исследований была положена гипотеза, согласно которой в результате помолта на поверхности минеральных материалов возрастает концентрация активных обменных центров, что положительно влияет на процессы структурообразования и обеспечивает прочные контакты в системе «минерный порошок – битум».

При помоле, через определенные промежутки времени из мельниц отбирались пробы, для которых измерялась активность и, параллельно, удельная поверхность (при помощи прибора Товарова).

Установлено [4], что размол материалов происходит по-разному. Кварцевый песок во всех мельницах размалывается хуже других материалов. Это может объясниться большей прочностью зерен песка. При этом, интенсивное увеличение удельной поверхности происходит до определенной точки, после чего помол производить не целесообразно, так как рост удельной поверхности значительно замедляется. В результате максимальную удельную поверхность имеют материалы, измельченные в шаровой планетарной мельнице, минимальную – в вибрационном истирателе. Для отходов ММС, например, помол которых осуществлялся в шаровой планетарной мельнице, эта величина составляет  $790 \text{ м}^2/\text{кг}$ , в вибромельнице –  $600 \text{ м}^2/\text{кг}$ , в вибрационном истирателе –  $520 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Поэтому, с точки зрения величины удельной поверхности наиболее эффективной мельницей является шаровая планетарная.

В работе [4] показано, что степень измельчения значительно влияет на концентрацию активных центров, причем полученные зависимости для всех материалов в различных мельницах имеют свои особенности. С повышением тонкости помола происходит рост концентрации обменных центров, то есть активности. Например, при помоле в шаровой планетарной мельнице оптимальной удельной поверхностью с точки зрения роста концентрации обменных центров для кварцитопесчаника и отходов ММС будет –  $400 \text{ м}^2/\text{кг}$ , гранита –  $650 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; песка –  $200 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; в вибромельнице для кварцитопесчаника и отходов ММС эта величина составляет  $400 \text{ м}^2/\text{кг}$ , песка –  $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; гранита –  $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; при измельчении отходов ММС и песка в вибрационном истирателе оптимальной удельной поверхностью является  $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ , кварцитопесчаника –  $370 \text{ м}^2/\text{кг}$ , гранита –  $450 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Поэтому порошки, измельченные в разнотипных установках до равной дисперсности, могут обладать разными технологическими свойствами. Следовательно, при помоле материала необходимо учитывать не только его природу и свойства, но и тип мельницы, который оказывает наибольшее активизирующее влияние на поверхность материалов.

Из полученных результатов видно, что наибольшей активирующей способностью обладает шаровая планетарная мельница.

Поэтому именно этот помольный агрегат рациональнее использовать для повышения активности минеральных компонентов, производства строительных композитов, например, асфальто- и цементобетона.

Таким образом, в результате помола происходит активация поверхности дисперсных материалов, которая должна привести к более высокой интенсивности взаимодействия вяжущего с поверхностью минеральных порошков по сравнению с неактивированными. Для этого были определены физико-механические показатели асфальтовяжущего на свежеразмолотом минеральном порошке и в стабильном состоянии.

Полученные результаты, представленные в таблице 1, показывают, что исследуемые минеральные порошки, активированные в различных мельницах, обеспечивают гораздо лучшее взаимодействие с битумом, по сравнению с порошками в неактивированном состоянии.

Таблица 1

Физико-механические показатели асфальтовяжущего на материалах, измельченных в вибрационном истирателе

Наименование материала	Неактивированный порошок			Активированный порошок		
	R <sub>20</sub>	K <sub>вод</sub>	Набухание	R <sub>20</sub>	K <sub>вод</sub>	Набухание
Песок	2,3	0,56	5,8	3,2	0,81	4,2
Кварцитопесчанник	3,6	0,72	3,1	4,4	0,91	2,4
Гранит	3,3	0,70	3,3	4,1	0,86	2,8
Отходы ММС	4,0	0,78	2,4	4,8	0,94	1,8

Наилучшие физико-механические показатели имеет асфальтовяжущее на минеральных порошках из отходов ММС и кварцитопесчанника, наихудшие – на минеральных порошках из гранита и песка.

При росте концентрации обменных центров на поверхности минеральных порошков в результате помола происходит увеличение предела прочности при сжатии, коэффициента водостойкости и уменьшение набухания образцов асфальтовяжущего, более того, повышение концентрации обменных центров коррелирует с изменением физико-механических показателей асфальтовяжущего. Так, например, активность свежеразмолотого песка в вибрационном истирателе с удельной поверхностью 350 м<sup>2</sup>/кг на 55 % выше по сравнению с материалом в стабильном состоянии, что привело к повышению предела прочности при сжатии на 39 %, коэффициента водостойкости на 43 % и снижению набухания на 38 %.

Для установления взаимосвязи между активностью поверхности минеральных порошков и физико-механическими показателями асфальтобетона, был заформован асфальтобетон типа Б с минеральными порошками из кварцитопесчаника и гранита, измельченным в вибрационном истирателе. Физико-механические показатели представлены в таблице 2.

Таблица 2

Физико-механические характеристики образцов  
асфальтобетона типа Б

Характеристики	Требования по ГОСТ	Кварцитопесчаник		Гранит	
		Неактивированный	Активированный	Неактивированный	Активированный
1	2	3	4	5	6
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	-	2330	2344	2315	2328
Водонасыщение, %	1,5-4	2,35	2,15	4,15	3,52
Набухание, %	-	0,65	0,54	0,88	0,70

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6
Прочность при сжатии, МПа					
при +50 °С	1,0, не менее	2,3	2,9	1,2	1,6
при +20 °С	2,2, не менее	4,6	5,3	2,3	2,8
при 0 °С	12,0, не более	10,4	9,8	11,6	10,8
Водостойкость	0,85, не менее	0,88	0,98	0,78	0,90
Водостойкость при длительном водонасыщении	0,75, не менее	0,80	0,95	0,72	0,87

Как и предполагалось, больший прирост показателей наблюдается асфальтобетона на минеральном порошке из песка. Предел прочности при сжатии при 20 °С увеличился на 22 %, при 50 °С на 33 %. Водостойкость увеличилась на 15 %, при длительном водонасыщении на 21 %. Водонасыщение и набухание уменьшилось.

Таким образом, различные мельницы, в зависимости от способа воздействия на измельчаемый материал, дают продукты, характеризующиеся различной степенью дисперсности и активностью. Наиболее реакционно способными являются материалы, измельченные в шаровой планетарной мельнице, наименее – в вибрационном истирателе. При этом, в результате активации наблюдается более высокая интенсивность взаимодействия битума с поверхностью минеральных порошков по сравнению с неактивированными, что положительно отразилось на качестве органоминерального композита.

## Литература

1. Ковалев, Я.Н. Активационные технологии дорожных композиционных материалов / Я.Н. Ковалев. – Минск: Беларуская Энцыклапедыя, 2002. – 336с.
2. Авакумов, Е.Г. Механические методы активации химических процессов / Е.Г. Авакумов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 306 с.
3. Ядыкина, В.В. Повышение качества асфальто- и цементобетона из техногенного сырья с учетом состояния его поверхности / В.В. Ядыкина: дис.... д-ра техн. наук. – Белгород, 2004. – 394 с.
4. Траутвайн, А.И. Механоактивация минеральных порошков в вибрационной и шаровой планетарной мельницах / А.И. Траутвайн, В.В. Ядыкина // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова [электронный ресурс] – Белгород: Издательство БГТУ, 2009.

УДК 625.72.002.5

## О ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ

**Костин С.В.**

*Государственное предприятие «Белгипродор»  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Дороги класса «Автомагистрали» широко распространены в развитых зарубежных странах. Имея различные наименования в разных странах (пресловутый «автобан» – в Германии, «автострада» – в Италии, «авторут» – во Франции, «моторвэй» – в Великобритании), они обладают сходными транспортно-эксплуатационными характеристиками и конструктивными решениями. Автомагистрали предназначены для непрерывного движения больших транспортных потоков на большие расстояния с повышенной, по сравнению с обычными дорогами, скоростью. Для этого дорога должна обеспечивать более высокую степень безопасности движения, что достигается за счет исключения или минимизации помех основному транспортному потоку: все пересечения устраиваются в разных уровнях, их количество ограничивается, дорога изолируется от прилегающих территорий. Максимальная разрешенная скорость движения по автомагистралям составляет, как правило, 120–130 км/час.

В настоящее время протяженность автомагистралей в странах Европы составляет 64 тыс. км, в том числе по 12 тыс. км в Германии и Франции, 6,4 тыс. км в Италии. Ведется активное строительство в Польше, Чехии, Венгрии, Болгарии, других странах - новых членах ЕС. В России в настоящее время проектируется полноценная автомагистраль Москва – Санкт-Петербург.

В нашей стране по своим параметрам к автомагистралям приближаются некоторые участки дороги М-1 и дорог М-3, М-4, М-6 на выходах из г. Минска. Однако, по ряду признаков (например, наличие пешеходных переходов в уровне проезжей части, малые радиусы закруглений на Т-образных примыканиях съездов развязок, недостаточные длины переходно-скоростных полос, отсутствие барьерного ограждения на разделительной полосе, возможное попадание на дорогу людей и животных с прилегающих территорий, необустроенные площадки отдыха) не могут быть к ним отнесены.

Строительство автомагистралей в Западной Европе и США было связано с ростом уровня автомобилизации и интенсивности движения. Сейчас эти процессы наблюдаются и на наших дорогах. По некоторым данным, наиболее интенсивное развитие сети автомагистралей за рубежом начиналось в условиях, когда число автомобилей на 1 тысячу жителей в стране оказывалось в пределах 100–200 единиц [1]. Мы уже прошли этот рубеж. Так, в 2008 г. уровень автомобилизации в нашей стране составил 318 единиц на 1 тысячу человек [2]. Таким образом, близок качественно новый этап развития дорожной отрасли нашей Республики, связанный с проектированием и строительством автомагистралей.

Как известно, правительством принято решение о строительстве (реконструкции) дорог, соединяющих Минск с областными центрами – в первую очередь Гомелем, Могилевом и Гродно. Очень важно, чтобы построенные дороги соответствовали ожиданиям, или другими словами чтобы их технико-экономические показатели соответствовали требованиям не только сегодняшнего, но и завтрашнего дней, обеспечивая комфортные и безопасные условия движения как минимум в течении всего перспективного периода. Для этого необходимо правильно определить технические параметры строящихся дорог, а значит идентифицировать их класс и категорию в соответствии с [3]. Согласно этому документу, дороги к областным центрам могут быть отнесены к классу «Автомагистрالی»

(при соответствующей расчетной интенсивности движения, протяженности не менее 150 км и долей транзита в транспортном потоке более 50 %) или к «Обычным автомобильным дорогам» (если эти условия не выполняются). Следует подчеркнуть, что эти дороги не могут относиться к «Скоростным дорогам», область применения которых ограничена локальными участками, расположенными в основном в пригородных зонах крупнейших городов (которые в республике пока представлены только столицей), подъездами к ним и аэропортам I класса, а также кольцевыми дорогами.

Интенсивность движения на дорогах к областным центрам сейчас составляет 6 – 7 тыс. автомобилей в сутки и более. Расчетная интенсивность движения, таким образом, даже при пессимистическом сценарии (ежегодный прирост 2 %), превысит 10 тыс. автомобилей в сутки, а при 5 % росте составит не менее 15 тыс. на не самых напряженных участках. Например, по данным изысканий, выполненных для проекта реконструкции дороги М-5 Минск – Гомель на участках км 65 – 99,2; км 106,1 – 131, разработанного Государственным предприятием «Белгипродор», интенсивность движения в 2009 г. составляла 8,2 – 9 тысяч автомобилей в сутки. Расчетная интенсивность определена в 26 – 27 тысяч автомобилей к 2035 году.

Таким образом, согласно [3] по критерию величины интенсивности движения дороги могут быть автомагистралями (категория I-а), или обычными автомобильными дорогами категории I-в. ТКП 45-3.03-19-2006 допускает в целях снижения единовременных затрат стадийное строительство в части дорожной одежды, пересечений и примыканий, элементов обустройства и т.д. Но в таком случае необходимо выяснить:

- насколько автомагистраль дороже обычной дороги I-в категории, - ведь в случае незначительной разницы стоимости стадийное строительство не будет целесообразным,

- не будет ли некоторое удорожание строительства компенсировано преимуществами автомагистрали – в первую очередь уменьшением затрат времени на перевозки, снижением риска и потерь от ДТП.

Для ответа на эти вопросы необходимо выполнить сравнение нескольких вариантов с определением их экономической эффективности. Это исследование выполнено автором на примере участка

км 65 – 131 дороги М-5 Минск – Гомель.

Стоимость реконструкции этого участка по параметрам дороги I-в категории с учетом возможности доведения в будущем до I-а категории взята из обоснования инвестирования [4] дополненного проектами, разработанным Государственным предприятием «Белгипродор» в 2006 – 2007 годах для участков: км 99,2 – 101,4; км 101,4 – 106,1. Это решение (реконструкция существующей дороги по параметрам категории I-в) принято в качестве базового варианта – вариант 1.

В качестве варианта 2 принята реконструкция существующей дороги по трассе варианта 1, но по нормам дороги категории I-а (автомагистраль).

В качестве варианта 3 принято строительство дороги категории I-а по новому направлению, проложенному вдоль существующей дороги, которая остается для обслуживания местных связей. Этот вариант рассматривается, чтобы исследовать изменение стоимости строительства: уменьшение числа развязок и переноса инженерных коммуникаций, исключение объездов и необходимости обеспечения пешеходных связей может дать заметное снижение стоимости по сравнению с реконструкцией существующей дороги.

Для определения стоимости вариантов 2 и 3 исходили из известной стоимости и объемов работ для варианта 1. При этом были внесены необходимые изменения, учитывающие особенности дороги категории I-а по сравнению с I-в, а также связанные с проложением трассы по новому направлению для варианта 3. В частности было учтено:

- увеличение протяженности трассы по варианту 3 на 1,5 км;
- увеличение ширины дорожной одежды для дороги категории I-а на 1,5 м, связанное с большей шириной полосы движения и левой укрепленной полосы, а также устройство новой дорожной одежды на всем протяжении участка для варианта 3;
- изменение объемов земляных работ, связанное с большим количеством развязок, неиспользованием существующей насыпи при варианте 3, а также уменьшением насыпей основной дороги по варианту 3. В сумме это привело к увеличению на 220 тыс. м<sup>3</sup> для варианта 2 и на 150 тыс. м<sup>3</sup> для варианта 3;
- увеличение количества транспортных развязок на 5 по варианту 2, уменьшение на 3 по варианту 3;

- увеличение количества путепроводов на 6 (для вариантов 2 и 3) включая «глухие» для связи разобщенных территорий (в основном по варианту 3) и в составе развязок; необходимость сооружения мостов по варианту 3 для обеих проезжих частей;

- увеличение количества подземных пешеходных переходов на 5 для варианта 2, на 2 для варианта 3;

- устройство проездов (дороги III – V) для связи разобщенных территорий и обеспечением выхода на ближайшую развязку в связи с ограничением мест доступа на автомагистраль – 7,4 км по варианту 2, 3,2 км по варианту 3;

- увеличение рубки леса и кустарника на 10 га по варианту 2, на 182 га по варианту 3;

- установка двустороннего металлического барьерного ограждения на разделительной полосе на всем протяжении дороги;

- исключение пересечений и примыканий в одном уровне;

- исключение для варианта 3 работ связанных с использованием существующей дороги (объезды и временная организация движения, разборки, фрезерование и ремонт покрытия, перенос кабелей в полосе дороги, автобусные остановки, пешеходные дорожки, шумозащита, освещение).

В итоге стоимость строительства участка дороги по вариантам составила:

- вариант 1 (реконструкция существующей дороги по нормам I-в категории) – 275 млрд. руб. в базовых ценах 2006 г.;

- вариант 2 (реконструкция существующей дороги по нормам I-а категории) – 333 млрд. руб. в базовых ценах 2006 г.;

- вариант 3 (строительство новой дороги по нормам I-а категории) – 324 млрд. руб. в базовых ценах 2006 г.

Увеличение капитальных вложений по сравнению с базовым вариантом 1 составило 21 % по варианту 2 и 17,8 % - по варианту 3.

Для окончательной оценки были определены приведенные затраты – все затраты за расчетный период, включая как единовременные капиталовложения, так и дорожные и транспортные эксплуатационные расходы, а также, для варианта 1, стоимость работ по переводу дороги I-в категории в автомагистраль (I-а категории), включающей уширение дорожной одежды, устройство дополнительных транспортных развязок, путепроводов, подземных переходов и местных дорог, перенос автобусных остановок, установку

барьерного ограждения на разделительной полосе, устройство объездов и временную организацию движения на период выполнения строительных работ и т.д. Стоимость этих работ составила 60530 млн. руб.

Для оценки влияния величины интенсивности движения, выполнены расчеты при начальной интенсивности движения 8,3 тыс. автомобилей в сутки (средняя на рассматриваемом участке дороги), 10 и 12 тыс. автомобилей в сутки.

Для проверки чувствительности результатов к изменению переменных, прогнозирование изменения которых при долговременных периодах сравнения достаточно сложно, расчеты выполнены для трех значений ставки дисконтирования: 13, 9 и 5 %.

Так как приведенные затраты при интенсивности движения 8,3 тыс. авт./сутки отличаются незначительно, следует считать наиболее выгодным выполнение реконструкции по варианту 1, требующим меньшие первоначальные капиталовложения. При интенсивности 10 тыс. авт./сутки начинает ощущаться преимущество варианта 3 (при ставке дисконтирования 9 % приведенные затраты меньше чем по варианту 1 на 5 %). При интенсивности 14 тыс. авт./сутки, разница превышает 8 %, достигая 14 % при ставке дисконтирования 5 %. Таким образом, при исходной интенсивности движения превышающей 10 тыс. авт./сутки предпочтительнее становятся варианты 3 и 2, то есть строительство дороги по нормам I-а категории сразу в полном объеме.

На основании вышеизложенного могут быть сделаны следующие выводы:

- дороги, связывающие Минск с областными центрами, должны проектироваться как автомагистрали по нормам дорог I-а категории;
- при существующей интенсивности движения не превышающей 10 тысяч автомобилей в сутки возможно стадийное строительство дорог I-а категории. На первой стадии может быть построена дорога I-в категории с геометрическими элементами трассы соответствующими расчетной скорости принятой для автомагистрали. Однако при большей интенсивности движения должна строиться сразу дорога I-а категории;

- строительство автомагистрали по новому направлению требует меньший объем капиталовложений, чем при использовании существующей дороги.

### **Литература**

1. Сведения о дорожно-транспортных происшествиях на автомобильных дорогах общего пользования Республики Беларусь в 2008 году: аналитический сборник / РУП «Белдорцентр». – Минск, 2009. – 113 с.
2. Шевяков, А.А. Организация движения на автомобильных магистралях/А.П.Шевяков. – М.: Транспорт, 1985. – 95 с.
3. Автомобильные дороги. Нормы проектирования: ТКП 45-3.03-19-2006 – Минск: Министерство архитектуры и строительства, 2006. – 42 с.
4. Обоснование инвестирования. Автомобильная дорога М-5/Е-271 Минск – Гомель км 65 – км 99,2; км 106,1 – км 131 / Государственное предприятие «Белгипродор». – Минск, 2009. – 123 с.

УДК 624.21.04

**КОНТРОЛЬ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО  
СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПРОЛЕТНОГО  
СТРОЕНИЯ МОСТА ЧЕРЕЗ р. ЗАПАДНАЯ ДВИНА  
НА ОБХОДЕ г. ВИТЕБСКА**

**Вайтович О.М., канд. техн. наук,  
Громпель Д.А.**

***Государственное предприятие «БелдорНИИ»***

***(г. Минск, Республика Беларусь)***

Практика белорусского и зарубежного мостостроения в последние годы характеризуется широким применением стальных с ортотропной плитой и сталежелезобетонных пролетных строений разрезных и неразрезных систем.

Только за последние 10 лет в республике построены большие мосты со стальными конструкциями пролетных строений через р. Западная Двина на обходе г. Витебска, в г. Верхнедвинске, мост через р. Сож в г. Гомеле, мост через р. З.Буг на погранпереходе Козловичи-Кукурыки, городской мост через р. Мухавец в г. Бресте, мост через р. Днепр в дер. Александрия, строятся мосты через р. Неман на обходе г. Гродно, через р. Березина в г. Березино и другие сооружения.

Как показывает мировая практика [1], наиболее эффективным методом для монтажа при строительстве пролетных строений общей длиной от 200 до 600 м с величиной пролетов от 30 до 50 м является метод продольной надвигки. Суть метода состоит в последовательном сооружении многопролетной неразрезной конструкции посекционно за береговым устоем на стационарном стапеле. После присоединения секций производится надвигка металлоконструкций пролетного строения в продольном направлении на промежуточные опоры. Надвигку осуществляют при помощи специальной гидравлической установки, а на освободившемся стапеле продолжают сборку и присоединение следующих секций.

Для обеспечения накатывания на опору применяют аванбек.

Надвижка металлоконструкций пролетного строения – сложный в инженерном отношении и крайне ответственный процесс, который на начальном этапе развития технологии надвижки сопровождался рядом катастрофических аварий.

Наиболее актуальной остается проблема устойчивости стальных главных балок сталежелезобетонных пролетных строений во время монтажа.

Согласно [2] в 70-е годы прошлого века потеря устойчивости главных балок от монтажных нагрузок привела к обрушению пролетных строений 11 автодорожных мостов. Анализ обрушений показал, что при оценке устойчивости балок недостаточно оперировать устойчивостью только верхнего пояса (при учете случайных эксцентриситетов, пластических деформаций в предельном состоянии и остаточных напряжений), необходимо учитывать еще и работу всего поперечного сечения балок, деформируемость контура верхнего пояса и прилегающих участков стенок при недеформируемости нижнего пояса.

Второй причиной обрушений был недостаточный учет технологических факторов при устройстве монолитной железобетонной плиты проезда, особенно, явлений ползучести и усадки бетона.

Третьей причиной при анализе аварий является явная перегрузка надвигаемых конструкций при монтаже.

Оперативно выявить и своевременно устранить потенциально опасные отклонения от проекта, оценить напряженно-деформированное состояние сечений надвигаемых конструкций, независимо оценить качество конструкций и комплектующих материалов, осуществить мониторинг строительства, оказать помощь и содействие проектировщику и подрядчику для принятия технических решений, обеспечивающих требуемое качество сооружений, возможно при научном сопровождении строительства. Согласно [3], мировой и отечественный опыт доказал необходимость научного сопровождения процесса строительства не только уникальных, но и всех сложных и ответственных сооружений.

К таким сооружениям следует отнести мост через р. Западная Двина на обходе г. Витебска (рис.1).



Рис. 1. Общій вид пролетного строення

Схема моста 63+126+63 м, проектная нагрузка А14 и НК-112. Габарит моста был запроектирован с двумя полосами движения и составил Г11,5+2×1,5 м.

Береговые и промежуточные опоры были выполнены монолитными железобетонными на буронабивных столбах диаметром 1,2 м.

Сталежелезобетонное пролетное строение выполнено неразрезным, высота его 3,6 м.

Пролетное строение состоит из 2-х стальных главных балок коробчатого сечения, объединенных между собой поперечными связями и железобетонной плитой проезжей части. Коробки главных балок в поперечном сечении имеют трапецевидную форму: внутренняя стенка коробки вертикальная, внешняя – наклонная. Расстояние между осями коробок 7,3 м. Стыки блоков металлоконструкций выполнены на высокопрочных болтах и сварке.

Мост запроектирован государственным предприятием «Белгипродор», ГИП Соседкова Л.К., сталежелезобетонное пролетное строение запроектировано ОАО «Трансмост», г. Санкт-Петербург, ГИП Петров В.В.

Проект надвижки разработал ЗАО Институт «Гипростроймост», г. Санкт-Петербург, ГИП – Гильбурт С.В., а осуществил строительство моста РУП «Мостострой», филиал «Мостостроительное управление № 5».

Надвижку металлоконструкций пролетного строения этого моста следует отнести к сложным, уникальным инженерно-техническим операциям: впервые была осуществлена надвижка через пролет длиной 126 м без устройства вспомогательной опоры.

Металлоконструкции пролетов собирались конвейерно-тыловой сборкой и двигались в пролеты с помощью толкающих устройств и тяговых лент, прикрепленных к анкерной опоре.

Для надвижки на опоры был запроектирован и изготовлен аванбек длиной 52,5 м. Стык аванбека с коробками главных балок был выполнен по накладкам при помощи высокопрочных болтов М22 в количестве 120 штук на стык.

Для приема пролетного строения на опору № 3 было изготовлено приемно-поворотное устройство (рис. 2).

а)



б)



Рис. 2. Надвижка пролетного строения:  
а) вид ППУ у опоры № 3; б) общий вид надвижки

Надвижка осуществлялась с правого берега на левый. Проектная линия надвижки не учитывала строительный подъем коробок (до 95 см) и в профиле представляла собой прямую линию с общим уклоном 15 ‰ от опоры № 1 к опоре № 2.

Научно-техническое сопровождение надвигки по поручению РУП «Витебскавтодор» выполняло государственное предприятие «БелдорНИИ». Основной задачей, поставленной перед «БелдорНИИ» было обеспечить мониторинг напряженно-деформированного состояния металлоконструкций для безопасной надвигки их в проектное положение. Для этого осуществлялись следующие мероприятия:

- определение планово-высотного положения пролетного строения на разных этапах производства работ;
- определение планово-высотного положения накаточного пути;
- определение высотного положения консоли аванбека и стыка блоков полетного строения с аванбеком; контроль их вертикальных перемещений при надвигке;
- выявление внешних проявлений деформаций («хлопунов»);
- контроль «ухода» пролетного строения в плане при надвигке, контроль отлипания металлоконструкций в местах опираний на «скользуну» и перекаточные устройства;
- измерение напряжений в металлоконструкциях при надвигке.

Наиболее сложно в техническом исполнении было обеспечить постоянный контроль напряжений в металле в контрольных сечениях в процессе надвигки, т.к. обычные методы тензометрирования в нашем случае были неприемлемы из-за большой длины надвигаемых конструкций, разброса контрольных сечений по длине, постоянного передвижения контрольных сечений и др. Для решения этой задачи были привлечены специалисты ООО «Сенсотроника», которые предложили методику непрерывного контроля с отображением данных об изменении динамики напряжений в контрольных точках контрольных сечений надвигаемых конструкций с использованием специально разработанных и оттарированных датчиков.

Датчики крепились методом контактной сварки внутри коробок на верхние и нижние пояса балок вблизи вертикальной и наклонной стенок коробок рис. 3. Для компенсации температурных влияний на поверхности пластины из того же металла закреплялся компенсационный датчик.



Рис. 3. Расположение датчиков

Всего было изготовлено и смонтировано на конструкциях пролетного строения 42 комплекта датчиков и электронных блоков преобразования информации. Все электронные блоки были соединены последовательно-параллельной связью с персональным компьютером и через адаптеры беспроводной связи соединены с главным пультом отображения информации.

В наиболее нагруженных в процессе монтажа сечениях с целью дополнительного контроля устанавливали механические индикаторы типа ИГМ на базе 500 мм. Объем показаний индикаторов осуществляли при помощи видеокамер и специально разработанной электронной схемы управления передачи информации с 8 видеокамер на головной компьютер. Информация с видеокамер считывалась по команде головного компьютера и сохранялась в базе данных.

Архитектура системы автоматического контроля динамики изменения напряжений в контрольных сечениях приведена на рис. 4.

Данные о напряжениях в металлоэлементах отображались в реальном времени. При превышении фактических значений напряжений над расчетными текущая информация отображалась красным цветом.

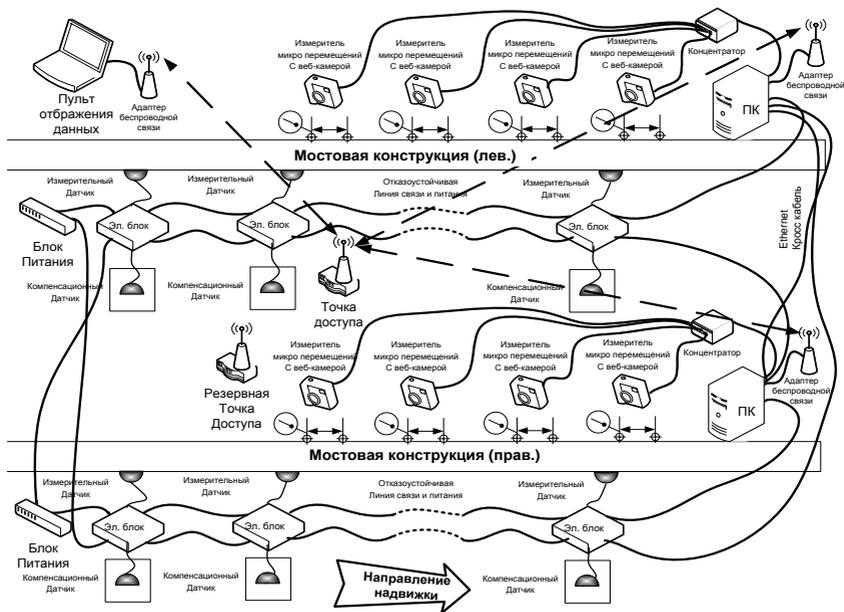


Рис. 4. Архитектура построения системы автоматического контроля динамики изменения внутренних механических напряжений в мостовой конструкции во время навигации

На рис. 5 приведены полученные при навигации графики, отображающие динамику изменения напряжений в контрольных точках сечений надвигаемого пролетного строения.

Анализ результатов показал, что на напряженное состояние сечений существенное влияние оказывают изменение скорости и направления ветра, изменение силы трения на перекаточных устройствах, моменты включения гидродомкратов толкающего устройства, положение солнца и разность температур верхового и низового блоков.

Величина остаточных напряжений в металле конструкций после заводской сварки измеренных с использованием переносных датчиков напряжений, изготовленных ООО «Сенсотроника», в среднем составляла  $90 \text{ кгс/см}^2$ , максимальные зарегистрированные напряжения –  $140 \text{ кгс/см}^2$ .

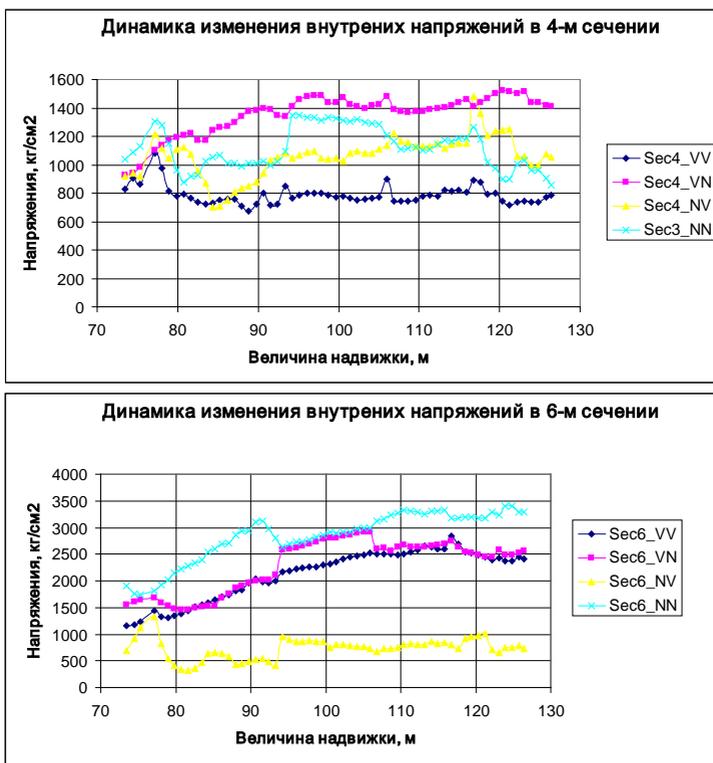


Рис. 5. Графики изменения внутренних напряжений в контрольных точках при надвижке пролетного строения

Процесс надвижки прошел без существенных превышений значений главных напряжений. При вылете консоли аванбека за ось опоры № 3 на длину 27,05 м датчики зарегистрировали резкий, но не превышающий контрольных значений, скачок напряжений в контрольном сечении блока БК11.

Визуальным контролем было выявлено смещение элемента связи между верховой и низовой коробками блоков БК11. Причиной такого смещения элемента связи явилась разница температур верхового и низового блоков в сочетании с запаздыванием включения в работу одного из домкратов на толкающем устройстве.

Таким образом, принятые меры по обеспечению непрерывного контроля напряженно-деформированного состояния способствовали

успешному осуществлению надвигки пролетного строения длиной 126 м без применения временных опор.

### **Литература**

1. Марышев, А.Б. Цикличная продольная надвигка /А.Б. Марышев // Строительная техника и технологии. – 2008. – № 5. – С. 134–141.

2. Платонов, А.С. Уроки аварий металлических конструкций мостов / А.С. Платонов // Транспортное строительство. – 2009. – № 6. – С. 6–9.

3. Цернант, А.А. Научное сопровождение объектов как условие обеспечения комплексной безопасности строительства /А.А. Цернант // Транспортное строительство. – 2009. – № 3. – С. 2–5.

УДК 624.21.04

## **ГИДРОФОБНЫЙ ЦЕМЕНТ И СПОСОБ ЕГО ПОЛУЧЕНИЯ**

**Гречухин В.А.**

***Белорусский национальный технический университет***

***(г. Минск, Республика Беларусь)***

Цементы марок 400 и 500 за 3 – 6 месяцев теряют хранения до 30 % активности. Поэтому актуально получение цемента, который будет сохранять свою активность при хранении и нормально гидратировать при затворении водой.

Теоретические представления о получении гидрофобных цементов основываются на работах П.А. Ребиндера, Е.Е. Сегаловой и др. [1 – 2]. Эти пленки образуются на зернах цемента при помоле или повторном домоле в мельницах с гидрофобизирующими добавками. Такой цемент способен храниться длительное время без существенной потери активности. При затворении водой гидрофобная пленка замедляет скорость гидратации цемента и повышает жизнеспособность бетонной смеси.

В работе для гидрофобизации цемента использована отработанная глина. Однако ее введение помолом или повторным домолом в мельницах неэффективно из-за образования комков ОГ покрытых слоем цемента. Учитывая это, разработан специальный способ.

Три части ОГ перетирали с четырьмя частями цемента в течение

0,5–3 минут с последующим совместным помолом в высокоскоростной мешалке до получения однородной смеси гидрофобного концентрата. Направление вращения меняли каждые 15 – 30 секунд. Перетирание менее 0,5 минут не дает требуемой однородности, а свыше 3 минут не повышает однородность смеси. При введении добавки в количестве более  $\frac{3}{4}$  от массы цемента и заполнение емкости более чем на 0,5 объема в нижней части емкости образуются комки [3].

В дальнейшем при смешении гидрофобного концентрата с цементом получали гидрофобный цемент. Тонкие гидрофобные пленки на цементных зернах, изолировали его от проникновения капельно-жидкой воды. Пленки имеют прерывистое, сетчатое строение, поэтому через них в ограниченном количестве проникают водяные пары и углекислый газ. Масса данного цемента при хранении в атмосферных условиях в мешке в течение 3 лет увеличилась на 2,3 %, в то время как у обычного (контрольного) цемента привес составил 19 %.

Гидрофобный цемент легко собирался в шарики диаметром 2 – 3 мм, что можно объяснить высокой полярностью ОГ. Шарик рассыпался от легкого воздействия. Вода при попадании на поверхность гидрофобного цемента скатывалась с него каплями, что связано с образованием на цементных зернах тонких водоотталкивающих пленок.

Гидрофобность цемента определяли по водопоглощению. Капля воды, нанесенная на его поверхность, свободно перемещалась и не поглощалась в течение 5 минут от момента нанесения на поверхность [4].

Таблица 1

Физико-механические показатели цемента и цементного камня с ОГ

Количество добавки, % масс. от цемента	Водопоглощение, %			Динамика набора прочности при сжатии, в % от 28 сут. контрольного				Сроки схватывания, час-мин	
	1 ч	1 сут	1 сут	3 сут	7 сут	1 сут	2 сут	На чало	К онец
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Без добавки (контроль)	1 7,2	2 0,7	2 2,9	51	6 3	7 8	1 00	2,3 0	3, 30
0,2	5 ,0	6 ,8	8 ,9	51	6 5	8 1	1 11	2,3 0	3, 30
0,5	3 ,0	4 ,2	6 ,3	50	6 5	8 0	1 11	2,3 0	3, 30

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,0	,5	,8	,5	48	4	8	09	2,3 0	3, 35
2,0	,6	,9	,3	41	5	8	0	2,3 5	3, 40
4,0	,3	,4	,6	26	6	4	2	2,3 5	3, 45

При просеивании гидрофобного цемента после трех лет хранения через сито № 8 комков и кусков обнаружено не было.

Вода, при затворении, за счет процесса адсорбции и массопереноса по микротрещинам проникает через сетчатые гидрофобные пленки и реагирует с зернами цемента [1]. Она адсорбируется на внутренних поверхностях цементного зерна, и оно разбухает, вызывая расклинивающее действие, приводящее к развитию и углублению микротрещин.

Гидратации также способствует взаимное трение частиц цемента. Нераскрывшаяся пленка замедляет гидратацию, обеспечивая увеличение жизнеспособности бетонной смеси, предотвращая комкование цемента. При гидратации обычного цемента, влияние влаги начинается преимущественно с поверхностных участков, вызывая слипание частиц, приводя к их агрегации и образованию комков. Поэтому смачивание гидрофобного цемента водой более равномерное и гидратация по объему цементного теста более согласованная.

В процессе перемешивания ОГ распределяется по всему объему цементного теста и не препятствует нормальному схватыванию и твердению цемента. После набора прочности, органическая масса придает цементному камню гидрофобные свойства, а высокодисперсные частицы неорганической массы заполняют пространство (поры и капилляры) между грубодисперсными частицами цемента и образуют многочисленные, хотя и слабые, дополнительные коагуляционные контакты между частицами твердой фазы. Объем высокодисперсного материала не должен превышать суммарный объем пор и капилляров, чтобы не препятствовать образованию прочных связей.

Поглощенная за счет гигроскопичности влага после химических реакций с клинкерной частью цемента не способна возвратиться в окружающую среду.

Процесс поглощения водяных паров из воздуха и их взаимодействия с цементом можно разделить на три фазы. Первая фаза –

сорбция паров воды водорастворимыми составляющими цемента и образование на поверхности цементных частиц слоя насыщенного водного раствора. Вторая фаза – постепенный переход пара в капиллярах в жидкость, появление менисков. Третья фаза – химическое взаимодействие поглощенной влаги с цементом. Этот процесс весьма длителен и может продолжаться до полного израсходования клинкерной части в цементе.

Благодаря гидрофобным пленкам цемент имеет низкую гигроскопичность и практически не слеживается при хранении. Цемент гидрофобизированный ОГ через год хранения сохранил сыпучесть, комки в нем отсутствовали, в то время как контрольный цемент слежался. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Количество, скомковавшегося цемента в %

Количество добавки, % масс.	Продолжительность хранения навалом		
	100 дней	1 год	3 года
Без добавки	85,0	90,0	98,0
0,2	19,9	23,5	27,1
0,5	12,3	13,1	15,3
1,0	9,2	10,3	12,1
2,0	5,5	6,2	7,9
4,0	3,2	3,5	3,6

Из таблицы видно, что через год хранения, гидрофобизированный цемент сохранил до 72 – 97 % своей сыпучести, в то время как контрольный цемент почти полностью пришел в негодность.

Стабильность характеристик бетона при повышении сроков хранения гидрофобных цементов подтверждает эксперимент, проведенный по ускоренному методу. Цемент М–500 и гидрофобизированный добавкой ОГ распределяли на противне, выдерживали 90 суток при относительной влажности воздуха 80 % при комнатной температуре. Результаты эксперимента приведены в таблице 3.

Таблица 3

## Прочность образцов при испытании на изгиб и сжатие

Количество добавки, %	Предел прочности (через суток), МПа							
	При сжатии				При изгибе			
	3	7	14	28	3	7	14	28
Без добавки	14,5	17,8	22,4	28,8	1,17	1,46	2,11	2,7
0,2	23,5	30,2	36,8	51,1	1,25	1,55	2,58	3,05
0,5	23,6	31,2	37,6	53,3	1,24	1,51	2,49	3,07
1,0	23,4	31,1	37,4	52,9	1,19	1,46	2,42	3,1
2,0	19,6	27,5	33,8	44,9	1,04	1,32	2,28	3,07
4,0	12,9	18,2	27,1	36,2	0,95	1,27	2,15	2,9

Анализ таблицы показывает, что прочность образцов изготовленных из обычного лежалого цемента, во все сроки испытания в среднем в 1,4 – 2 раза меньше, чем прочность образцов из такого же гидрофобизированного цемента.

**Влияние ОГ на свойства цементного теста.**

Влияние ОГ на нормальную плоту и сроки схватывания цементного теста определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 310.3.

На основании анализа экспериментальных данных установлена эмпирическая зависимость скорости гидратации цемента в зависимости от количества ОГ:

Начало схватывания цементного теста.

$$T_{нсд} = T_{нс} + T_{\partial}, \quad (1)$$

Конец схватывания цементного теста.

$$T_{ксд} = T_{кс} + 3 \cdot T_{\partial}, \quad (2)$$

Продолжительность схватывания цементного теста.

$$T_{нсд} = T_{нс} + 2 \cdot T_{\partial}, \quad (3)$$

где  $T_{нсд}$ ,  $T_{нс}$  – начало схватывания цементной смеси с и без ОГ, в минутах;

$T_{ксд}$ ,  $T_{кс}$  – конец схватывания цементной смеси с и без ОГ, в минутах;

$T_{нсд}$ ,  $T_{нс}$  – продолжительность схватывания цементной смеси с и без ОГ, в минутах;

$T_0$  – изменение времени гидратации цементного теста в минутах в зависимости от количества вводимой ОГ.

В числовом выражении время  $T_0$  примерно соответствует и изменяется на одну минуту при изменении количества ОГ  $D$  на 1 %.  $D$  – количество ОГ в %.

Данные формулы получены на основании следующих закономерностей. При введении ОГ прослеживалась примерно линейная зависимость изменения времени начала, конца и продолжительности схватывания цементной смеси. Максимальное отклонение расчетных и экспериментальных значений наблюдалось при введении ОГ в количестве 2 % масс. от цемента и составило 1,9 %.

Значения расчетных и экспериментальных показателей изменения параметров цементного теста при введении ОГ в количестве 0,2 – 4 % мас. от цемента приведены в таблице 4.

Таблица 4

Нормальная густота и время схватывания цементного теста

Количество добавки, % масс. от цемента	Нормальная густота цементного теста с ОГ	Время схватывания цементного теста, мин					
		Начало		Конец		Продолжительность	
		экспериментальное	расчетное	экспериментальное	расчетное	экспериментальное	расчетное
0,0	25,5	150	150	210	210	60	60
0,2	25,5	150	150	210	211	60	60
0,5	25,5	150	151	210	212	60	61
1,0	25,5	150	151	215	213	65	62
2,0	25,5	155	152	220	216	65	64
4,0	25,4	155	154	225	222	70	68

В таблице 4 расчетные значения времени схватывания получены по формулам 1 – 3.

Как следует из экспериментальных данных (таблица 4), ОГ в количестве до 4 %, не оказывает существенного влияния на схватывание цемента, увеличивая время окончания с 210 до 230 минут,

т.е. на 9,5 % и продолжительность с 60 до 75 минут, т.е. на 25 %. Что в итоге не оказывает на сроки существенного влияния.

### **Литература**

1. Ребиндер, П.А. О механической прочности пористых дисперсных систем / П.А. Ребиндер, Е.Д. Шукин, Л.Я. Маргулис // Докл. АН СССР. – 1964. – Т. 154, № 8. – С. 695–698.

2. Сегалова, Е.Е. Современные физико-химические представления о процессах твердения минеральных вяжущих веществ / Е.Е. Сегалова, П.А. Ребиндер // Строительные материалы. – 1960. – № 1. – С. 21–26.

3. Способ приготовления бетонной смеси: пат. 11645 Респ. Беларусь, С 04 В 40/00, 28/00 / Г.Д. Ляевич, В.А. Гречухин ; зарегистрирован в Государственном реестре изобретений. – 2008.11.26.

4. Определение гидрофобности цементов / Н.Ф. Кокнаев [и др.] // Цемент. – 1982. – № 4. – С. 18–19.

УДК 625.745.1-027

## **ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ГОРОДСКИХ МОСТОВ И ПУТЕПРОВОДОВ**

**Гулицкая Л.В., канд. техн. наук,  
Куш Н.Н., Король Е.А.,  
Шиманская О.С.**

***Белорусский национальный технический университет***

***(г. Минск, Республика Беларусь)***

Мосты и путепроводы являются важной составной частью городского хозяйства. В связи со значительным ростом в последние годы интенсивности движения городского автомобильного транспорта остро встает проблема повышения долговечности и обеспечения эксплуатационной надежности городских транспортных сооружений.

Научно-исследовательская лаборатория мостов и инженерных сооружений (НИЛ МИС) БНТУ с 1980 г. принимает активное

участие в программе исследования эксплуатационного состояния городских мостов и путепроводов Республики Беларусь. Как показывает многолетний опыт обследования городских мостовых сооружений, на эксплуатационную надежность и долговечность железобетонных транспортных сооружений значительное влияние оказывают, прежде всего, атмосферные факторы (осадки в виде снега и дождя, солнечная радиация) в совокупности с воздействием агрессивной городской среды, характеризующейся повышенной загазованностью городов и применением противогололедных реагентов.

Во многих случаях эти факторы оказывают на мостовые сооружения более разрушительное воздействие, чем временная нагрузка. Наиболее неблагоприятное воздействие на бетон оказывает вода при длительном замачивании и знакопеременных температурах в зимний и весенний периоды. Наиболее уязвимыми местами являются фасадные поверхности мостов и путепроводов, а именно: торцы ригелей опор, поверхности крайних балок и плит пролетных строений, тротуарные блоки. При этом основными повреждениями являются:

- разрушение защитного слоя бетона элементов опор (ригелей, шкафных стенок, открылков, свай и стоек) с обнажением и коррозией арматуры в результате длительного увлажнения и действия знакопеременных температур;
- разрушение защитного слоя бетона пролетных строений с обнажением и коррозией рабочей арматуры по вышеуказанным причинам;
- разрушение бетона карнизных и тротуарных блоков.

Картина возникающих повреждений и дефектов значительно усугубляется при нарушении герметичности деформационных швов и повреждении гидроизоляции мостового полотна. При этом необходимо отметить, что значительное количество мостовых сооружений, а именно мосты и путепроводы, запроектированные и построенные до 90-х годов XX века, отличаются такими дефектами, как отсутствие гидроизоляции и конструкций деформационных швов в зонах тротуаров (крайних балок и плит пролетных строений). Именно эти дефекты значительно увеличивают зоны поражения, в том числе и фасадных поверхностей мостов и путепроводов.

Следует заметить, что пролетные строения городских транспортных сооружений выполнены в основном из предварительно напряженного бетона. Нарушение герметичности деформационных

швов способствует систематическому воздействию агрессивных стоков с мостового полотна на бетон элементов сооружений в зонах опирания балок. Такое воздействие приводит к деструкции бетона торцов балок, а также провоцирует коррозионные процессы анкеров преднатянутой арматуры, что в процессе дальнейшего развития дефекта может привести к снижению несущей способности балок пролетных строений и отрицательно сказаться на грузоподъемности сооружения в целом.

Одним из дефектов, значительно снижающих эксплуатационную надежность городских транспортных сооружений, является некорректная система отвода воды с мостового полотна, приводящая к замочанию фасадных поверхностей сооружений и нижележащих конструкций. В условиях эксплуатации городских мостов и путепроводов большое значение имеет организация правильного эффективного сбора и отвода воды с мостового полотна за пределы сооружений, исключающего попадание стоков на фасадные поверхности сооружений и нижележащие конструкции.

Кроме того, установлено, что наибольшим разрушениям подвергаются, как правило, фасады мостов и путепроводов, выходящие на южную сторону. Это вызвано более сильным воздействием солнечной радиации и, соответственно, большим нагревом поверхности бетона.

Усиленному разрушению элементов городских мостов и путепроводов способствует и человеческий фактор, который присутствует при проектировании, строительстве и эксплуатации транспортных сооружений. Так, в проектах мостовых сооружений практически отсутствуют решения по защите фасадных поверхностей (устройство карнизов, сливов и т.д.) в отличие от проектов гражданских и промышленных зданий. При строительстве мостов и путепроводов подрядчики часто пренебрегают устройством сливов на ригелях опор, устанавливая водоотводные трубки недостаточной длины, в результате чего идет замачивание поверхности бетона опор и пролетных строений, способствуя его разрушению. Представители технического надзора не придают этим факторам особого значения, считая эти недоделки незначительными. Следует отметить недостаточный уровень квалификации (а иногда и полное ее отсутствие) у специалистов эксплуатирующих организаций. Ведь городские мосты и путепроводы находятся на балансе коммунальных служб, которые не уделяют должного внимания их содержанию

и эксплуатации, ограничиваясь лишь покраской перил и уборкой мусора. Городскими мостами и путепроводами, к сожалению, часто занимаются случайные люди, не имеющие соответствующего образования и квалификации. А ведь это важнейшие объекты городских транспортных коммуникаций, служащие не только для обеспечения беспрепятственного перемещения по городу, но и являющиеся украшением городского пейзажа. И если в столице – г. Минске дела обстоят достаточно неплохо, то в других городах нашей страны положение с содержанием и эксплуатацией городских транспортных сооружений оставляет желать гораздо лучшего. Особенно тяжелое положение с эксплуатирующими службами сложилось в небольших городах. Состояние городских мостов и путепроводов интересуют коммунальные службы крайне редко, и, к сожалению, зачастую лишь при возникновении аварийных ситуаций. Недостаток специалистов по содержанию мостов и путепроводов в эксплуатирующих организациях приводит к неграмотной эксплуатации этих сооружений – используются агрессивные солевые противогололедные смеси в зимний период, несвоевременно убирается снег с мостового полотна, не очищаются от мусора поверхности насадок опор (что затрудняет водоотвод), десятилетиями не выполняются рекомендованные специалистами по обследованию мостов работы по устранению повреждений элементов транспортных сооружений и причин их возникновения (в частности, работы по упорядочиванию водоотвода с мостового полотна и по защите фасадных поверхностей мостовых сооружений).

В настоящее время десятки мостов и путепроводов в городах Белоруссии имеют значительные площади поврежденных поверхностей конструкций. Иллюстрациями могут служить примеры дефектов, приводящих к снижению эксплуатационной надежности городских транспортных сооружений, зафиксированные сотрудниками НИЛ МИС при исследованиях технического состояния городских мостовых сооружений (рис. 1 и 2).



Рис. 1. Оголение и коррозия анкера преднапряженной арматуры балки № 6 на опоре № 7 моста через р. Днепр по просп. Пушкина в г. Могилеве (сентябрь 2009 г.)



Рис. 2. Разрушение бетона карнизного блока и балки 1 в пролете № 2 путепровода на пересечении ул.Гинтовта и МКАД в г. Минске (апрель 2010 г.)

Как показывает многолетний опыт обследования железобетонных мостовых сооружений для повышения долговечности и эксплуатационной надежности городских мостов и путепроводов необходимо:

- направлять в службы, отвечающие за городские транспортные сооружения, специалистов, знающих основы их эксплуатации;
- уделять больше внимания содержанию мостов и путепроводов, особенно в зимнее время;
- устанавливать защитные устройства на фасадные поверхности опор и пролетных строений;
- окрашивать фасадные поверхности атмосферостойкими красками;
- обеспечивать надежную герметичность деформационных швов, в том числе и в зонах тротуаров;

- обеспечивать сбор и отвод воды с мостового полотна за пределы сооружения, исключая попадание стоков на фасадные поверхности сооружений и нижележащие конструкции.

Необходимо преодолеть стереотип, сложившийся даже у специалистов, отвечающих за эксплуатацию городских транспортных сооружений, что железобетон – вечный материал. Несмотря на небольшие бюджеты многих городов Белоруссии, городские власти должны увеличивать финансирование содержания и ремонта транспортных сооружений, так как от их долговечности и эксплуатационной надежности зависит безопасность движения по городским мостам и путепроводам, внешний вид городов и сама жизнь горожан.

УДК 624.21:53.085.32

## **О МИНИМИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МОСТОВ**

**Гулицкая Л.В., канд. техн. наук,  
Куц Н.Н., Шиманская О.С.**

***Белорусский национальный технический университет  
(г. Минск, Республика Беларусь)***

Обеспечение устойчивого и безопасного функционирования мостовых сооружений на автомобильных и железных дорогах, как наиболее сложных и ответственных звеньев транспортной системы страны – важнейшая задача организаций и служб, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией мостов и путепроводов.

Автодорожные мосты и путепроводы относятся к инженерным сооружениям, которые работают в сложных условиях, несравнимых с основными типами гражданских и промышленных зданий, которые рассчитываются на заранее определенные фактические нагрузки. Даже железнодорожные мосты работают в менее сложных условиях, так как по ним обращаются строго определенные нагрузки, параметры которых не меняются десятки лет. Кроме того, железнодорожные пути располагаются в строго определенном месте моста

или путепровода, которое обеспечивает оптимальное загрузку пролетного строения.

Иная картина на автодорожных мостах и путепроводах. Автомобили перемещаются не только вдоль моста, но и поперек его. Нередки случаи прохождения сверхнормативных нагрузок, так как не везде есть пункты взвешивания.

При строительстве мостов основной причиной рисков является человеческий фактор. К составляющим такого фактора следует относить:

- ошибки при разработке проектов производства работ и им подобных технологических схем (уравновешенного монтажа, передвижек пролетных строений и т.д.);
- отступления от строительного проекта и грубые нарушения технологии строительства;
- отсутствие должного контроля со стороны производителей работ (мастеров) и представителей технического надзора.

При эксплуатации мостовых сооружений причиной создания аварийных ситуаций могут быть и форс-мажорные обстоятельства, но основной причиной остается человеческий фактор.

Основные причины техногенных рисков при эксплуатации мостов и путепроводов следующие:

- авария моста или путепровода по причине ошибок в проектной документации;
- аварии на мостовых сооружениях в результате некачественного выполнения строительно-монтажных работ;
- повреждение несущих элементов конструкции моста при движении по нему транспортных средств;
- аварии мостов при таранном воздействии речных судов на опоры или пролетные строения;
- аварии путепроводов при недостаточном подмостовом габарите или в результате прохождения транспортного средства с габаритом по высоте больше допустимого;
- повреждения мостов и путепроводов в результате аварий на проложенных по ним коммуникациях – газопроводах, трубопроводах с горячей водой под давлением и т.д.;
- аварии на городских мостовых сооружениях в результате нецелевого использования подмостового пространства;

- аварии мостов и путепроводов из-за отсутствия надлежащего ухода за сооружением.

Аварии (обрушение) мостов и путепроводов в результате ошибок в проектной документации на территории Республики Беларусь не регистрировались, по крайней мере, с конца 60-х годов прошлого века. Залогом этого является достаточно высокое качество проектной документации и широкое использование типовых проектов опор и пролетных строений.

Повреждение элементов мостовых конструкций в результате наезда на них автомобилями были зафиксированы на мостах через р. Припять у г. Мозыря, через р. Березина в г. Борисове. Эти повреждения были своевременно устранены.

Аварии мостов в результате таранных воздействий речных судов на территории Республики Беларусь случаются редко из-за небольшой интенсивности движения и небольших размеров водных транспортных средств, чаще при этом случаются повреждения элементов опор. Так, в ноябре 2007 года в г. Бресте произошло разрушение стойки опоры моста через р. Мухавец в результате навала баржи. До проведения ремонтных работ по усилению поврежденной опоры было закрыто движение пешеходов по тротуару и ограничено движение автотранспорта по мосту.

Повреждение пролетных строений путепроводов в результате удара негабаритных транспортных средств – достаточно частое явление, особенно в городах. Причина этого – человеческий фактор: безответственность и халатность водителей, а также лиц, ответственных за перевозку негабаритных грузов.

При аварии коммуникаций, проложенных по мостовым сооружениям, могут получить серьезные повреждения сами мостовые конструкции вплоть до разрушения. Так, в 2006 году при разрыве трубы теплотрассы, проложенной под крайними балками пролетного строения путепровода по ул. Молодежной в г. Новополоцке, сооружение получило следующие повреждения: размыв конуса опоры, обрушение крайней переходной плиты под тротуаром, разрушение тротуаров на сопряжении путепровода с подходом, нарушение целостности кабелей коммунального назначения, проложенных под тротуаром. По счастливой случайности пешеходы и автотранспорт не пострадали.

Аварии на городских мостовых сооружениях в результате нецелевого использования подмостового пространства – это повреждение мостовых конструкций в результате чрезвычайных ситуаций, возникающих в гаражах и торговых точках, на складах и автостоянках, расположенных под мостами и путепроводами. На территории Республики Беларусь такие случаи пока не фиксировались, но факты нецелевого использования подмостового пространства есть. Так, значительная площадь пространства под путепроводом по ул. Пионерской в г. Бресте занята десятками самовольно установленных гаражей (рис. 1).



Рис. 1. Загромождение гаражами подмостового пространства путепровода по ул. Пионерской в г. Бресте (июль 2008 г.)

В случае пожара возможно массовое загорание гаражей со взрывами бензина в баках автомобилей. В г. Москве в 2007 году в результате пожара, произошедшего в торговых киосках, расположенных под эстакадой третьего транспортного кольца, было деформировано стальное пролетное строение, что повлекло за собой его полную замену.

Из-за отсутствия надлежащего ухода за мостовыми сооружениями многие из них находятся в предаварийном или аварийном состоянии. Причины – отсутствие квалифицированных специалистов, отсутствие денежных средств на проведение ремонтных работ. Так, весной 2006 года в г. Гомеле на железнодорожные пути, прямо перед движущимся поездом, упала крайняя балка пролетного строения путепровода Кузнечный (рис. 2).



Рис. 2. Обрушение части пролетного строения путепровода

По счастливой случайности никто не пострадал, но поезд получил повреждения. На угрозу такого развития событий организации, эксплуатирующей данный путепровод, неоднократно указывали сотрудники НИЛ мостов и инженерных сооружений БНТУ, но никаких серьезных мер принято не было.

Для минимизации техногенных рисков при строительстве и эксплуатации мостов целесообразно привлечение органов МЧС. По мнению авторов статьи, органы МЧС должны:

- согласовывать проекты производства работ больших и внеклассных мостов, аналогично требованиям подраздела 9.2 ТКП 45-3.03-19-2006 «Автомобильные дороги. Нормы проектирования» в отношении мостов через судоходные реки;
- совместно с заинтересованными организациями провести обследование мостов на судоходных участках рек Сож, Днепр, Припять, Западная Двина, Неман на предмет устройства защиты от возможных таранных ударов речных судов;
- согласовывать проекты прокладки коммуникаций по мостам и путепроводам;
- регулярно контролировать состояние подмостового пространства городских транспортных сооружений, не допуская размещения под ними гаражей, складов, автостоянок, торговых точек и т.п., аналогично тому, как это практикуется при соответствующих проверках различных промышленных и гражданских зданий и сооружений.

Приведенный выше анализ показывает, что основной причиной техногенных рисков при строительстве и эксплуатации мостовых

сооружений является человеческий фактор. Для снижения ущерба от техногенных рисков, вызванного этим фактором, необходимо:

- строгое соблюдение правил дорожного движения и правил судоходства по рекам;

- при перевозке негабаритных грузов автотранспортом заранее обследовать маршрут перевозки с инструментальным определением подмостовых габаритов;

- составлять схему маршрута перевозки негабаритных грузов с указанием величины подмостовых габаритов;

- организовывать сопровождение спецавтотехники, перевозящей негабаритные грузы, не допуская отклонение от заданного маршрута;

- строго соблюдать требования проекта при строительстве мостовых сооружений, особая роль при этом возлагается на представителей технического надзора Заказчика;

- неукоснительно выполнять все требования по эксплуатации мостов и путепроводов, особенно это актуально для городских сооружений;

- регулярно повышать профессиональный уровень работников, занятых в сферах строительства и эксплуатации мостов;

- внедрять передовые методы труда и опыт лучших работников, поощрять внимательность и четкость при выполнении своих профессиональных обязанностей в организациях, выполняющих работы по строительству и содержанию мостовых сооружений.

### **Литература**

1. Автомобильные дороги. Нормы проектирования: ТКП 45–3.03–19–2006. – Минск: РУП «Минсктиппроект», 2006. – 42 с.

2. Коломиец, А.В. Человеческий фактор и дисциплина в обеспечении безопасности движения / А.В. Коломиец // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса: материалы II международной научно-практической конференции. – Гомель: БелГУТ, 2008.

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАГРУЗКИ LM1 ПО ЕВРОКОДУ 1 В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Гусев Д.Е., канд. техн. наук**

**ООО «ЭКОМОСТ»**

**(г. Минск, Республика Беларусь)**

После введения в 2010 г. в Республике Беларусь Еврокодов, встала проблема применения приведенных в нем транспортных нагрузок при проектировании новых сооружений мостового типа.

Национальным приложением к ТКП EN 1991-2 определено, что в качестве нагрузки LM3 допускается применение нагрузки A14 для сооружений, не входящих в систему трансъевропейских транспортных коридоров 2 и 9. Однако, нагрузка A14 не совсем подходит под определение нагрузки LM3, которое предусматривает совокупность осевых нагрузок, представляющих специальные транспортные средства, которые могут перемещаться по маршрутам, разрешенным для сверхнормативных нагрузок. Под это определение подходят нагрузки типа НК 112 и АБ по СНиП 2.05.03-84\*, но никак не нагрузка АК, которая имеет в своем составе равномерно-распределенную часть и предназначена для проектирования мостов на дорогах общего пользования.

Еврокодом предлагается ранжировать величину весовых параметров нагрузки LM1 путем применения понижающих коэффициентов  $\alpha$  не менее 0,8 в зависимости от напряженности движения по магистралям. В условиях Беларуси более правильным было бы ввести данные коэффициенты в зависимости от категории дороги и привести их в п.4.3.2 Еврокода, а нагрузку АК на территории Беларуси отменить. Это позволило бы избежать путаницы и неопределенности в применении временных нагрузок при проектировании новых мостов. Более того, Еврокодом негласно допускается

применение коэффициентов  $\alpha$  и менее 0,8, который можно было бы применить на дорогах низких категорий, однако в этом случае движение по данным мостам должно быть ограничено знаками.

Нагрузка НК 112 в одном из пунктов национального приложения допускается как одна из схем LM3, но в ТКП EN 1991-2 (приложение А) имеется набор из 8 специальных средств класса от 600/15 до 3600/240. В национальном приложении достаточно было бы лишь установить, на каких категориях дорог необходимо принятие того или иного класса.

Использование нагрузок АК и НК112 может быть оправдано только в период адаптации Еврокодов в Беларуси.

Исследуем степень изменения усилий от нагрузки LM1 по сравнению с нагрузками по СНиП 2.05.03-84. Нагрузка LM1 представляет собой систему из тандемов (TS) и полос равномерно распределенной по площади нагрузки (UDL). Очевидно, что весовые параметры значительно превосходят нагрузку A14 введенную в Республике Беларусь изменениями № 3 к СНиП 2.05.03-84\*. Однако, превышение значений усилий от нагрузки LM1 по сравнению с A14 для каждого сооружения может быть разным. Параметры и правила установки нагрузки LM1 приводятся в ТКП 1991 (часть 2), а частные коэффициенты для временных и постоянных нагрузок – в СТБ EN 1990 (в применении к мостам – изменение № 1, приложение А).

Однозначно сравнить нормативные значения усилий от временных нагрузок LM1 и A14 не представляется возможным, так как в весовых параметрах нагрузки LM1 уже учтено динамическое дополнение, которое влияет на величину нормативных усилий. Динамический же коэффициент для нагрузки A14 учитывается только при определении расчетных усилий по первой группе предельных состояний. Поэтому, произведем сравнение только расчетных значений от временных нагрузок. Более того, доля составляющей от временной подвижной нагрузки LM1 зависит от варианта сочетания временных и постоянных нагрузок, которое регламентируется поправочными коэффициентами  $\xi$  и  $\psi$ . Поэтому полноценное сравнение воздействия временных нагрузок без учета влияния постоянной нагрузки будет некорректным.

Проанализируем степень воздействия нагрузки LM1 в сравнении с нагрузкой A14 на примере двух типов сооружений. В качестве первого типа выбрано разрезное балочное пролетное строение длиной 6 м выполненное из сборных плит на шпоночном стыке. Второй тип – пролетное строение из преднапряженных двутавровых

балок пролетом 33 м. Для обоих типов исследовались варианты мостов с габаритом ездового полотна шириной 8 м при двухполосном движении с двумя тротуарами шириной по 1 м и вариант с габаритом 16,5 м для четырех полос движения с двумя тротуарами шириной по 3 м. Конструкция мостового полотна принята типичной для установившейся на сегодняшний момент практики проектирования в Республике Беларусь. В качестве расчетных во всех вариантах выбраны крайняя и наиболее загруженная средняя балки.

В качестве постоянной нагрузки в обоих расчетах применена нагрузка от собственного веса конструкций и нагрузка от стандартной конструкции мостового полотна толщиной 15 см. Расчет для вариантов с узким габаритом выполнен как для моста на дорогах общего пользования, а для вариантов с широким габаритом – как для городского моста. Коэффициенты надежности для определения усилий от элементов постоянной нагрузки приняты по СНиП 2.05.03-84\* при расчете совместно с нагрузкой А14. Частный коэффициент безопасности для всех постоянных нагрузок при учете их совместно с нагрузкой LM1 принят в соответствии с таблицей А.2.4(В) дополнения № 1 к СТБ ЕН 1990. Понижающие коэффициенты  $\alpha$  для параметров нагрузки LM1 не вводились, так как ранжирование его в существующей версии национального приложения отсутствует.

В качестве усилия принят изгибающий момент в середине пролета балок, так как в большинстве случаев именно это усилие и в этом сечении является определяющим для грузоподъемности пролетного строения в целом.

Результаты сравнительного расчета приведены в таблице 1 и на рис. 1.

Таблица 1

Расчетные изгибающие моменты (КН м) в середине пролета  
главных балок (плит), определенных по СНиП 2.05.03-84\*  
и ТКП EN 1991-2 и СТБ EN 1990

Нагрузка или сочетание		Плитное пролетное строение длиной 6м				Балочное пролетное строение длиной 33м			
		габарит 8м		габарит 16.5м		габарит 8м		габарит 16.5м	
		крайняя	промеж.	крайняя	промеж.	крайняя	промеж.	крайняя	промеж.
СНиП 2.05.03- 84*	Посто янная	56	45	78	47	4840	4330	580 0	4330
	A14	117	184	56	220	2460	2770	132 0	2640
	Сумма	173	229	134	267	7300	7100	712 0	6970
ТКП EN 1991-2 СТБ 1990	Пос- тоянна я	65	51	92	48	5697	4955	634 5	4590
	LM1	183	256	101	250	4960	5100	266 0	5200
	Сумма по форму ле 6.10	249	307	192	298	10657	1005 5	900 5	9790
	Сумма по форму ле 6.10a	239	299	179	290	9802	9311	805 3	9102
	Сумма по форму ле 6.10б	197	234	164	226	8757	8101	798 6	7798

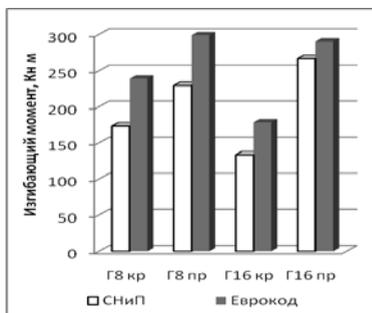
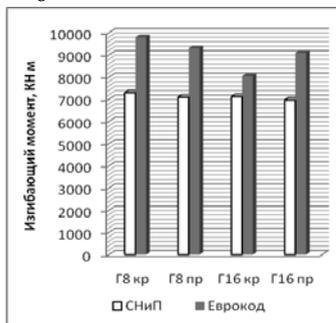
*а**б*

Рис. 1. Диаграммы сравнения изгибающих моментов в середине пролетов главных балок (плит) пролетных строений, вычисленных по нормам СНиП 2.05.03-84\* и ТКП EN 1991-2; *а* - для плитных пролетных строений длиной 6 м, *б* – для балочных пролетных строений длиной 33 м

Для удобства анализа построена диаграмма (рис. 2), на которой показано превышение расчетных значений усилий в главных балках (плитах) по Еврокоду в сравнении с максимальной расчетной нагрузкой, полученной по СНиП 2.05.03-84\*.

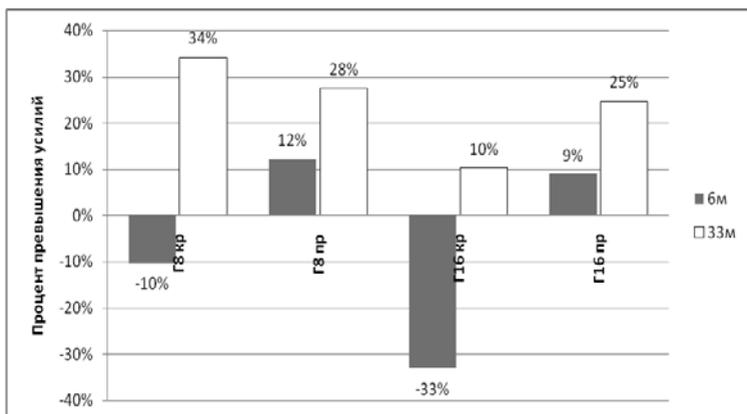


Рис. 2. Диаграмма, показывающая превышение усилий в главных балках (плит) пролетных строений, вычисленных по нормам ТКП EN 1991-2 в сравнении с максимальными усилиями определенными по СНиП 2.05.03-84\*

Для пролета длиной 6 м в качестве наиболее загруженной плиты принята промежуточная плита на широком габарите, а для пролета длиной 33 м – крайняя балка на узком габарите. Эти значения с некоторым запасом условно можно принять за предельные, на которые должны быть запроектированы типовые конструкции по СНиП 2.05.03-84\*.

Из анализа полученных результатов видно, что для пролетных строений длиной 6 м превышение расчетных усилий определенных по Еврокоду не превышает более чем на 12 % предельные усилия, определенные по СНиП 2.05.03-84\* от нагрузки А14 в сочетании с постоянной нагрузкой. При этом усилия в крайних плитах для узких и широких мостов от нагрузок по Еврокоду оказались даже ниже предельных значений. Для пролетов длиной 33 м превышение усилий составит для широких габаритов – 25 %, для узких – 34 %.

Возможные решения для повышения несущей способности железобетонных балочных пролетных строений мостов запроектированных на нагрузку А14 до уровня нагрузки LM1 могут быть основаны на трех вариантах. В первом варианте усиление достигается за счет изменения компоновочной схемы поперечного сечения пролетного строения (уменьшение шага балок, применение разного шага балок). Во втором варианте необходимое усиление может быть достигнуто за счет применения накладной монолитной железобетонной плиты включенной в совместную работу с существующими типовыми балками. Третий вариант – переработка существующих пролетных строений и изменение их конструкции и (или) армирования. Для того, чтобы эти изменения были минимальными необходимо для существующих опалубочных форм подобрать новое армирование, а в случае недостаточности данного шага – увеличить высоту сечения балок.

Учитывая вышесказанное, можно предположить, что увеличение стоимости строительства сооружений, вызванное переходом на нагрузки по ТКП EN 1990-2 не превысит 15 %, а в некоторых случаях увеличения стоимости вообще не произойдет. Все зависит от конкретной категории автодороги, компетентности проектировщиков и оптимальности запроектированной конструкции.

## **Литература**

1. Мосты и трубы : СНиП 2.05.03-84. – Москва : Госстрой СССР: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 200 с.
2. Основы проектирования несущих конструкций : СТБ ЕН 1990-2007. Еврокод. – Минск: Госстандарт, 2008. – 54 с.
3. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 2. Транспортные нагрузки на мосты: ТКП ЕН 1991-2-2009. – Минск : Минстройархитектуры, 2010. – 147 с.

УДК 624. 21.012

## **НЕКОТОРЫЕ РЕЗЕРВЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

**Зиневич С.И., канд. техн. наук, доцент,  
Гурбо Н.М., канд. техн. наук, доцент,  
Леонович И.И., д-р техн. наук, профессор,  
Венцкович В.Б., Соболевская С.Н.**

***Белорусский национальный технический университет***

***(г. Минск, Республика Беларусь)***

### **Введение**

Вопросы долговечности железобетонных конструкций, в том числе и транспортных сооружений к которым относятся мосты, эстакады, водопропускные трубы, подпорные стенки и другие сооружения, возводимые на автомобильных дорогах, очень важны. Ежегодное коррозионное разрушение приводит к безвозвратной потере до 2 % железобетона от общего объема его производства [1]. Железобетон, как известно, сложно ремонтировать и, следовательно, ремонтные работы имеют большую стоимость.

Долговечность транспортных сооружений закладывается на стадии проектирования и строительства. Вместе с тем, большое значение на срок их службы имеют работы по содержанию и текущему ремонту, проводимые в период эксплуатации сооружения. Степень влияния таких работ на долговечность в рамках имеющего финансирования, зависит от правильного их планирования. Иными словами, оптимизация планирования работ по содержанию и текущему ремонту может

быть резервом для продления срока службы транспортных сооружений.

На данный момент большинство работ ученых направлены на продление срока службы железобетонных конструкций за счет оптимизации состава бетона и технологии их изготовления. В настоящей работе предпринята попытка поиска путей повышения долговечности железобетонных конструкций, и в частности, транспортных сооружений за счет оптимизации их эксплуатации. В качестве объекта исследования были выбраны дорожные мосты и путепроводы.

Работа выполнялась на основе материалов диагностики ряда мостовых сооружений, проведенной в соответствии с действующей инструкцией.

### **Основная часть**

Анализ материалов диагностики показал, что все имеющиеся на мостах и подходах к ним дефекты можно разделить на две группы. Первую группу составляют дефекты, которые появляются в процессе эксплуатации сооружения, назовем их «разрушения». Это трещины, сколы, карбонизация бетона, коррозия арматуры, неровности на проезжей части и др. Эти дефекты имеют свойство прогрессировать во времени.

Вторую группу составляют дефекты, которые не прогрессируют во времени. Это такие дефекты как отсутствие барьерного или перильного ограждения, отсутствие дорожных знаков, наличие крупногабаритных предметов в зоне моста и другие дефекты такого плана. Дефекты этой группы по сути вообще не должны быть на мостах. Назовем их «разовыми» из соображений, что в процессе эксплуатации моста они устраняются один раз и больше к ним не надо возвращаться.

Совершенно очевидно, что из двух названных групп влияние на долговечность моста оказывают дефекты первой группы, т.е. разрушения, и борьба с ними есть один из путей продления сроков службы дорожных мостов. Вместе с тем, дефекты второй группы (разовые дефекты) также нельзя оставлять без внимания, поскольку они оказывают большое влияние на транспортно-техническое состояние мостового перехода, в том числе и безопасность движения. Учитывая это, а также особенность разовых дефектов после их устранения больше не появляться, целесообразно изыскать возможность и провести кампанию по их полной ликвидации. Устранение

разовых дефектов может быть организовано в зимний период времени, когда затруднены работы по ремонту цемента- и асфальтобетона. Необходимо отметить, что на продиагностированных мостах разовые дефекты составили почти 35 % от общего количества дефектов и их устранение потребует значительных усилий. Вместе с тем, выполнение этой задачи в дальнейшем даст возможность сосредоточить все выделяемые средства на борьбу с разрушениями.

При планировании работ по ремонту разрушений нужно в первую очередь выбирать работы, выполнение которых устранит причины образования разрушений или значительно отсрочит их появление, а следовательно, продлит срок службы моста. Причину недостаточной долговечности железобетонных конструкций связывают с коррозией стальной арматуры. Коррозия же арматуры, как известно, начинается при переходе ее из пассивного состояния в активное чаще всего из-за карбонизации бетона на всю толщину защитного слоя или накопления хлор-ионов в приарматурной зоне бетона сверх критической концентрации. Коррозия стальной арматуры может быть также по причине механического повреждения защитного слоя. Длительность пассивного состояния стальной арматуры железобетонных конструкций по [2, 3, 4, 5, 6, 7] определяется внутренними факторами, влияющими на проницаемость бетона для агрессивных сред (структура бетона, толщина защитного слоя, содержание добавок ингибиторов коррозии), и внешними факторами определяющимися особенностями окружающей среды (температурно-влажностный режим, концентрация в окружающей среде агрессивных реагентов).

Применительно к транспортным сооружениям и, в частности, к дорожным железобетонным мостам можно выделить еще одну группу факторов, ускоряющих начало коррозии стальной арматуры, назовем ее «эксплуатационная». В эту группу отнесем:

- 1) все причины, способствующие замочанию бетона водой, что приводит к ускоренному насыщению конструкций моста водой и солевыми растворами;
- 2) не своевременный ремонт мест локальных повреждений защитного слоя, что обуславливает нахождение стальной арматуры в непосредственном контакте с окружающей средой и как следствие ее коррозию;

3) наличие неровностей на поверхности проезжей части, усиливающих динамическое воздействие транспорта на конструктивные элементы, их вибрацию и, как следствие, ускорение процесса разрушения защитного слоя;

4) перегрузка пролетных строений дорожной одеждой (укладка в процессе ремонта нового покрытия без удаления старого), приводящая к образованию и раскрытию трещин;

5) пренебрежение в процессе эксплуатации средствами вторичной защиты бетона, к которым относится покраска, пропитка водоотталкивающими составами, торкретирование.

Если факторы двух первых групп (внутренней и внешней) в процессе эксплуатации изменить практически невозможно, то факторы третьей (эксплуатационной) группы в рамках содержания и текущего ремонта, могут сводиться до минимума, а, следовательно, до минимума будет сводиться и их влияние на сокращение срока службы моста.

Является очевидным, что каждый из перечисленных факторов эксплуатационной группы в разной степени будет влиять на долговечность моста и здесь есть широкое поле деятельности в плане оптимизации планирования работ по их содержанию.

Рассмотрим перечисленные пять факторов и их значение для долговечности мостов.

Одним из наиболее опасных для бетона факторов из пяти перечисленных, который, по мнению авторов, должен устраняться в первоочередном порядке, является замокание бетона водой. На обследованных мостах этот вид разрушений составил 38 % от общего количества разрушений. Основными причинами замокания бетона являлись:

1) разрушение или засорение элементов поверхностного водоотвода;

2) разрушение деформационных швов, приводящее к замоканию концов балок и опорных частей моста;

3) неудачное проектное решение по поверхностному водоотводу, при котором сброс воды с проезжей части осуществляется через тротуары. В этом случае, как правило, происходит быстрое разрушение тротуарных блоков и торцов крайних балок.

Все эти причины могут устраняться в рамках текущего ремонта и содержания, в том числе и исправление поверхностного водоотвода,

например, путем замены тротуарных блоков монолитными тротуарами с уклоном в сторону проезжей части и установкой по линии перелома уклонов (тротуара и проезжей части) водоотводных труб.

После устранения причин замокания бетона должны ликвидироваться локальные разрушения защитного слоя. Разрушение защитного слоя начинается с шелушения, отслаивания и в дальнейшем происходит более глубокие разрушения с оголением арматуры. Проведенные обследования ряда мостов показали, что из всех имеющихся на момент обследования дефектов, разрушения защитного бетона составили 29 %, и среди них 62 % с оголением арматуры. Незащищенная арматура, контактируя с агрессивной средой, подвергается коррозии, которая уменьшает площадь ее поперечного сечения, а, следовательно, происходит снижение несущей способности всей конструкции. Поэтому очень важно в процессе эксплуатации сооружения своевременно выявлять места с разрушенным защитным слоем и проводить работы по его восстановлению, предотвращая тем самым дальнейшее развитие коррозии арматуры, а также дальнейшее разрушение самого защитного слоя. Своевременное качественное восстановление защитного слоя позволит значительно продлить срок службы мостов.

Вместе с тем, выполнить качественно ремонт защитного слоя мостовых конструкций с оголенной ржавой арматурой весьма не просто. Основная трудность обусловлена плохой «приживаемостью» нового ремонтного материала со старым материалом особенно в условиях постоянного колебания сооружения от проходящего транспорта. Проблематично также ликвидировать начавшийся процесс коррозии арматуры.

Для обеспечения качества при выполнении ремонта необходимо вначале установить причины разрушения защитного слоя и правильно выбрать материал и технологию ремонта.

Нередко параллельно с ремонтом защитного слоя приходится решать вопрос усиления конструкций путем дополнительного армирования.

Авторами предложен метод ремонта защитного слоя, который применялся на ряде мостов Республики Беларусь с использованием металлической сетки (рyбицы). Сущность метода в том, что после ликвидации ржавчины на арматуре ремонтный состав наносится способом торкретирования на предварительно

пристрелянную металлическую сетку. Металлическая сетка выполняет несколько функций:

1) Обеспечивает фиксацию наносимого ремонтного материала и надежное удержание его в период набора прочности, что важно в условиях колебания сооружений от воздействия проходящего транспорта.

2) После набора прочности ремонтного материала сетка в защитном слое выполняет роль арматуры. Такой защитный слой имеет значительно большую устойчивость к различного рода воздействиям.

3) В случае перекрытия армированным защитным слоем всей длины балки, создается эффект ее усиления.

Одной из существенных причин, приводящих мостовые конструкции к разрушениям, является наличие неровностей на проезжей части моста, а также перегрузка его пролетных строений дорожной одеждой. На обследованных мостах, эти дефекты в сумме составили 23 %.

На сегодня нет научно обоснованных данных о степени влияния на скорость появления разрушений неровной проезжей части и перегрузки пролетных строений дорожной одеждой. Наличие таких данных позволило бы более эффективно, с точки зрения продления срока службы мостов, использовать выделяемые на текущий ремонт и содержание средства.

В настоящее время на кафедре «Соппротивление материалов и теория упругости» БНТУ проводятся исследования о влиянии неровности проезжей части на силу динамического воздействия транспорта на конструкцию моста, а также о степени негативного воздействия на мост перегрузки его пролетных строений дорожной одеждой. Результаты этих исследований можно будет использовать для оптимизации планирования работ по текущему ремонту мостов.

Немаловажными с точки зрения долговечности мостов являются мероприятия по вторичной защите бетона. Эти вопросы также требуют детального изучения, чтобы ответить на вопрос: на сколько продлевают срок службы мостовым конструкциям пропитки, покраска и торкретирование.

### **Заключение**

Настоящая работа посвящена вопросам долговечности дорожных мостов. Значимость настоящей работы заключается в том, что в ней на ряду с внутренними (свойство бетона) и внешними (особенности окружающей среды) факторами, определяющими срок службы

железобетонных мостовых конструкций, выделяется и детально рассматривается еще одна группа факторов, так называемых «эксплуатационных», к которым в работе отнесены: причины способствующие замоканию бетона водой; не своевременный ремонт мест локальных повреждений защитного слоя; наличие неровностей на проезжей части; перегрузка пролетных строений дорожной одеждой; пренебрежение в процессе эксплуатации средствами вторичной защиты бетона.

Каждый из перечисленных факторов в разной степени влияет на долговечность моста. На сегодня нет научно-обоснованных данных о степени влияния эксплуатационных факторов на срок службы моста и в этом направлении нужно продолжить исследования. Такие данные позволят оптимально выбирать виды работ с точки зрения увеличения долговечности мостов.

### Литература

1. Кривцов, Д.К. Долговечность бетонов с комплексной добавкой в агрессивных средах: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.23.05 / Д.К. Кривцов ; Ин-т инженеров ж.-д. трансп. – Санкт-Петербург, 1993. – 26 с.
2. Долговечность железобетона в агрессивных средах/ С.Н. Алексеев [и др.] ; под общ. ред. С.Н. Алексеева. – Минск : Стройиздат, 1990. – 320 с.
3. Васильев, А.И. Прогноз коррозии арматуры железобетонных мостовых конструкций при карбонизации защитного слоя / А.И. Васильев // Бетон и железобетон. – 2001. – № 3. – С. 16–20.
4. Васильев, А.И. Прогноз коррозии арматуры железобетонных конструкций автодорожных мостов в условиях хлоридной агрессии и карбонизации / А.И. Васильев, А.М. Подвальный // Бетон и железобетон. – 2002. – № 6. – С. 27–32.
5. Бабицкий, В.В. Основы прогнозирования коррозии стальной арматуры железобетонных конструкций / В.В. Бабицкий // Вестник Полоцкого государственного университета. Прикладные науки. – 2004. – № 12. – С. 111–116.
6. Бабицкий, В.В. Прогнозирование коррозии стальной арматуры железобетонных конструкций / В.В. Бабицкий // Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и мостов: сб. научных трудов. Вып. 16. / РУП «БелдорНИИ», – Минск, 2004. – С. 163–167.

7. Бабицкий, В.В. Прогнозирование глубины карбонизации бетона / В.В. Бабицкий // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров в Республике Беларусь: материалы VI Международного научно-технического семинара / под ред. Н.П. Блещика, А.А. Борисевича, Т.М. Пецольда. – Минск: УП «Технопринт», 2000 г. – С. 3–6.

УДК 624.2: 699.82(083.75)

## **ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНОГО ТИПА БИТУМА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ МОСТОВЫХ И ТОННЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Ляхевич Г.Д., д-р техн. наук, профессор,  
Максименко А. Л.**

***Белорусский национальный технический университет***

***(г. Минск, Республика Беларусь)***

### **Введение**

Дорожные битумы широко используются для приготовления гидроизоляционных материалов. В настоящее время промышленностью выпускаются битумы трех структурных типов. При этом их физико-механические свойства существенно различаются. Непосредственное использование их для приготовления качественных гидроизоляционных материалов не представляется возможным. Поэтому необходима модификация битумов трех структурных типов полимерами, пластификаторами, суспензией растворенной резины и др.

Цель исследований – создать композитное вяжущее (КВ) для гидроизоляции мостовых и тоннельных конструкций на основе битумов различного структурного типа путем их модификации.

### **Выбор объектов исследования**

#### **Битумы**

Для приготовления композитных вяжущих использовались нефтяные дорожные вязкие битумы марок БНД и БН. Битумы мы рассматриваем как растворы асфальтенов и твердых смол в более низкомолекулярной среде нефтяных масел. Свойства битумов зависят

от их структуры. Структурную характеристику битумов можно выразить показателем дисперсности D:

$$D = (C + Ц) / (A + Н), \quad (1)$$

где С, Ц, А и Н — соответственно содержание смол, циклических соединений (преимущественно ароматических), асфальтенов и насыщенных соединений, мас. %.

При большом содержании асфальтенов и насыщенных соединений показатель дисперсности уменьшается и асфальтены плохо диспергируются. Однако необходимо отметить, что приведенная зависимость (1) не учитывает природу циклических соединений и смол и их растворяющую способность по отношению к асфальтенам.

Структура вязких битумов может быть поделена на три типа [2]:

- структура первого типа определяется коагуляционной сеткой-каркасом из набухших в ароматических углеводородах асфальтенов. Такие битумы пластичны в широком интервале температур, тиксотропны, обладают заметным пределом текучести и дают пологую вязкостно-температурную кривую. Однако они малопрочны, обладают низкими когезией и растяжимостью;

- в структуре второго типа доминирующую роль играют надмолекулярные вторичные образования смол, в узлах которых находятся не связанные и не взаимодействующие друг с другом асфальтены. Такие битумы имеют узкий интервал пластического состояния, не тиксотропны и дают резкие изменения вязкости с изменением температуры. Они обладают высокими когезией и растяжимостью в интервале пластических состояний;

- структура третьего типа определяется сопряженными сетками из отдельных агрегатов асфальтенов и адсорбированных на их поверхности тяжелых смол, пронизывающих весь объем системы. Структура битумов во многом зависит от природы и строения их компонентов. В связи с этим, по нашему мнению, дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение влияния природы сырья и строения компонентов битума (таблица 1).

Таблица 1

Групповой химический состав битумов различного структурного типа

Наименование показателей	Структурный тип битума		
	I	II	III
Групповой химический состав, мас. %:			
- углеводороды (масла):	50,9	42,1	48,9
парафино-нафтеновые(ПН)	21,5	1,7	14,3
моноциклоароматические (МЦА)	9,1	10,9	10,1
бициклоароматические (БЦА)	15,4	20,4	21,9
полициклоароматические (ПЦА)	4,9	9,1	2,6
- смолы	20,4	41,2	29,7
- асфальтены	28,7	16,7	21,4

Для исследований использовались битумы I, II и III структурных типов, со следующими физико-механическими характеристиками.

Таблица 2

Физико-механические свойства разных структурных типов битумов

Наименование показателей	Структурный тип битума		
	I	II	III
1	2	3	4
Температура размягчения по КиШ, °С	52	50	53
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при температурах:			
25 °С (П <sub>25</sub> )	96	59	67
0 °С (П <sub>0</sub> )	47	15	26
Растяжимость, см, при температурах:			
25 °С (Д <sub>25</sub> )	38	97	>100
0 °С (Д <sub>0</sub> )	6	0,4	5
Температура, °С:			
хрупкости (Т <sub>хр</sub> )	-17	-5	-15
вспышки (Т <sub>вс</sub> )	273	289	281
Интервал пластического состояния (ИПС), °С	69	55	68

Окончание таблицы 2

1	2	3	4
Степень структурируемости (Сс) битума: отношение ИПС к Д <sub>25</sub>	1,82	0,57	0,68
Изменение температуры размягчения после прогрева при 163 °С, 5 ч, 4 мм, °С	6	4	2
Адгезия, МПа, к: бетону	0,16	0,12	0,17
гидроизляционному материалу типа «Мостопласт»	0,18	0,14	0,21

Показатели физико-механических свойств исходных битумов (таблица 2) обусловлены их дисперсной структурой. Высокое содержание ПН–углеводородов в битуме I структурного типа обеспечивает низкую температуру хрупкости по Фраасу, а высокое содержание асфальтенов – относительно высокую температуру размягчения. Но при этом значение растяжимости при 25 °С очень низкое и не удовлетворяет требованиям ГОСТ 22245-90. Битум III структурного типа марки БНД при температурах размягчения и хрупкости, практически равных аналогичным показателям битума I структурного типа, характеризуется значительно более высокой растяжимостью при 25 °С. Битум II структурного типа марки БН отличается более низкой температурой размягчения и более высокой температурой хрупкости и высокой растяжимостью при 25 °С. Битум I структурного типа характеризуется наиболее высокой склонностью к старению, как наиболее сильно структурированная система.

Полимер. Для исследований использовался полиизобутилен – каучукоподобный термопласт марки П-118. Этот термопласт бесцветный с высокой химической стойкостью и водонепроницаемостью. Он обладает большой адгезией к металлу и бетону.

Пластификатор. В качестве пластификатора применяли индустриальное масло по ГОСТ 20799 марки, И-40А. Использование пластификатора позволяет обеспечить требуемую температуру хрупкости вплоть до минус 60 °С.

Суспензия растворенной резины (СРР). Она была получена из изношенных шин методом термодеструкции в среде нефтепродуктов с повышенным содержанием углеводородов циклического характера.

Влияние структурного типа битума на физико-механические свойства композитного вяжущего.

В таблице 3 представлены физико-механические показатели композитных вяжущих, приготовленных на основе битумов разных структурных типов, содержащих пластификатор – индустриальное масло марки И-40А, суспензию растворенной резины, полученной методом термодеструкции изношенных шин, и полиизобутилен – каучукоподобный термопласт марки П-118.

Таблица 3

Влияние структурного типа битума на физико-механические свойства композитного вяжущего

Наименование показателей	Структурный тип битума		
	I	II	III
1	2	3	4
Температура размягчения по КиШ, °С	73	65	69
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при температурах:			
25 °С (П <sub>25</sub> )	114	112	95
0 °С (П <sub>0</sub> )	62	55	59
Растяжимость, см, при температурах:			
25 °С (Д <sub>25</sub> )	29	64	46
0 °С (Д <sub>0</sub> )	24	41	35
Температура, °С:			
хрупкости (Т <sub>хр</sub> )	-28	-26	-24
вспышки (Т <sub>вс</sub> )	245	264	251
Интервал пластического состояния, (ИПС), °С	101	91	93
Степень структурируемости (Сс) битума: отношение ИПС к Д <sub>25</sub>	3,48	1,42	2,02
Коэффициент предела прочности (Кпп) после старения образцов в течение месяцев:			
трех	0,97	0,98	0,99

Окончание таблицы 3

1	2	3	4
шести	0,97	0,98	0,99
двенадцати	0,95	0,96	0,98
Изменение температуры размягчения после прогрева при 163°С. 5 ч, 4 мм, °С	5	4	1
Адгезия, МПа, к бетону гидроизоляционному материалу типа «Мостопласт»	0,34 0,36	0,39 0,41	0,37 0,38

Анализ данных показывает, что с увеличением степени структурированности исходного битума повышается температура размягчения по КиШ, понижается температура хрупкости композитного вяжущего (см. таблица 3). При повышении степени структурированности исходного битума от II к III типу структуры значительно заметнее падает растяжимость при 25 °С (D<sub>25</sub>) КВ, затем при переходе к I структурному типу она продолжает уменьшаться.

Температурный интервал пластического состояния КВ увеличивается с повышением степени структурированности исходного битума.

### Заключение

Приготовление композитных вяжущих для гидроизоляции мостовых и тоннельных конструкций может осуществляться путем модификации изобутиленом, индустриальным маслом, суспензией растворенной резины битумов с различной степенью структурируемости. При этом физико-механические свойства композитных вяжущих отвечают требованиям стандартам на гидроизоляционные материалы мастичного типа.

### Литература

1. Колбановская, А.С. Исследование свойств битумов, применяемых в дорожном строительстве / А.С. Колбановская // Труды Союздорнии. – Балашиха, 1970. – Вып. 46. – С. 10–24.
2. Руденская, И. М. Исследование свойств битумов, применяемых в дорожном строительстве / И.М. Руденская // Труды Союздорнии. – Балашиха, 1970. – Вып. 46. – С. 25–30.

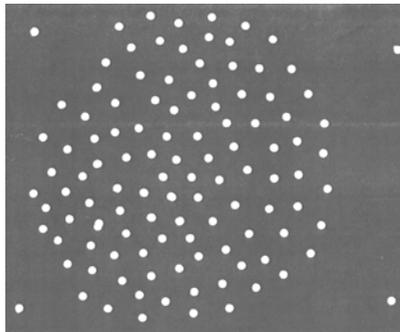
## ВЫКАРЫСТАННЕ ЛАЗЕРА ПРЫ ДАСЛЕДАВАННІ МАСТОЎ

**Мархвіда У.Г., канд. тэхн. навук, дацэнт**  
*Беларускі нацыянальны тэхнічны універсітэт*  
*(г. Мінск, Рэспубліка Беларусь)*

Пры выпрабаваннях дарожных мастоў для бескантактавага вызначэння зрушэнняў (асадак, дэфармацый) яго апор пад дзеяннем заданай нагрузкі замест геадэзічных прыбораў прапануецца прымяніць фотакамеру і лазер.

Сутнасць метада вымярэнняў заключаецца ў тым, што ў розных месцах даследуемага аб'екта замацоўваюцца спецыяльныя дыфракцыйныя маркі, якія прадстаўляюць сабой як бы павялічаныя адлюстраванні спекл-структур [1]. Здымку аб'екта выконваюць фотакамерай пры дзвюх экспазіцыях да і пасля нагрузкі на адну і тую ж спеклаграму. Пасля апрацоўкі спеклаграму памяшчаюць у схему аднаўлення спеклаграм вузкім лазерным пучком. Калі ў час паміж двума экспазіцыямі даследуемы аб'ект, а разам з ім і дыфракцыйныя маркі зрушыліся, то пры аднаўленні спеклаграмы на экране будзе назірацца інтэрферэнцыйная карціна.

Дыфракцыйная марка (рыс.1) прадстаўляе сабой вялікую колькасць хаатычна размешчаных на цёмным фоне светлых плям круглай формы.



Рыс. 1. Дыфракцыйная марка

Памер гэтых плям «спеклаў» залежыць ад маштабу здымкі. Памер самой дыфракцыйнай маркі павінен быць такім, каб яго адлюстраванне было не меншым дыяметра лазернага пучка  $l$  на этапе аднаўлення спеклаграмы, гэта значыць  $l \cdot M$ , дзе  $M$  – назоўнік маштабу адлюстравання дыфракцыйнай маркі.

На этапе атрымання інтэрферэнцыйнай карціны існуе цесная сувязь паміж дыфракцыйна-фатаграмметрычным метадам і метадам спекл-фатаграфіі. Таму многія метадыкі, якія прымяняюцца ў галіне спекл-фатаграфіі, могуць быць перанесены ў дыфракцыйна-фатаграмметрычны метада. Такім чынам здымка аб'екта выконваецца як у фатаграмметрыі, а атрыманая спеклаграма аднаўляецца як у спекл-фатаграфіі (рыс. 2).

Велічыня зрушэння дыфракцыйнай маркі вылічаецца па формуле:

$$L = \lambda f Y / f_k D, \quad (1)$$

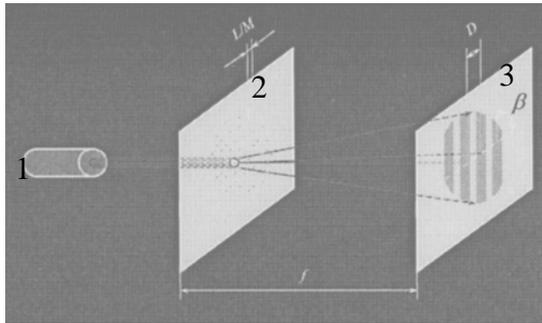
дзе  $\lambda$  – даўжыня хвалі лазернага выпраменьвання;

$f$  – адлегласць ад спеклаграмы да плоскасці адлюстравання інтэрферэнцыйных палос;

$Y$  – адлегласць да дыфракцыйных марак пры здымцы;

$f_k$  – фокусная адлегласць здымачнай камеры;

$D$  – перыяд інтэрферэнцыйных палос.



Рыс.2. Схема аднаўлення спеклаграм  
1-лазер, 2-спеклаграма, 3-экран

Сярэдняя квадратычная хібнасць вызначэння зрушэнняў складзе:

$$m_L^2 = L \sqrt{m_\lambda^2 / \lambda^2 + m_f^2 / f^2 + m_y^2 / Y^2 + m_D^2 / D^2}. \quad (2)$$

У выніку аналізу формулы (2) прыходзім да вываду, што сярэдняю квадратычную хібнасць вызначэння дэфармацый можна прыблізна прыняць:

$$m_L \approx a/25, \quad (3)$$

дзе  $a$  – дыяметр пятна на дыфракцыйных марках.

У многіх выпадках нас цікавіць не абсалютнае значэнне зрушэння аб'екта або яго часткі, а і яго праекцыі на восі каардынат. Формулы для вылічэння праекцый прымуць выгляд:

$$\left. \begin{aligned} L_x &= L \cdot \sin \beta, \\ L_z &= L \cdot \cos \beta, \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

дзе  $L_x$  і  $L_z$  – велічыні праекцый зрушэнняў  $L$  адпаведна на гарызантальны і вертыкальны напрамкі;

$\beta$  – вугал нахілу інтэрферэнцыйных палос да каардынатнай восі.

Зрушэнне аб'екта вызначаюць вымярэннем інтэрферэнцыйнай карціны, якая атрымліваецца пры праходжанні лазернага выпраменьвання праз адлюстраванне дыфракцыйнай маркі, такім чынам фотограмметрычная апрацоўка на кампаратары замяняецца кагерэнтным апраменьваннем лазера спеклаграмы з наступным вымярэннем параметраў інтэрферэнцыйнай карціны.

Разгледжаны дыфракцыйна-фотограмметрычны метады спрашчае ўніверсальны фотограмметрычны метады вызначэння зрушэнняў і дэфармацый тым, што пры звычайным этапе здымкі, этап вымярэння здымкаў меней працаёмкі і не патрабуе высокадакладнага вымярэння фотограмметрычнага абсталявання, а выкарыстоўваецца толькі лазер. Вымярэнне інтэрферэнцыйнай карціны даволі простае і не патрабуе спецыяльных вымяральных прыбораў, так як дакладнасць вымярэнняў не вялікае  $\sim 0,5$  мм.

Разгледжаны метады дазваляе вызначыць зрушэнні і дэфармацыі не толькі маставых пераходаў, але і аб'ектаў любых памераў, дыягносіку мантажа і эксплуатацыі буйнагабарытнага тэхналагічнага абсталявання. Ён можа быць выкарыстаны для даследвання зрушэнняў і дэфармацый солеадвалаў, тэрыконаў, перамяшчэння прыродных аб'ектаў, якімі могуць быць снежныя

і каменныя апоўзні, лавіны, ляднікі [2]. «Дыфракцыйную марку» ў гэтым выпадку стварае выпраменьванне адбітае ад розных уключэнняў і ўтварэнняў асяроддзя, якое перамяшчаецца, напрыклад, валуноў, горных парод і г.д. Інтэрвал паміж кадрамі здымкі выбіраецца з умовы, што харатэрныя ўтварэнні, якія рухаюцца і якія адаб'юцца на спеклаграме, за тэрмін экспазіцыі зрушыліся на некалькі сваіх памераў. Маштаб здымкі вызначаецца ўмовамі бачнасці гэтых утварэнняў на фотаматэрыяле.

### **Літаратура**

1. Прыкладна фотограмметрыя: навч. посібник / В.О. Катушков [і інш.]. – Київ : ІСДО, 1994. – 200 с.
2. Блинков, Г.Н. Спекл-диагностика перемещений и деформаций естественных и искусственных объектов / Г.Н. Блинков, В.Г. Мархвида, Н.А. Фомин // Голография в промышленности и научных исследованиях. – Гродно: ГДТ, 1989.
3. Фомин, Н.А. Спекл-интерферометрия газовых потоков / Н.А. Фомин. – Минск : Наука и техника, 1989. – 168 с.

УДК 624.21.012

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ**

**Мацкевич А.С., канд. техн. наук, доцент,  
Олляк В.Ю.**

***Белорусский национальный технический университет***

***(г. Минск, Республика Беларусь)***

По данным материалов обследований и диагностики мостового парка Республики большое число автодорожных мостов, построенных во второй половине прошлого века, имеют повреждения бетона защитного слоя и коррозию арматуры, связанные с разрушением гидроизоляции.

Бетон имеет плотную структуру и медленно впитывает воду при ее попадании на поверхность, т.е. является в некоторой степени гидроизолирующим материалом. Но это качество, зависящее от

класса бетона, постепенно утрачивается из-за того, что насыщенный водой слой бетона разрушается при попеременном замораживании и оттаивании. Этот процесс ускоряется при образовании трещин, длительного воздействия воды и солей, что особенно проявляется в сборных железобетонных конструкциях пролетных строений, имеющих меньшую жесткость не только из-за параметров сечений, но из-за податливости стыковых соединений между несущими элементами. В лучшем состоянии находятся балочно-консольные и арочные мосты из монолитного железобетона так как отличаются повышенной жесткостью, а также мосты, в которых обеспечены продольные и поперечные уклоны мостового полотна и мосты на дорогах низших категорий с меньшей интенсивностью движения большегрузных транспортных средств. Все это говорит о том, что определяющим фактором долговечности автодорожных мостов является состояние гидроизоляции, ее эксплуатационная надежность.

Дефектами гидроизоляции могут быть: низкое качество материалов, неправильная стыковка рулонных материалов внахлест без обеспечения соответствующих напусков, нарушения устройства гидроизоляции около деформационных швов, тротуаров и водоотводных устройств, а также повреждение гидроизоляции при выполнении строительных работ и в процессе эксплуатации сооружения при пропуске сверхнормативных нагрузок. Внешними признаками нарушения гидроизоляции могут быть следы подтекания по нижним граням несущих конструкций, высолы, сталактиты, которые появляются, как показывают результаты специальных осмотров, уже в первые годы эксплуатации сооружения. Однако главной причиной разрушения гидроизоляции во время эксплуатации сооружений является ее низкая эксплуатационная надежность при знакопеременных деформациях от повторных нагружений пролетных строений большегрузными транспортными средствами из-за недостаточных эластичных свойств, потери гибкости при низких температурах. При этом следует отметить, что интенсивность пропуска большегрузных транспортных средств по мостам в последние годы возросла в разы по основным транспортным магистралям.

Транспортные нагрузки, пропускаемые по сооружению в силу своего статического и динамического воздействия, вызывают в элементах пролетных строений не только прогибы в пределах

допустимого нормативного прогиба ( $L_p / 400$ ), но и выгибы, что подтверждают матрицы ординат поперечных линий влияния коэффициентов распределения изгибающих моментов между главными балками пролетных строений [1], а также колебания [2]. Такие циклические воздействия транспортных средств негативно отражаются на долговечности гидроизоляции при низких температурах и в большей степени над крайними элементами пролетных строений мостов. Число циклов воздействия транспортных средств на сооружение в целом и на гидроизоляцию, в частности, за прогнозируемый период эксплуатации сооружения зависит от установленной категории дороги. При этом воздействия от легкового транспорта в расчет могут не приниматься.

Методы оценки качества гидроизоляционных материалов, принятые в строительных нормативных документах, являются достаточными для объектов гражданского и промышленного строительства и не всегда соответствуют требуемым условиям эксплуатации транспортных сооружений. Согласно нормативным документам к существующим видам гидроизоляционных материалов транспортных объектов предъявляются одинаковые требования по эластичности во времени и интервале расчетных температур независимо от категории дороги.

Гидроизоляция транспортных сооружений должна выполняться из материалов, длительное время сохраняющих требуемые свойства в сложных условиях эксплуатации. Одним из основных требований к материалу гидроизоляции транспортных сооружений является обеспечение ее тепломорозостойкости и эластичности во всем диапазоне расчетных температур, при этом гидроизоляция должна быть надежной при длительных воздействиях деформаций бетона и обращающихся нагрузок. Однако эти требования не подкреплены соответствующими конкретными показателями методов испытаний гидроизоляции. Так эластичность гидроизоляции оценивается по однократным испытаниям образцов без учета циклических воздействий, что никаким образом не связано с требуемым числом циклов за прогнозируемый период эксплуатации транспортного сооружения, зависящим от категории дороги. Поэтому и срок службы мостовых сооружений из-за физического старения не превышает 30 – 40 лет, так как пролетные строения фактически работают без гидроизоляции. Все это требует совершенствования существующих

методов испытания гидроизоляции, их дополнения многократными испытаниями на гибкость при низких температурах.

Разработка новых методов испытаний и повышение требований к гидроизоляционным материалам по устойчивости их к циклическим воздействиям при низких температурах позволят правильно подбирать существующие гидроизоляционные материалы для мостовых сооружений с учетом категории дороги. Это явится стимулом для разработки новых гидроизоляционных материалов, обеспечивающих долговечность мостовых сооружений под воздействием часто обращающихся большегрузных транспортных средств.

### Литература

1. Пособие П2-2000 к СНиП 3.06.07-86. – Минск : РУП «БелдорНИИ», 2000. – С. 124–177.
2. Переселенцев, Г.С. Динамика и ресурс малых автодорожных мостов / Г.С. Переселенцев, А.Н. Звягинцев, Е.И. Павлов, И.К. Матвеев // Транспортное строительство. – 2001. – № 11. С. 17–21.

УДК 621.384.3

## **МОНИТОРИНГ ОБДЕЛКИ ТОННЕЛЯ МЕТРОПОЛИТЕНА НА ОСНОВЕ ТЕРМОГРАФИЧЕСКОГО СКАНИРОВАНИЯ**

**Мойсейчик Е.А.**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент,

**Мойсейчик Е.К.**<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доцент,

**Филатов С.А.**<sup>3</sup>, канд. техн. наук

<sup>1,2</sup>*Белорусский национальный технический университет,*

<sup>3</sup>*ИТМО НАН Беларуси*

*(г. Минск, Республика Беларусь)*

### **Введение**

В железобетонных тоннелях метро основная часть дефектов связана с недостаточным качеством устройства обделки и гидроизоляции [1, 2]. Если первая группа дефектов может привести к нарушению целостности обделки, образованию в ней полостей, выпадению отдельных кусков обделки, то вторая вызывает изменение свойств железобетона, ведет к водопритоку в тоннели и затрудняет их нормальную эксплуатацию. Отказы гидроизоляции на ранней стадии

эксплуатации объекта способствуют преждевременному износу железобетонных конструкций обделок [2]. Основными причинами попадания неорганизованной воды в тоннели являются [3]: несоблюдение технологических требований при ведении работ (около 60 % от общего количества протечек); низкое качество используемых гидроизоляционных материалов; ошибки при проектировании и планировании. По данным специалистов [3] различные нарушения технологии производства работ при строительстве тоннелей метро распространены практически на всех метрополитенах стран СНГ. Это приводит к тому, что уже после ввода в эксплуатацию сооружений эксплуатирующие службы сталкиваются с проблемами, создаваемыми неорганизованными водопритоками (протечками) в тоннели. Так, «в 2005 г. для обеспечения нормальной эксплуатации из всех метрополитенов СНГ было откачено более 50 млн. м<sup>3</sup> воды. Наибольший объем приходится на Московский метрополитен (более 20 млн. м<sup>3</sup>), а также Ташкентский, Казанский и некоторые другие» [3].

В процессе эксплуатации метрополитена дефектные участки обделки кроме воздействия воды испытывают давление окружающих пород и знакопеременные динамические нагрузки от движения и торможения поездов. Железобетонная обделка подвергается действию сжимающих, растягивающих и изгибающих (на криволинейных участках) напряжений. Эти напряжения при сочетании неблагоприятных факторов (выход из строя прорезиненных прокладок, пересечения активных геодинамических зон) могут привести к ускоренному нарушению гидроизоляции и обделки в целом [2].

Наличие указанных и других дефектов и недопустимость снижения несущей способности и эксплуатационных характеристик обделок до уровня, при котором существует опасность для пребывания людей, движения поездов и сохранности оборудования и устройств метрополитенов, требуют «постоянного и тщательного мониторинга всех подземных сооружений на всех метрополитенах России и СНГ» [3].

Среди различных систем мониторинга обделки тоннелей метрополитенов, направленных на обеспечение ее работоспособности на стадиях строительства, эксплуатации, ремонта, реконструкции, технического диагностирования (освидетельствования) элементов и сооружения в целом,

выделяется направление, базирующееся на термографическом сканировании обделки в инфракрасном свете. Под мониторингом обделки (англ. monitoring от лат. monitor- предупреждающий) при этом подразумевается определенная система наблюдения, оценки и прогноза состояния обделки и развития в ней и примыкающей грунтовой среде различных дефектов и явлений, позволяющих идентифицировать их с помощью пассивных и активных методов теплового контроля.

Целью настоящей статьи является изложение особенностей применения термографии для выявления дефектов в обделке тоннелей.

### 1. Выявление неоднородностей в вещественной среде по температурному полю поверхности.

При отсутствии движения тела и его составляющих уравнение распространения тепла по объему представляется в виде [4]

$$\rho c_p \frac{\delta T}{\delta t} - q_v - \operatorname{div}(\bar{\lambda} \operatorname{grad} T) = 0, \quad (1)$$

где  $q_v$ -интенсивность(плотность) внутренних источников тепла различной природы (химические реакции в теле, фазовые превращения и др.);

$\rho$ - плотность материала;

$\bar{\lambda}$ -матрица теплопроводности для неоднородного тела;

$c_p$  -удельная теплоемкость среды при постоянном давлении.

Для изотропного тела  $\bar{\lambda} = \lambda \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ ,

$\lambda$ -коэффициент теплопроводности.

Распределение температуры для изотропного стержня без внутренних источников вытекает из уравнения

$$\frac{\delta T}{\delta t} - \frac{\lambda}{\rho c_p} \frac{\delta^2 T}{dx^2} = 0, \quad (2)$$

где  $\frac{\lambda}{\rho c_p}$  - коэффициент температуропроводности среды, представляющий собой меру скорости изменения температуры

единицы объема тела при прохождении через него теплового потока, пропорционального  $\lambda$ .

Аналитическое решение уравнения (2) имеет вид

$$T(x, t) = TL + \frac{4(T_0 - T_L)}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)} \sin\left(\frac{2n+1}{L} \pi x\right) \exp\left(-\frac{(2n+1)^2}{L^2} \pi^2 \frac{\lambda}{\rho c_p} t\right). \quad (3)$$

Выражения (1)–(3) показывают, что распределение температур должно соответствовать особенностям внутреннего строения неоднородного тела. Действительно, при его нагревании тепловая энергия будет передаваться на основе теплопроводности (в твердой части тела), конвекции (в жидкой фазе) и излучения (в пустотах). Различие теплопроводности между составляющими (фазами) тела может в значительной степени влиять на распространение тепла, и, следовательно, на распределение объемной и поверхностной температуры объекта. Тепловое состояние неоднородного тела характеризуется совокупностью следующих параметров: размеры тела; теплопроводность; излучательная способность поверхности, форма и размеры дефектов; теплопроводность в месте дефекта. Распределение температуры в теле зависит от перечисленных параметров, а также от геометрии тела и временной диаграммы нагрева/охлаждения. Если в теле нет дефекта, то температурный градиент должен быть «плавным», но если имеется дефект, то он вызовет отклонение температурного градиента вследствие разности теплопроводности на смежных участках.

Благодаря термографическому изображению можно обнаружить дефекты (например, пустоты или трещины), потому, что их теплопроводность отличается (обычно в меньшую сторону) от теплопроводности окружающего их материала. Теплопроводность материала может локально меняться в тех областях, которые подвергались механическому или тепловому воздействию. Такие изменения зачастую являются более заметными, и поэтому их легче обнаружить, чем изменения в свойствах материалов. Тепловой поток наблюдается в веществах всякий раз, когда уровни температур на каких-то смежных участках отличаются. Тепловая энергия перемещается от участка с более высокой температурой к участку с более низкой температурой. Поток тепловой энергии будет в этом направлении до тех пор, пока уровни температур не станут одинаковыми. Увеличение разницы температур между двумя участками приводит

к увеличению скорости теплового потока. Тепловой градиент (температурный градиент) – это разница температур между двумя точками, которые разделены единицей расстояния. Температурный (тепловой) контраст, т.е. разница между температурами в различных точках объекта, определяет видимость подповерхностного дефекта. Тепловой контраст увеличивается с разницей между теплопроводностью дефекта и теплопроводностью основной массы материала тела. Посредством теплового сканирования воспроизводится изображение, которое соответствует распределению температурных полей по поверхности объекта. Способ передачи тепла через объект зависит от свойств такого объекта. Так, дефект, который будет препятствовать движению силового потока через элемент, будет также сдерживать поток тепла через этот элемент. Соответствующее распределение температуры можно использовать для локализации дефекта, так как поток тепла изменяется в окрестности дефекта из-за неодинаковой теплопроводности. Это явление способствует созданию высокого теплового контраста в объекте и выявляет причину нарушения в тепловом изображении.

Для обнаружения дефекта в теле часто достаточно наблюдать за установившимся распределением температуры на поверхности тела. В иных случаях тело можно нагреть или охладить, чтобы усилить внутренний теплообмен. Поэтому методы неразрушающего контроля тела с использованием инфракрасной термографии можно разделить на активные и пассивные. Активный ИК-термографический метод требует использования внешнего теплового источника для получения желаемого изображения. Во многих случаях тепловой импульс направляется на образцы, и поток тепла, перемещающийся через объект, контролируется. Дефект в объекте изменяет поток тепла и вызывает нарушение в изображении. Пассивный метод не требует использования дополнительного источника тепла для получения желаемого теплового изображения. При пассивном методе небольшое увеличение температуры, которое является неизменным признаком дефекта, отслеживается на тепловом изображении и, не дожидаясь катастрофических последствий, можно провести надлежащее техническое обслуживание.

## **2. Особенности технологии термографического сканирования обделки тоннеля**

Технология мониторинга заключается в сборе с заданной периодичностью информации по температурному полю исследуемого участка обделки метрополитена, ее экспериментальному и расчетному анализу и подготовке предложений по обеспечению требуемой работоспособности, термографическому контролю за качеством ремонтно-восстановительных работ. Процесс мониторинга предполагает анализ инженерно-геологических особенностей грунтовой среды, проектной документации тоннеля на участке; определение количественных значений температуры в точках поверхности обделки и дополнительных теплотехнических характеристик обделки и грунтовой среды; качественный и количественный анализ температурных полей на исследуемой поверхности; выявление зон с аномальной температурой, обусловленной наличием дефектов в контролируемой обделке, примыкающей грунтовой среде; численном моделировании теплотехнических параметров обделки и сопоставление их с данными термографирования; идентификацию дефектов. Тепловой инструментальный контроль выполняют в соответствии с технологическими картами или технологическими инструкциями, разрабатываемыми на основе действующих технических нормативно-правовых актов и содержащих технологию сканирования. Тепловой контроль совмещают с фиксацией состояния обделки и ее дефектов в видимом диапазоне, дистанционном контроле влажности конструкций обделки и, при необходимости, – с другими методами неразрушающего контроля. Взаимосвязь названных этапов и их последовательность показана на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема ИК-сканирования обделки тоннеля

Следует иметь в виду, что к настоящему времени достаточно детально разработана технология сканирования надземных строительных и иных объектов [5–7], особенности которой зафиксированы в нормативных документах [8]. Для подземных сооружений подобные документы отсутствуют, что определяется прежде всего многофакторностью решаемых задач. В силу этого на основании предварительного изучения технической документации по конкретному объекту(тоннелю) приходится разрабатывать технологию производства работ по ИК-сканированию.

Существенными ограничениями при этом является необходимость производства работ в сжатые сроки из-за постоянно изменяющейся в тоннеле температуры, что требует увязки технических параметров сканирующей аппаратуры со скоростью ( $v$ ) ее продвижения вдоль тоннеля. На рис. 2 приведены две возможные схемы сканирования обделки тоннеля. Первая схема (рис. 2а) позволяет получить полную развертку термоизображения поверхности тоннеля. Вторая схема дает набор термоизображений в форме полос 1 (рис. 2б) на развертке поверхности тоннеля. Вторая схема дает меньше информации по температурному полю поверхности тоннеля, но в этом случае можно использовать термографическую аппаратуру с охлаждением приемника жидким азотом. Предварительно скорость движения термографической установки вдоль тоннеля можно определить по зависимости

$$v = \frac{k b}{T}, \quad (4)$$

где  $b$  – размер пятна поверхности, сканируемого за один кадр;

$k=0,8 - 0,9$  – коэффициент, учитывающий перекрытие кадров;

$T$  – для схемы рис. 2а время сканирования полосы поверхности тоннеля длиной  $2\pi d$  ( $d$  – диаметр тоннеля); для схемы рис. 2б время формирования кадра.

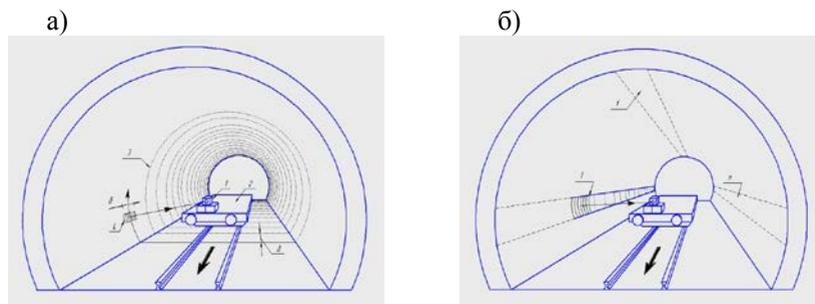


Рис.2. Возможные схемы сканирования тоннеля

Окончательно скорость ( $v$ ) назначается в процессе сканирования. При этом оптимальной будет скорость, при которой разрешение

записи в направлении движения столь же высоко, как и в обратном. При повышении скорости происходит потеря детальности; понижение же не дает выигрыша в информации. Это существенно для получения качественного изображения конкретных дефектов. Опыт показывает, что при использовании термографов с частотой вращения зеркала 30 – 300 Гц наиболее приемлемое качество термоизображений можно получить при скорости движения в пределах  $v=0,5-7$  км/час. Во время съемки изменение температурного напора не должно превышать 30 % от начального значения. Поверхности объекта в период тепловизионных измерений не должны подвергаться дополнительному тепловому воздействию от биологических объектов, источников освещения. Минимально допустимое приближение оператора тепловизора к обследуемой поверхности должно составлять не менее 1 м, электрических ламп накаливания – 2 м. Идентификацию объектов на термограмме можно проводить путем сравнения термоизображений с видимыми изображением той же зоны поверхности, полученной с помощью съемки в видимом свете. Тепловизионную съемку в тоннеле метрополитена желательно проводить спустя 2-3 часа после прекращения движения поездов, в преддверные или ночные часы, когда тепловое влияние окружающей среды минимально.

Качество термоизображения зависит от расстояния ( $L$ ) приемника до исследуемой поверхности. С увеличением расстояния  $L$  возрастает поле обзора, ухудшается детальность изображения и искажаются значения истинной температуры за счет поглощения в атмосфере тоннеля. Последний эффект можно не учитывать при расстояниях менее 30 м. При больших расстояниях следует применять соответствующие поправочные формулы, учитывающие поглощение ИК-излучения.

Расстояние ( $L$ , в метрах) установки тепловизора от поверхности объекта можно определить по формуле

$$L \leq \frac{\Delta H N_c}{10\varphi}, \quad (5)$$

где  $\varphi$  – угловой вертикальный размер поля обзора тепловизора, рад;

$\Delta H$  – линейный размер подлежащего выявлению участка ограждающей конструкции с нарушенными теплозащитными свойствами, принимаемый при контроле поверхности отделки от 0,01 до 0,2 м.

$N_c$  – число строк развертки в кадре тепловизора.

Расположение термографа желательно назначать так, чтобы поверхность объекта измерений находилась в прямой видимости.

При анализе термограмм дефектов решающими факторами являются сведения о тепловом режиме тоннеля, опыт оператора и вид изображения соседних зон, на фоне которых обнаруживается конкретная аномалия. Целесообразно при этом использовать следующие вытекающие из опыта рекомендации:

- использовать компьютерное совмещение видимого и теплового изображения одного и того же участка поверхности, или оконтуривание дефектных зон на видимом изображении после их обнаружения на термограммах;

- для анализа тепловых аномалий использовать эталонные изображения дефектов, которые должны находится в тех же условиях теплообмена, что и исследуемый участок;

- необходимо учитывать, что поверхности, визируемые под большим углом, выглядят на изображении более холодными, аналогичный эффект проявляется и относительно снятых под большим углом удаленных зон, при больших расстояниях съемки;

- неокрашенные металлические элементы при отсутствии внешней подсветки выглядят на термоизображении, как правило, более холодными, чем они есть на самом деле;

- роль тепловых аномалий могут играть архитектурные детали, выступы; неоднородностям коэффициента излучения поверхности; неоднородностям теплообмена с окружающей средой; различного рода дефекты.

Для количественной оценки тепловых аномалий поверхности отделки приходится использовать численное моделирование теплового состояния тоннеля с учетом фактических тепловых характеристик материалов отделки, свойств грунтов, особенностей инженерно-геологических характеристик оснований. Количественную оценку тепловых аномалий можно производить при необходимости оценить степень опасности дефектов для нормального функционирования тоннеля.

### **Заключение**

Из изложенного следует, что мониторинг обделки тоннеля метрополитена на основе термографического сканирования обладает высокой чувствительностью, наглядностью и объективностью результатов, позволяет с высокой производительностью в бесконтактном режиме определять локализацию и идентификацию дефектов, отслеживать их развитие с помощью пассивных и активных методов теплового контроля.

### **Литература**

1. Иванов, В.Ф. Проблемы проектирования и эксплуатации тоннелей метрополитенов / В.Ф.Иванов // Метро и тоннели. – 2002. – № 2. – С. 42–43.
2. Гидроизоляция заглубленных и подземных сооружений при строительстве и ремонте: учебное пособие / А.А. Шилин [и др.]. – Тверь: Изд-во «Русская торговая марка», 2003. – 400 с.
3. Устюжский, А. AquaStop-2006: гидроизоляция метрополитенов – в центре внимания /А. Устюжский // Петербургский строительный рынок. – № 5 (90).
4. Кутателадзе, С.С. Основы теории теплообмена / С.С. Кутателадзе. - М.-Л.: Машгиз, 1962. – 456 с.
5. Госсорг, Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение: пер.с франц. / Ж. Госсорг . – М.: Мир, 1988. – 416 с.
6. Дроздов, В.А. Термография в строительстве / В.А. Дроздов, В.И. Сухарев. – М. : Стройиздат, 1987. – 238 с.
7. Вавилов, В. П. Тепловые методы неразрушающего контроля/ В.П. Вавилов. – М. : Машиностроение, 1991. – 240 с.
8. Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций: ГОСТ 26629-85.

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ  
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ  
АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ**

**Нестеренко В.В., канд. техн. наук, доцент**

***Белорусский национальный технический университет***

***(г. Минск, Республика Беларусь)***

**Введение**

Имеющийся в настоящее время опыт вероятностного расчета строительных конструкций подтверждает экономическую целесообразность расчета и проектирования конструкций на основе учета случайной природы исходных параметров.

В настоящей работе рассматривается степень точности расчета железобетонных балок серии 3.503.1–73 «Пролетные строения без диафрагм длиной 12, 15 и 18 метров из железобетонных балок таврового сечения с ненапрягаемой арматурой для автодорожных мостов» по действующим нормам проектирования [1].

На основе статистической обработки информации о параметрах, определяющих прочность балок, были проанализированы

распределения отношений  $\frac{M^{act}}{M^{not}}$ , где  $M^{act}$  – прочность балки,

вычисленная по средним фактическим значениям параметров конструкции  $(R_{bm}^{act}, R_{sm}^{act}, A_{sm}^{act}, b_m^{act}, h_{0m}^{act})$ ;  $M^{not}$  – прочность балки,

вычисленная по средним проектным значениям прочности материалов  $(R_{bm}^{not}, R_{sm}^{not}, A_s^{not}, b^{not}, h_0^{not})$ .

Исходные данные. Фактическая и проектная изменчивость прочности бетона и арматуры была принята по [1] одинаковой. Изменчивость геометрических размеров поперечного сечения балок и толщины защитного слоя бетона установлена расчетным путем исходя из допусков по ГОСТ 21779-82 «Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски» и ГОСТ 13015.0-83 «Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Общие технические требования».

Полученные данные приведены в таблице 1. Изменчивость площади сечения арматуры принята равной 3,5 % [2].

Результаты вероятностного расчета. Обобщенные статистические характеристики для отношения  $\frac{M^{act}}{M^{not}}$  определялись путем проведения численного эксперимента с помощью программного комплекса «Прогноз» при 1000 статистических испытаниях. В таблице 2 приведены результаты численного эксперимента. Для балки Б1–12–1 численный эксперимент выполнялся при разных значениях  $\xi = \frac{x}{h_0}$ .

Полученные средние значения  $\left(\frac{M^{act}}{M^{not}}\right)_m$  характеризуют точность расчетов, а от стандартных отклонений  $\sigma_M$  и коэффициентов вариации  $V_M$  зависит надежность этих расчетов.

В таблице 3 представлены обобщенные статистические характеристики для параметров, определяющих прочность балок пролетного строения.

Из результатов численного эксперимента следует, что отношение  $\left(\frac{M^{act}}{M^{not}}\right)_m$  изменяется в зависимости от  $\xi$  и прочности нормального сечения (величины пролета) балки. С увеличением значения  $\xi$ , отношение  $\left(\frac{M^{act}}{M^{not}}\right)_m$  уменьшается, а точность и надежность расчетов повышается. С увеличением прочности сечения (величины пролета) балки, отношение  $\left(\frac{M^{act}}{M^{not}}\right)_m$  увеличивается. При этом  $\sigma_M$  и  $V_M$  также возрастают.

Среднее значение отношения  $\left(\frac{M^{act}}{M^{not}}\right)_m$  возрастают от 1,0215 для балки марки Б1–12–1 до 1,0654 для балки марки Б1–18–1. Существенно повлияло на значение и изменчивость отношения

$\left(\frac{M^{act}}{M^{not}}\right)_m$ , в сторону увеличения, повышение сопротивления рабочей арматуры растяжению. Так, использование в балках марки Б1–12–3 рабочей арматуры класса А400 привело к увеличению, по сравнению с балками марки Б1–12–1, значения отношения  $\left(\frac{M^{act}}{M^{not}}\right)_m$  на 4 %, а коэффициента изменчивости этого отношения в 3,5 раза.

У параметров, определяющих прочность балок, наибольшая изменчивость у высоты  $x$  сжатой зоны бетона сечения. Изменчивость  $x$  находится в пределах 26...37 % и зависит от изменчивости прочности бетона и арматуры.

Значения коэффициентов однородности несущей способности  $j$  и соответствующие им минимальные коэффициенты надежности  $\gamma_{min}$  приведены в таблице 4.

При вычислении значений  $j$  и  $\gamma_{min}$ , использовались следующие зависимости [3]:

$$j = \left(\frac{M^{act}}{M^{not}}\right)_m \cdot (1 - n \cdot V_M) = \left(\frac{M^{act}}{M^{not}}\right)_m \cdot (1 - 3 \cdot V_M), \quad \gamma_{min} = \frac{1}{j},$$

где  $n$  – число «стандартов», принимаемое в зависимости от требуемой обеспеченности.

Коэффициент надежности расчетной формулы прочности балок пролетного строения, заложенный в СНиП 2.05.03-84\*, определялся по формуле

$$\gamma_{зан.} = \frac{M_m}{M_{cal}}, \quad (1)$$

где  $M_m$  – прочность, вычисленная по средним сопротивлениям материалов;

$M_{cal}$  – прочность, вычисленная по расчетным сопротивлениям материалов.

Таблица 1

## Изменчивость отдельных параметров поперечного сечения балок

Марка балки по серии 3.503.1-73	Высота сечения (класс точности 7)			Ширина полки (класс точности 7)			Толщина защитного слоя бетона		
	Среднее значение, мм	Поле допуска, мм	V, %	Среднее значение, мм	Поле допуска, мм	V, %	Среднее значение, мм	Поле допуска, мм	V, %
Б1-12-1	900	14	0,26	1300	16	0,21	40	20	8,3
Б1-12-3									
Б1-18-1	1050	15	0,24						

Таблица 2

## Результаты численного эксперимента

Марка балки по серии 3.503.1-73	$\xi = \frac{x}{h_0}$	$\left(\frac{M^{act}}{M^{not}}\right)_m$	Тип сглаживающей кривой	$\sigma_M$	$V_M, \%$	Обеспеченность $\left(\frac{M^{act}}{M^{not}}\right)_m$
Б1-12-1	0,06	1,0215	Пирсона 4	0,06	5,9	0,999978
	0,10	1,0071	Пирсона 4	0,02	2,0	1,000000
	0,15	1,0030	Пирсона 7	0,01	1,0	1,000000
	0,20	1,0016	Пирсона 7	0,004	0,4	1,000000
Б1-12-3	0,08	1,0498	Пирсона 4	0,15	14,3	0,999991
Б1-18-1	0,06	1,0654	Пирсона 3	0,18	16,9	0,999991

Таблица 3

Обобщенные статистические характеристики параметров  
прочности балок

Марка балки по серии 3.503.1-73	Расстояние от рабочей арматуры до нижней грани сечения балки		Рабочая высота сечения $h_0$		Высота сжатой зоны бетона $x$			
	Среднее значение, мм	$V, \%$	Среднее значение, мм	$V, \%$	Изменчивы $R_b, R_s, A_s, h_0, b$		Изменчивы $R_b, R_s$	
					Среднее значение, мм	$V, \%$	Среднее значение, мм	$V, \%$
Б1-12-1	8,8	1,4	81,2	0,1	4,6	26,3	4,6	25,6
Б1-12-3	8,8		81,2		6,3	36,9	6,3	35,8
Б1-18-1	10,2		94,8		5,4	28,9	5,4	31,5

Таблица 4

Результаты оценки надежности расчета прочности балок

Марка балки по серии 3.503.1-73	$\xi = \frac{x}{h_0}$	$\left( \frac{M^{act}}{M^{not}} \right)_m$	$V_M$	$j$	$\gamma_{min}$	$\gamma_{зан.}$
Б1-12-1	0,06	1,0215	0,059	0,841	1,19	1,18
Б1-12-3	0,08	1,0498	0,143	0,599	1,67	1,23
Б1-18-1	0,06	1,0654	0,169	0,525	1,90	1,18

Заключение. В результате выполненных расчетов установлено, что значения минимального коэффициента надежности  $\gamma_{min}$  для балок пролетного строения автомобильных дорог по серии 3.503.1-73 разные и зависят от марки балки, а балки пролетного строения, рассчитанные по формуле СНиП 2.05.03-84\*, не вполне равнопрочны и равнонадежны.

Целесообразно внести коррективы в расчет прочности балок для того, чтобы надежность расчета была по возможности более

высокой. В качестве простейшей поправки, могущей уточнить применение формул норм, можно ввести дополнительные коэффициенты условий работы.

### **Литература**

1. Мосты и трубы. Строительные нормы и правила: СНиП 2.05.03-84\*. – Введ : 01.01.1986. – М.: ЦИТП Госстроя СССР; Госстрой СССР, 1991. – 279 с.

2. Лычев, А.С. Надежность железобетонных конструкций: учебно-методическое пособие для студентов пятого курса инженерно-строительных институтов / А.С. Лычев, В.П. Корякин. – Куйбышев: Куйбышевский ИСИ, 1974. – 124 с.

3. Таль, К.Э. О надежности расчета несущей способности изгибаемых железобетонных элементов / К.Э.Таль, И.Г. Корсунцев // Бетон и железобетон. – 1967. – № 4. – С. 34–36.

УДК 624.21.04

## **ОПЫТ РЕКОНСТРУКЦИИ БАЛОЧНЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ НА ПРИМЕРЕ МОСТА ЧЕРЕЗ РЕКУ ПОНЯ НА АВТОДОРОГЕ Р-3**

**Николаевич А.И.**

***Государственное предприятие «БелдорНИИ»***

***(г. Минск, Республика Беларусь)***

В последние 15–20 лет наблюдается повсеместное разрушение сборных железобетонных элементов мостового полотна (тротуарные и карнизные блоки, бордюрные камни) и далее плиты проезжей части и торцов сборных несущих элементов пролетных строений (вследствие негерметичности деформационных швов) в результате морозо-солевой агрессии противогололедных реагентов.

Кроме того, до 2006 года классы грузоподъемности для мостовых сооружений на большей части дорог Республики Беларусь должны были обеспечивать возможность пропуска нормативных временных нагрузок А11 и НК-80, а в 2006 году значения указанных нагрузок

для мотов на дорогах I – III категорий были увеличены до А14 и НК-112.

В сложившихся условиях одним из наиболее приемлемых вариантов повышения долговечности пролетных строений существующих мостов, а также увеличения их грузоподъемности, является устройство монолитной накладной плиты поверх существующих балок и, кроме того, объединение балочных пролетных строений в неразрезные плети (либо рамы) посредством устройства объединяющих балки смежных пролетов монолитных железобетонных надпорных участков. При этом, в случае необходимости уширения существующего мостового сооружения, в качестве усиливающих конструкций могут быть использованы балки парапетных ограждений тротуаров, включаемые в совместную работу с существующими балками пролетных строений.

Применение сборно-монолитных пролетных строений в виде сборных железобетонных главных балок, объединенных сверху монолитной железобетонной накладной плитой, получило широкое распространение и в странах Европы [1] и в странах Северной Америки [2].

В Беларуси железобетонные монолитные накладные плиты применяются с 80-х годов XX века при усилении и уширении существующих сборных железобетонных мостов из тавровых балок, объединенных по диафрагмам на сварке. Начало данному опыту положили исследования Государственного Предприятия «БелдорНИИ» [3].

Усовершенствованный способ уширения с одновременным усилением и повышением долговечности сборных балочных пролетных строений был разработан и внедрен в 2004 – 2006 гг. специалистами Государственного Предприятия «БелдорНИИ» при реконструкции моста через реку Поня на автодороге Р-3 Логойск – Зембин – Глубокое – граница Латвийской республики (Урбаны), расположенный на км 91,624. Попролетная формула моста –  $3 \times 14,06\text{м}$ . Опоры – свайные. Балки – тавровые, объединенные по диафрагмам на сварке. В поперечнике 7 балок. Шаг балок – 1,4м. Габарит приближения конструкций в доремонтный период –  $\Gamma-8+2 \times 0,85\text{м}$ , что не соответствовало требованиям действующих нормативных документов. Грузоподъемность сооружения по проекту – Н-30, НК-80.

Усиление пролетных строений моста с уширением габарита приближения конструкций на нем до  $\Gamma-10$  осуществлено посредством

устройства железобетонной монолитной поперечно обжатой накладной плиты поверх существующих балок с включением ее, а также объединяемых с ней достраиваемых железобетонных монолитных парапетных ограждений тротуаров в совместную работу с указанными балками. При этом существующие разрезные пролеты за счет устройства железобетонных монолитных надпорных участков объединены и представляют собой в настоящий момент рамную конструкцию. Общий вид моста после капитального ремонта представлен на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид моста после капитального ремонта

Компоновка пролетного строения моста представлена на рис. 2.

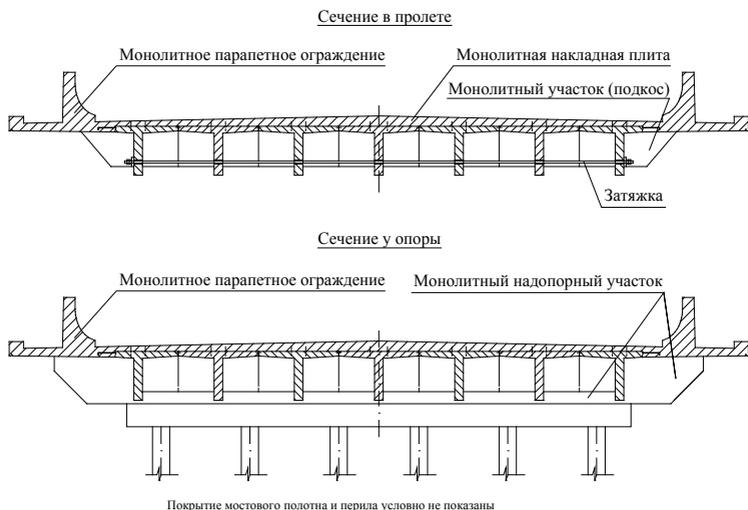


Рис. 2. Поперечная компоновка элементов пролетного строения моста

Вид на мостовое полотно представлен на рис. 3.



Рис. 3. Мостовое полотно после капитального ремонта

Устройство монолитных надопорных участков позволило исключить необходимость устройства деформационных швов над опорами. Данное решение благоприятно влияет на долговечность моста. Температурные швы устроены только на сопряжении моста с подходами (рис. 4). Узел сопряжения моста с подходом представлен на рис. 5.



На рис. 6 представлен вид снизу на фасад моста.



Рис. 6. Вид снизу на фасад моста

Для обеспечения надежной работы парапетных ограждений в условиях водосолевой агрессии при их сооружении применен бетон повышенной морозостойкости и водонепроницаемости. Характеристики бетона парапетов: класс по прочности на сжатие – В 35, марка по морозостойкости – F150 в солях, марка по водонепроницаемости – W8.

Произведено поперечное обжатие балок пролетного строения и достроенной на них накладной плиты. Обжатие осуществлено стальными тягами, пропущенными через соосно расположенные отверстия в ребрах существующих балок, расположенные в зонах около диафрагм. Усилие натяжения каждой тяги – 30 тс. Контроль натяжения произведен динамометрическим ключом с дополнительным контролем по удлинению стержня.

Посредством поперечного обжатия обеспечивается как повышение надежности объединения существующих балок по диафрагмам, так и повышение трещиностойкости железобетонной монолитной накладной плиты в поперечном направлении, а, следовательно, и ее долговечности.

Экономическая эффективность реализации проекта составила более 20 % относительно других вариантов ремонта и усиления.

В процессе осмотров моста в послеремонтный период с 2006 по 2010 гг. никаких существенных дефектов на нем не выявлено.

В 2008 году произведены испытания сооружения с целью определения фактической грузоподъемности пролетного строения моста, проверки ее соответствия теоретически определенной грузоподъемности, а также выявления возможности пропуска по сооружению требуемых современными нормами нагрузок А14 и НК-112.

Испытания производились автосамосвалами МАЗ-5516. Суммарная масса снаряженного автосамосвала с грузом - 33,0 т. Осуществлено загрузке сечений 0,4L и приопорного у опоры № 2 пролета № 1. Максимальное количество автосамосвалов устанавливаемых на пролет – 5 (рис. 7).



Рис. 7. Установка испытательной нагрузки

При визуальном осмотре испытываемых конструкций в момент нахождения на них испытательной нагрузки раскрытие трещин или другие дефекты на этих конструкциях не обнаружены. Величины прогибов для балок пролетного строения, полученные по результатам испытаний, не превысили теоретически вычисленных значений, а также допустимых значений величин прогибов.

Значения конструктивных коэффициентов, вычисленные для величин максимальных прогибов, находятся в допустимых СНиП 3.06.07-86 [4] пределах от 0,69 до 0,73, что свидетельствует о нормальной работе конструкции.

Максимальный допустимый класс для пропуска автомобильных нагрузок в составе колонн по результатам расчета и испытаний

пролетного строения моста составил по первой группе предельных состояний  $[K]=14$ , по второй -  $[K]=15$ . Соответствующий максимальный допустимый класс для пропуска тяжеловесных нагрузок одиночным порядком по первой группе предельных состояний –  $[K_{НК}]=155$ , по второй -  $[K_{НК}]=112$ . Таким образом, грузоподъемность пролетного строения моста удовлетворяет требованиям СНиП 2.05.03-84\* [5].

Резюмируя вышеизложенное, можно утверждать, что примененный способ реконструкции балочных пролетных строений моста является реально эффективным способом повышения его долговечности и грузоподъемности.

### Литература

1. Богданова, Е.Н. Конструктивные решения транспортных эстакад на основе сборных железобетонных балок в странах Европы / Е.Н. Богданова; пер. статьи *Brücken aus Betonfertigteilen in Europa* // ВФТ. – 2001. – № 2 – с.80–88 (нем., англ.).
2. Richard E. Klingner, Lee A. Bieschke. Effects of Transverse Panel Strand Extensions on the Behavior of Precast Prestressed Panel Bridges. *Journal prestressed concrete institute*, vol.33, № 1, January/February 1988, pp. 68–88.
3. Ремонт железобетонных мостов. Технические решения для службы эксплуатации автомобильных дорог. – Минск : БелдорНИИ, 1983.
4. Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний: СНиП 3.06.07-86. – М., 1989.
5. Мосты и трубы: СНиП 2.05.03-84\*. – М., 1996.

**РАСЧЕТ НЕСУЩИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ ПО ПРОЧНОСТИ  
СЕЧЕНИЙ, НОРМАЛЬНЫХ К ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ  
ЭЛЕМЕНТОВ, ПО ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ**

**Пастушков В.Г., канд. техн. наук, доцент**

***Белорусский национальный технический университет***

***(г. Минск, Республика Беларусь)***

В новых нормативных документах [1, 2] при расчетах строительных конструкций по предельным состояниям введены нормативные понятия – «диаграммы состояния» материалов, которых ранее не было.

Анализ показывает, что их необходимо распространить и на проектирование несущих конструкций мостовых сооружений.

При расчете железобетонных конструкций в качестве нормативной диаграммы деформирования бетона принято рассматривать идеализированную диаграмму с нисходящей ветвью, для которой значения напряжений в пиковой точке принимаются равными нормативному сопротивлению бетона соответствующего класса по прочности при осевом сжатии (рис. 1). Параметрические точки диаграммы деформирования ( $\varepsilon_{c2}$ ,  $\varepsilon_{cu}$ ) определяют либо из полностью равновесных диаграмм деформирования (ПРДД), получаемых при помощи специальных испытательных машин со следящей системой и быстродействующей обратной связью, либо по расчетным зависимостям как функцию от нормативного сопротивления бетона.

В новых нормах Беларуси СНБ 5.03.01-02 [1] для бетона представлены два варианта диаграмм – параболически – линейная и упрощенная билинейная (рис. 2), для арматуры – диаграммы приняты в соответствии с рис. 3.

В нормах РФ [2] для бетона введено два варианта диаграмм – двухлинейная и трехлинейная. Трехлинейная диаграмма более близка к реальной диаграмме сжатия бетона. Расчет прочности сечений, нормальных к продольной оси элемента, ведется по нелинейной деформационной модели. Эпюра напряжений при двухлинейной диаграмме состоит из двух фигур – прямоугольника в верхней части

и треугольника у нейтральной оси, а при трехлинейной состоит из трех фигур – прямоугольника, трапеции и треугольника (рис. 4).

Введены также показатели предельной сжимаемости бетона. Кроме значения  $\varepsilon_{c1}$ , соответствующего вершине реальной диаграммы сжатия, введено еще и значение  $\varepsilon_{cu}$ , соответствующее разрушению материала и расположенное на нисходящей ветви реальной диаграммы, а также  $\varepsilon_{c1}$ , соответствующее условному окончанию упругой работы бетона.

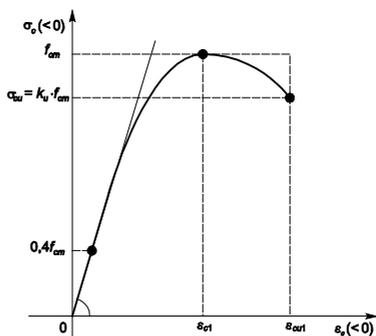


Рис. 1. Диаграмма деформирования (состояния) бетона при осевом кратковременном сжатии

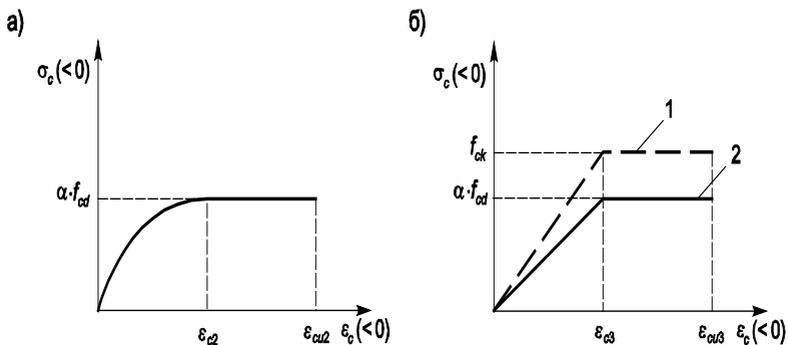


Рис. 2. Диаграммы деформирования бетона при сжатии, применяемые при расчете прочности сечений железобетонных конструкций:

- а — параболически-линейная; б — упрощённая билинейная
- 1 — нормативная диаграмма; 2 — расчетная диаграмма

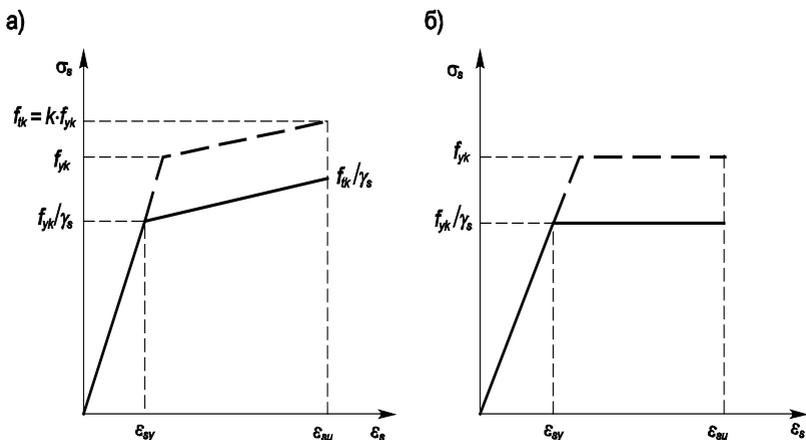


Рис. 3. Зависимость « $\sigma_s$ — $\epsilon_s$ »:

а — для напрягаемой стержневой арматуры класса S500;  
 б — для ненапрягаемой арматуры классов S240, S400 и проволочной арматуры класса S500

$f_{tk}$  — нормативное значение временного сопротивления;

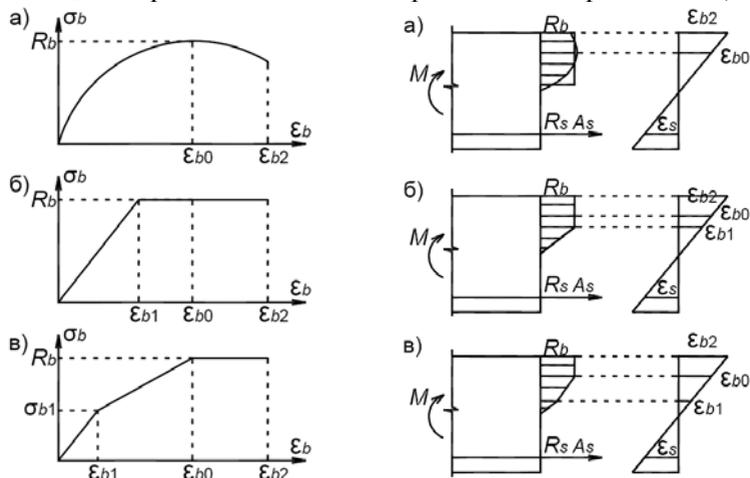


Рис. 4. Диаграммы деформирования бетона при сжатии и эпюры напряжений и деформаций, применяемые при расчете прочности сечений железобетонных конструкций:  
 а — реальная, б — двухлинейная, в — трехлинейная

С помощью нормативных диаграмм деформирования, используя компьютерные программы, можно определить напряженно-

деформированное состояние нормального сечения на любой стадии работы конструкции.

В общем случае расчета напряженно-деформированного состояния железобетонных составных сборно-монолитных конструкций по деформационной расчетной модели действуют следующие допущения:

- напряжения и деформации бетонов монолитной и сборной частей сечения находятся в зависимости, принимаемой по соответствующим диаграммам деформирования « $\sigma_c$ – $\epsilon_c$ » (рис. 2);

- напряжения и деформации арматуры находятся в зависимости, принимаемой по соответствующим диаграммам деформирования « $\sigma_s$ – $\epsilon_s$ » (рис. 3);

- для средних продольных деформаций бетона и арматуры (при принятой предпосылке о неразрывности в передаче продольных усилий в пределах составного сечения) справедлива гипотеза плоского сечения;

- критерии исчерпания прочности сечения, нормального к продольной оси элемента, следует принимать в соответствии с указаниями 7 СНБ 5.03.01, а значения предельных деформаций бетона и арматуры по 7.1.1.5 и 7.1.1.6 СНБ 5.03.01.

Для общего случая расчета должно соблюдаться условие равновесия в матричной форме:

$$\begin{Bmatrix} N_{Sd,z} \\ M_{Sd,x} \\ M_{Sd,y} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{1,1} & R_{1,2} & R_{1,3} \\ R_{2,1} & R_{2,2} & R_{2,3} \\ R_{3,1} & R_{3,2} & R_{3,3} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_z \\ k_x \\ k_y \end{Bmatrix}, \quad (1)$$

$$\text{или } \{F\} = [R(\{F\},S)] \times \{U(\{F\},S)\},$$

где  $\{F\} = \{N_{Sd,z}, M_{Sd,x}, M_{Sd,y}\}^T$  – вектор-столбец внутренних усилий, вызванных внешними воздействиями, действующих по направлению соответствующих осей в сечении, нормальном к продольной оси элемента;

$\{U(\{F\},S)\} = \{\epsilon_z, k_x, k_y\}^T$  – вектор-столбец относительных деформаций, являющихся функцией внутренних усилий  $\{F\}$  и геометрических параметров сечения  $S$ ;

$\varepsilon_z$  – продольная относительная деформация на уровне выбранной продольной оси  $z$ ;

$k_x, k_y$  – изменения кривизн в плоскостях, совпадающих с осями  $x$  и  $y$ .

$[R\{F\}, S]$  – матрица мгновенных жесткостей для составного сечения, элементы которой рекомендуется определять по формулам:

$$\begin{cases} R_{1,1} = \sum_n E'_{cm,1} \cdot A_{cn} + \sum_n E'_{cm,2} \cdot A_{cm} + \sum_n E'_s \cdot A_{sk} \\ R_{1,2} = R_{2,1} = -\sum_n E'_{cm,1} \cdot A_{cn} \cdot x_n - \sum_n E'_{cm,2} \cdot A_{cm} \cdot x_m - \sum_n E'_s \cdot A_{sk} \cdot x_k \\ R_{1,3} = R_{3,1} = -\sum_n E'_{cm,1} \cdot A_{cn} \cdot y_n - \sum_n E'_{cm,2} \cdot A_{cm} \cdot y_m - \sum_n E'_s \cdot A_{sk} \cdot y_k \\ R_{2,3} = R_{3,2} = \sum_n E'_{cm,1} \cdot A_{cn} \cdot x_n \cdot y_n + \sum_n E'_{cm,2} \cdot A_{cm} \cdot x_m \cdot y_m + \sum_n E'_s \cdot A_{sk} \cdot x_k \cdot y_k \\ R_{3,3} = \sum_n E'_{cm,1} \cdot A_{cn} \cdot y_n^2 + \sum_n E'_{cm,2} \cdot A_{cm} \cdot y_m^2 + \sum_n E'_s \cdot A_{sk} \cdot y_k^2 \end{cases}, \quad (2)$$

где  $E'_{cm,1}, E'_{cm,2}, E'_s$  – текущие значения модулей упругости соответственно для сборного и монолитного бетонов и арматуры, определяемые из диаграмм деформирования в зависимости от уровня нагружения;

$A_{cn}, A_{cm}$  – площадь бетона элементарных площадок соответственно сборной и монолитной частей сечения (геометрия и число элементарных площадок определяются конкретной проектной ситуацией);

Для случая расчета изгибаемых элементов (при  $N_z = 0$ ):

$$\begin{Bmatrix} 0 \\ M_{Sd,x(y)} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{1,1} & R_{1,3} \\ R_{3,1} & R_{3,3} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_z \\ k_{x(y)} \end{Bmatrix}. \quad (3)$$

С течением времени диаграмма деформирования бетона трансформируется в зависимости от длительности действующих усилий и воздействий окружающей среды.

Введено понятие «базовой опорной кривой» и «временного сопротивления» бетона, за критерий исчерпания которого в условиях произвольно возрастающей нагрузки принято пересечение, фактической кривой деформирования бетона с ниспадающей ветвью опорной кривой (рис. 5).

На зависимость " $\sigma_b - \varepsilon_b$ " влияют очень многие факторы: ползучесть бетона, скорость нагружения, градиенты напряжений и деформаций, история загрузки и т.п. Поэтому необходимо из

базовой кривой получать трансформированные диаграммы, учитывающие различные факторы. В расчете элементов надо знать или задавать режим и историю нагружения, по которым определять активные деформации  $\varepsilon_b(t)$  на заданном уровне  $\sigma_b$  и, сравнивая их с критическими  $\varepsilon_{bu}$ , можно судить о работе бетона.

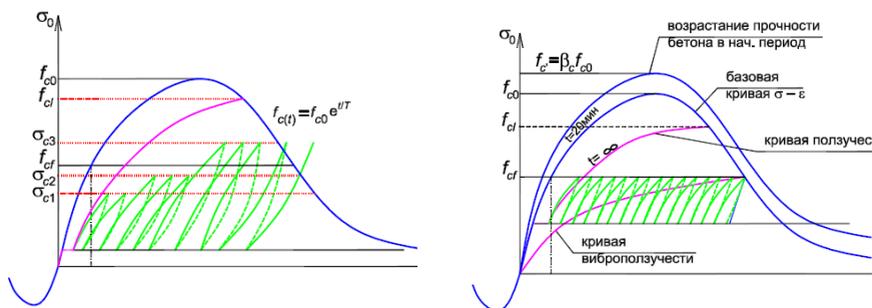


Рис. 5. Опорные диаграммы « $\sigma_c - \varepsilon_c$ » и их характеристики

Развитие деформаций ползучести на выдержке приводит к увеличению полных деформаций и отражают процесс деструкции материала, вплоть до его возможного раздробления при  $\varepsilon_b(t) \varepsilon_{bu}$ . Итерационным расчетом при монотонно возрастающей нагрузке определяется прочность конструкции при нормативных значениях характеристик материалов и внешних воздействий, а затем прочность уменьшается при использовании глобального коэффициента безопасности.

Деформационная модель может быть использована для решения двумерной задачи для поперечного сечения железобетонных, сталежелезобетонных, стальных, сборно-монолитных, композитных и других конструкций.

Из имеющихся в настоящее время компьютерных программ, реализующих деформационную модель, следует отметить:

*BETA* ([www.psu.by](http://www.psu.by)); *XTRACT* ([www.imbsen.com](http://www.imbsen.com).); *ETAP-D* ([dortransproekt.pilorama.ru](http://dortransproekt.pilorama.ru)); *FPLASTIC* ([helpstud.narod.ru](http://helpstud.narod.ru)).

Использование деформационной модели в расчетах поперечных сечений стержневых конструкций позволяет сократить сроки и

трудоемкость проектирования, снизить материалоемкость, повысить надежность и безопасность мостовых конструкций.

### **Литература**

1. Мосты и трубы: СНиП 2.05.03-84\*. – М.: ЦИТП, 1985. – 200 с.
2. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02. – Минск : Стройтехнорм, 2002. – 274 с.
3. Конструкции бетонные и железобетонные. Нормы проектирования: СНиП 2.03.01-84\*. – М.: ЦИТП, 1985. – 79 с.
4. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры: СП 52-101-03. – М.: ГУП «НИИЖБ», 2003.
5. Предварительно напряженные железобетонные конструкции: СП 52-102-04 – М.: ГУП «НИИЖБ», 2004.
6. Железобетонные сборно-монолитные конструкции. Правила проектирования: ТКП 45-5.03-97-2009. – Минск : Стройтехнорм, 2009. – 85 с.

УДК 624.21.04

## **О ПРИМЕНЕНИИ ЕВРОКОДОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Пастушков Г.П.<sup>1</sup>, д-р техн. наук, профессор,  
Пастушков В.Г.<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доцент,  
Вайтович О.М.<sup>3</sup>, канд. техн. наук

<sup>1,2</sup>*Белорусский национальный технический университет*

<sup>3</sup>*Филиал «Институт дорожных исследований»  
Республиканского унитарного предприятия «Белорусский  
дорожный инженерно-технический центр»*

*(г. Минск, Республика Беларусь)*

Как отмечается в Решении Третьего республиканского совещания дорожников Беларуси по теме «Мосты Беларуси в XXI веке. Состояние. Проблемы надежности, повышение долговечности», по таким основным эксплуатационным характеристикам сооружений, как грузоподъемность, габарит и допустимая скорость движения,

ряд мостовых сооружений нашей страны в настоящее время уже не соответствует международным нормативным требованиям.

Правительство Беларуси приняло принципиальное решение о гармонизации белорусских норм и Европейских строительных норм в практике строительства, в том числе дорожно-мостового.

В первую очередь, это касается дорожно-мостового строительства в направлении транспортных коридоров. По территории Беларуси проходят два трансъевропейских транспортных коридора:

Критский коридор II (протяженность 610 км) – автомобильная дорога М1/Е30 Брест (Козловичи) – Минск – граница Российской Федерации (Редьки), км 0-км 610;

Критский коридор IX (протяженность 925 км) – автомобильные дороги М8, М-5, М-6, М-7 и Кольцевая дорога вокруг г. Минска М-9 (км 9,6 – км 34,6).

Транспортный коридор II имеет продолжение на запад в направлении Варшава-Берлин; на восток до Москвы, на Нижний Новгород и далее на восток Российской Федерации.

Транспортный коридор IX имеет продолжение от границы с РФ на Псков – Санкт-Петербург, Хельсинки – Стокгольм; от границы Республики Беларусь с Украиной – на Киев, Одессу, порт Ильичевск; до границы Молдовы, Дубоссары – Кишинев, Унгень – граница с Румынией.

Эти коридоры должны обеспечивать комфортное движение всех современных видов транспорта без ограничений скорости и грузоподъемности, со всеми необходимыми элементами сервиса и инфраструктуры в соответствии с международными стандартами.

Предусматривается два варианта решения проблемы:

- реконструкция и модернизация существующих автомобильных дорог с доведением их параметров до международных требований;

- строительство дорог и инженерных сооружений нового поколения с полным комплексом инфраструктуры в соответствии с международными стандартами.

Все сооружения на автомагистралях транспортных коридоров должны отвечать требованиям норм, принятым в Европе и в Республике Беларусь.

Метод расчета строительных конструкций по предельным состояниям был разработан в СССР к 1955 г.

Большое значение для разработки этого метода расчета имели предложения Н.С. Стрелецкого по выбору системы и обоснованию значений расчетных коэффициентов, а также работы других советских ученых – А.А. Гвоздева, В.М. Келдыша, И.И. Гольденבלата, А.Р. Ржаницына и др.

Его включили в нормы проектирования (Н и ТУ 123-55, СН 10-57 и др.), а во второй половине XX века он был внесен в нормативные документы ведущих стран мира, в том числе и в Еврокоды.

В соответствии с требованиями действующего СНиП 2.05.03-84\*[1] расчет мостовой несущей конструкции производят полувероятностным методом. Однако он достаточно достоверен и соответствует принципам теории надежности строительных конструкций, так как в нем статистически обоснованно используется система частных коэффициентов. Изменчивость свойств материалов и нагрузок учитывают путем применения частных коэффициентов безопасности, что позволяет значительно упростить процесс проектирования.

Жизнь показала, что большая часть реализуемых по таким нормам несущих конструкций оказалась сравнительно надежной и пригодной к эксплуатации.

Однако действующий в настоящее время СНиП 2.05.03-84\* «Мосты и трубы» не отражает достижений науки и современных тенденций в области проектирования мостовых конструкций. За последние годы возросли весовые параметры транспортных средств, прочностные характеристики бетона, промышленность освоила выпуск новых эффективных видов сталей.

Выход на европейский рынок со строительной продукцией и проектными работами сдерживался из-за различных подходов, символов и определений, заложенных в Еврокодах и нормах, действующих в Республике Беларусь.

В 2002 году введены в действие строительные нормы проектирования Республики Беларусь СНБ 5.03.01-02 «Бетонные и железобетонные конструкции» [2], введенные взамен СНиП 2.03.01-84\* [3], которые в основном гармонизированы с Еврокод-2 (Eurocode-2) [4] по проектированию бетонных и железобетонных конструкций.

В настоящее время совершенно очевидна необходимость гармонизации между нормативными документами СНиП 2.05.03-84\*[1] и СНБ 5.03.01-02 [2] в пределах Республики Беларусь, а также с зарубежными нормами (в первую очередь европейскими) в части

буквенных обозначений, выработки единых подходов к нормированию характеристик свойств материалов, назначению коэффициентов надежности.

Разработка единых европейских норм направлена на обеспечение возможностей свободного перемещения между государствами продукции, материалов, технологий, услуг и научной мысли в области строительства.

ГП «БелдорНИИ» совместно с кафедрой «Мосты и тоннели» БНТУ разработали технические кодексы установившейся практики (ТКП) и национальные приложения к ним по проектированию мостовых сооружений, идентичных нормам проектирования Евросоюза: ТКП ЕН 1991-2, ТКП ЕН 1992-2: ТКП ЕН 1993-2 и ТКП ЕН 1994-2.

СТБ ISO 2394-2007 [7] содержит принципы и требования по несущей способности, пригодности к использованию и долговечности несущих конструкций. Они основываются на концепции определения соответствия предельным состояниям с частными коэффициентами надежности.

Для каждого предельного состояния должно выполняться неравенство

$$E < R, \quad (1)$$

где  $E$  – расчетное значение усилия (или напряжения), вызванного внешним воздействием;

$R$  – расчетное значение предельного усилия (или сопротивления), воспринимаемого конструкцией в критическом сечении.

Современные методы расчета на надежность, разработанные В.В. Болотиным, А.Р. Ржаницыным и др., дают возможность внедрять их в практику проектирования мостовых несущих конструкций.

Главная задача заключается в том, чтобы оценить уровень надежности принимаемого решения, а также – степень экономического или социального риска при достижении конструкцией отказов или предельных состояний.

Согласно концепции надежности строительных конструкций, сформулированной в международных нормах ISO 2394, EN 1990, введенных в действие на территории Республики Беларусь, проектирование строительных конструкций следует выполнять, опираясь на нормируемые показатели надежности, выраженные в значениях допустимых вероятностей отказа  $p_f$  или индексов надежности  $\beta$ .

Вероятность отказа  $p_f$  может быть выражена формулой предельного состояния  $g = R - E$  таким образом, что при  $g > 0$  наступает безотказная работа, а при  $g \leq 0$  – отказ:

$$p_f = \text{Prob}(g \leq 0). \quad (2)$$

Когда  $R$  является сопротивлением, а  $E$  — влиянием воздействий, тогда функция предельного состояния

$$g = R - E, \quad (3)$$

при  $R$ ,  $E$  и  $g$  в качестве случайных переменных.

При нормальном распределении  $g$  индекс надежности  $\beta$  определяется по формуле

$$\beta = \frac{\mu_g}{\sigma_g},$$

где  $\mu_g$  — среднее значение  $g$ ;

$\sigma_g$  — стандартное отклонение от  $g$ .

При других распределениях, отличных от нормального,  $\beta$  можно рассматривать как обычный показатель надежности  $P_S = (1 - P_f)$ .

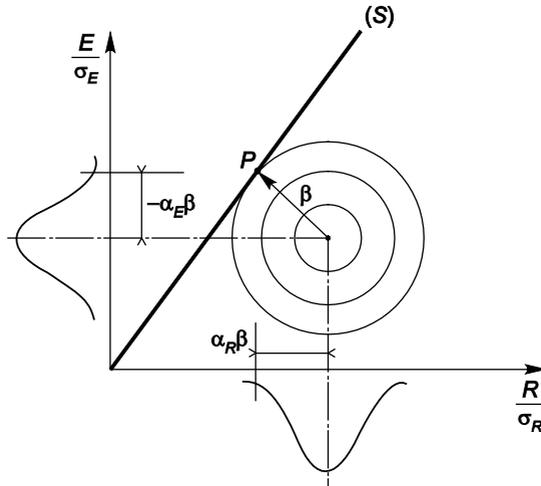


Рис. 1. Точка расчета и индекс надежности  $\beta$  по методу надежности 1 порядка (FORM) для нормально распределенных некоррелированных переменных [7]

(S) — функция предельного состояния  $g = R - E = 0$ ;  
 P — точка расчета

Применение предлагаемого подхода в практике проектирования, безусловно, потребует определенной перестройки мышления инженера на основе вероятностных оценок условий работы несущей строительной конструкции.

При этом важно отметить, что в процессе проектирования и строительства инженер неизбежно берет на себя ответственность, принимая решение в условиях неполной информации. Следует также иметь в виду, что по мере развития теории надежности усложняется расчетный аппарат.

Условие надежности в вероятностной форме связывает обе ранее независимые части неравенства (1) в единую систему, основной характеристикой которой является уровень надежности элемента  $P(t)$ .

Вероятность надежной работы проектируемой конструкции в течение установленного срока службы  $P(t)$  остается объективной мерой надежности. Эта вероятность может быть использована для сопоставления с нормативной вероятностью  $P_n$ :

$$P(t) > P_n . \quad (4)$$

Во всех вероятностных расчетах требуется знать в явном или скрытом виде минимально допустимое нормативное значение показателя надежности конструкций. Для мостовых конструкций повышаются требования к обеспечению безопасности, эксплуатационной пригодности и долговечности конструкций, так как возникновение предельного состояния может стать причиной не только экономического, но и социального ущерба.

При нормировании показателей надежности конструкций должна быть учтена вероятность работоспособности конструкций эксплуатируемых сооружений.

В Республике Беларусь для определения состояния несущих конструкций мостовых сооружений используются следующие значения вероятности безотказной работы по предельным состояниям первой группы и технического состояния несущих конструкций мостовых сооружений:

$P\{g > 0\} > 0,9987$ : – состояние отличное;

$0,99 < P\{g > 0\} \leq 0,9987$ ; – состояние хорошее, возможен ремонт через 10–15 лет;

$0,95 < P\{g > 0\} \leq 0,99$  – состояние удовлетворительное, ремонт в ближайшие 5–7 лет;

$0,85 < P\{g > 0\} \leq 0,95$  – состояние неудовлетворительное, ремонт в ближайшие два года;

$P\{g > 0\} \leq 0,85$  – состояние критическое, необходим срочный ремонт.

На первом этапе внедрения расчета надежности мостовых конструкций рекомендуется использовать статистические параметры, принятые в СНиП 2.05.03-84\* [1] или полученные в результате анализа накопленной статистической информации.

В большинстве случаев нормальные законы распределения достаточно надежно отражают статистическую природу нагрузок, воздействий и прочности материалов.

Параметры статистических распределений  $E(t)$  и  $R(t)$  постоянно накапливаются и систематизируются в ходе обследований мостовых сооружений.

### Литература

1. Мосты и трубы: СНиП 2.05.03-84\*. - М.: ЦИТП, 1985. - 200 с.
2. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02. – Минск : Стройтехнорм, 2002. – 274 с.
3. Конструкции бетонные и железобетонные. Нормы проектирования: СНиП 2.03.01-84\*. – М.: ЦИТП, 1985. – 79 с.
4. ENV 1992-1 EUROCODE 2: Design of Concrete Structures. Part I: General Rules and Rules for Building. – Brussels. – 2001– 67 p.
5. ENV 1990-2001. EUROCODE : Basis structural Design . – Brussels. – 2001 – 67 p.
6. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету: ГОСТ 27751-88. – Введ. 01.07.1988. – Москва : Госстандарт СССР : ЦНИИСК им. Кучеренко, 1988. – 9 с.
7. Надежность строительных конструкций. Общие принципы: СТБ ISO 2394-2007. - Введ. 01.07.2008. – Минск : Госстандарт Республики Беларусь, 2007. – 69 с.

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ  
СТРОИТЕЛЬСТВА МОСТА ЧЕРЕЗ р. СОЖ В г. ГОМЕЛЬ**

**Попелушко О.Г.**

***Государственное предприятие «БелдорНИИ»***

*(г. Минск, Республика Беларусь)*

До 2009 г. микрорайон Новобелица г. Гомель и город по улице им. Фрунзе связывал автодорожный мост через р. Сож 1953 г. постройки, представляющий собой большой автодорожный мост на массивных опорах, со сталежелезобетонным неразрезным пролетным строением в русловых пролетах и железобетонными коробчатыми пролетными строениями на поймах. Схема моста  $12+42+(63+104,6+63)+42+12$  м, длина моста – 341,05 м, габарит моста - Г-10,7+2х1,5.

По мосту осуществлялось движение пригородного, городского автобусного и троллейбусного движения, а также транзитного транспорта. Движение на мосту двухстороннее, что не обеспечивало потребность в пропуске движения и явилось необходимой причиной строительства рядом с существующим нового моста для увеличения пропускной способности на данном участке дороге.

В 2006 г. ГП «Белгипродор» было начато проектирование нового мостового перехода рядом с существующим. Новое сооружение по проекту представляло собой сталежелезобетонный мост из одного неразрезного пролетного строения со схемой  $54+63+105+63+54$  на монолитных железобетонных береговых и промежуточных опорах на буронабивных столбах диаметром 1,2 м. Габарит нового сооружения был запроектирован Г-11,5 + 2,5 + 0,75 с тротуаром с верховой стороны моста шириной 2,5 м и служебным проходом с низовой стороны шириной 0,75 м.

При строительстве моста ГП «БелдорНИИ» выполняло работы по научно-техническому сопровождению устройства буронабивных столбов опор, по научно-техническому сопровождению надвигки пролетного строения и обследованию с испытанием сооружения после завершения строительства сооружения при приемке его в эксплуатацию.

При выполнении работ по научно-техническому сопровождению устройства буронабивных столбов специалистами «БелдорНИИ» осуществлялся контроль производства работ по устройству столбов комбинированным способом. Данный способ заключался в бурении скважин под столбы при помощи обсадных труб на большей части этапа и применении глинистого раствора на конечном этапе при устройстве «пяты».

После завершения основных работ по устройству опор наступил этап контроля надвигки пролетного строения в пролеты. Надвигка выполнялась с опоры № 6 в сторону опоры № 1. Пролетное строение собиралось на подходе и затем надвигалось в пролеты.



Рис. 1. Общий вид моста через р. Сож в г. Гомель

Перед началом надвигки была разработана и утверждена программа по научно-техническому сопровождению надвигки. В соответствии с программой на объекте были выполнены следующие работы:

- замеры геометрических характеристик элементов аванбека, высотного положения накаточных путей и планово-высотного положения пролетного строения перед надвигкой;
- работы по контролю вертикальных перемещений конца консоли аванбека относительно пролетного строения на опоре № 4 в процессе надвигки;
- контроль ухода пролетного строения в плане в процессе надвигки;
- контроль динамики изменения внутренних механических напряжений во время надвигки пролетного строения;

- работы по выявлению внешних проявлений деформаций металла «хлопунов», выполнен контроль отлипания пролетного строения в местах опирания. Наблюдения производили в течение всего процесса надвигки, 3 раза в смену (в начале смены, середине смены, при окончании работы).

Все результаты контроля заносились в журнал научно-технического сопровождения.

Контроль геометрических элементов, планово-высотного положение накаточных путей, пролетного строения и аванбека перед надвигкой производился инструментально при помощи теодолитов, нивелиров, рулеток.

Контроль вертикальных перемещений конца аванбека относительно пролетного строения и ухода пролетного строения в плане выполнялся по контрольным сечениям в заданных абсциссах и сравнивался с проектными данными.

Измерения внутренних механических напряжений в расчетных сечениях пролетного строения и аванбека в процессе надвигки контролировался совместно с ООО «Сенсотроника» и проводился непрерывно в течении всего времени этапов надвигки. Контроль напряжений производился при помощи стационарных датчиков, установленных перед началом работ в контрольных точках. Вся информация с датчиков передавалась при помощи адаптеров беспроводной связи на главный компьютер, что позволяло в реальном времени следить за динамикой изменения напряжений в элементах пролетных строений и сравнивать с расчетными значениями предоставленными проектировщиком.



Рис. 2. Первый этап надвигки. Стык БК27-аванбек на опоре № 6



Рис. 3. Второй этап продвижки. Стык БК27-аванбек у опоры № 4



Рис. 4. Третий этап продвижки. Стык БК27-аванбек в пролете № 3

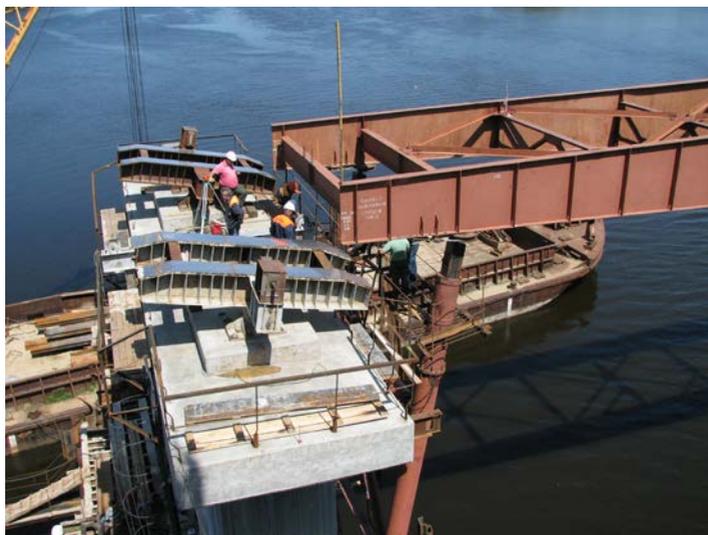


Рис. 5. Третий этап надвигки. Аванбек на ППУ у опоры № 3

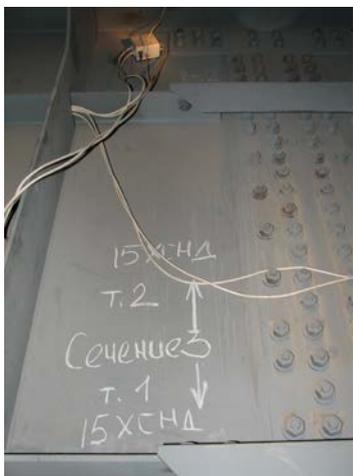


Рис. 6. Датчики контроля внутренних механических напряжений, установленные в контрольном сечении

Финалом научно-технического сопровождения явилось испытание сооружения. Испытания моста были произведены в соответствии

с утвержденной в установленном порядке программой. В качестве испытательной нагрузки использовались автомобили МАЗ-5516. Суммарная масса снаряженного автомобиля составляла около 33 т. Для возбуждения в контролируемых сечениях усилий составляющих 70-100 % от расчетных использовалось в максимальной вариации 9 автосамосвалов. В качестве расчетных (испытываемых) принимались следующие сечения коробчатых балок пролетного строения:

- сечение 0,42L5 (отсчет от опоры № 6);
- приопорное сечение над опорой № 5;
- сечение 0,5L4;
- приопорное сечение над опорой № 4;
- сечение 0,5L3.

Величины прогибов для балок пролетного строения, полученные по результатам испытаний, не превысили теоретически вычисленных значений, а также допустимых значений величин прогибов, равных для

сечения 0,42L5  $\frac{1}{400} \cdot L_5 = 135,0$  мм, для сечения

0,5L4  $\frac{1}{400} \cdot L_4 = 157,5$  мм, а для сечения 0,5L3  $\frac{1}{400} \cdot L_3 = 262,5$  мм.

Значения конструктивных коэффициентов, вычисленные для величин максимальных прогибов и величин соответствующих относительных деформаций по нижнему поясу коробчатого сечения, находились в допускаемых ТКП 45-3.03-60-2009 пределах от 0,55 до 0,71, что свидетельствует о нормальной работе конструкции.

При визуальном осмотре испытываемых конструкций в момент нахождения на них испытательной нагрузки появление недопустимых локальных деформаций, местных выпучиваний «хлопунов» и т.п. не выявлено.

Классы грузоподъемности балок пролетных строений определены по методике, представленной в приложении К пособия П2-2000, основанной на требованиях СНиП 2.05.03-84.



Рис. 7. Установка испытательной нагрузки для линий влияния



Рис. 8. Установка испытательной нагрузки для основного загрузения  
**Выводы по результатам научно-технического сопровождения  
строительства моста**

В процессе работ по научно-техническому сопровождению  
надвигки металлоконструкций пролетного строения установлено  
следующее:

1. Процесс надвигки металлоконструкций пролетного строения проходил как при положительных, так и при отрицательных температурах воздуха, скорость ветра в среднем составляла 2÷4 м/сек, порывами до 5 м/сек. Результаты контроля температуры и скорости ветра заносились в журнал надвигки и на основании этих результатов давалось разрешение на начало или остановку надвигки.

2. При непрерывном контроле динамики изменения внутренних механических напряжений было установлено, что процесс надвигки прошел без существенных превышений величины главных внутренних механических напряжений за расчетные величины.

3. Установлено, что на динамику механических напряжений оказывает влияние очень много факторов: ветровая нагрузка, различие силы трения на перекаточных устройствах, моменты включения гидродомкратов, разность температуры нижней и верхней коробок пролетного строения, перекосы конструкций при прохождении приемно-поворотных и накаточных устройств. При этом при порывах ветра до 5 м/с напряжения в элементах увеличивались в среднем на 17 кгс/см<sup>2</sup>, что оказывало влияние на напряженно-деформированное состояние элементов пролетного строения.

4. Контроль вертикальных перемещений конца консоли аванбека и стыка блоков пролетного строения с аванбеком показал, что при надвигке пролетного строения в проектное положение фактические вертикальные перемещения контролируемых сечений не превысили расчетных, разница между фактическими и проектными значениями составила от 15 до 50 см, что говорит о большей жесткости натурной конструкции по сравнению с расчетной.

5. В процессе надвигки геометрия сечения пролетного строения не менялась, каких либо деформаций металла, локальных выгибов, выпучиваний, «хлопунов» выявлено не было, потери элементами местной устойчивости не наблюдалось.

По результатам испытания сооружения получено следующее:

Максимальный фактический допустимый класс для пропуска автомобильных нагрузок в составе колонн по I группе предельных состояний составил  $[K] = 20,0$ .

Максимальный допустимый класс для пропуска тяжеловесных нагрузок одиночным порядком по I группе предельных состояний составил  $[КНК] = 267,5$ .

Основываясь на вышеизложенном, можно сделать вывод: фактическая грузоподъемность пролетного строения моста соответствует проектным нормативным временным вертикальным подвижным нагрузкам А14 и НК-112.

### **Литература**

1. Богданова, Е.Н. Конструктивные решения транспортных эстакад на основе сборных железобетонных балок в странах Европы / Е.Н. Богданова. Перевод статьи *Brucken aus Betonfertigteilen in Europa* // ВФТ. – 2001. – № 2 – с. 80–88 (нем., англ.).
3. Ремонт железобетонных мостов. Технические решения для службы эксплуатации автомобильных дорог. – Минск : БелдорНИИ, 1983.
4. Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний: СНиП 3.06.07-86. – М., 1989.
5. Мосты и трубы: СНиП 2.05.03-84\*. – М., 1996.

УДК 656.342

## **ОСОБЕННОСТИ СООРУЖЕНИЯ КОЛЛЕКТОРА МЕТОДОМ МИКРОТОННЕЛИРОВАНИЯ**

**Степанович О.А.,  
Пастушков В.Г., канд. техн. наук, доцент**

***Белорусский национальный технический университет  
(г. Минск, Республика Беларусь)***

В связи с периодическим затоплением ряда участков города Минска во время сильных ливней, и так как старые ливневые сети не обеспечивают соответствующий отвод воды, было принято решение о строительстве нового коллектора «Центр».

Сооружаемый участок второй нитки коллектора «Центр» расположен в северо-западной части г. Минска. Участок трассы коллектора проходит от ул. Радужной к ул. Л. Украинки и далее вдоль ул. Л. Украинки по направлению к центру города. Сооружение котлована и процесс микротоннелирования выполняется трестом № 15.

Градостроительные условия строительства осложнены расположением участка строительства трассы коллектора в районе с плотной многоэтажной застройкой, прохождением трассы вдоль крупной городской магистрали, связывающей центр города с северо-западными районами, большое количество крупных инженерных коммуникаций, проходящих вдоль трассы коллектора, расположение объектов строительства в охранной зоне ЛЭП 110 кВт. Основными сооружениями выполняемых работ по микротоннелированию являются: стартовые и приемные котлованы, проходческие тоннели, железобетонные колодцы коллектора.

Разработка грунта котлованов выполняется послойно экскаватором с погрузкой в автосамосвалы и транспортировкой на свалку и временный отвал. По мере разработки грунта устанавливаются яруса крепления – продольные пояса из сдвоенных стальных двутавровых балок и расстрелы (подкосы) из стальных труб, либо сдвоенных двутавров (рис. 1). Стартовые и приемные котлованы сооружаются со свайным креплением из стальных двутавровых свай I60B1 с раскреплением бортов подкосами и деревянной затяжкой бортов по сваям (рис. 2). По бортам котлованов, через которые осуществляется ввод (или вывод) щита, до начала проходки (или приема) щита из котлована устраиваются защитные экраны из труб над тоннелем, производится цементация грунта зоны врезки (или выхода) щита, бетонируется торцевая стена, производится вырезка свай крепления котлована в створе тоннеля, обетонирование проема для ввода (вывода) щита.

По окончании проходки тоннеля, в котлованах сооружаются железобетонные колодцы коллектора.



Рис. 1. Разработка грунта котлована



Рис. 2. Сооружение котлована

Работы по устройству тоннелей диаметром 2400 мм с помощью проходческого комплекса AVND 2400 АВ выполняют в следующей технологической последовательности: подготовительные работы включающие монтаж и подключение оборудования проходческого комплекса на строительной площадке, приготовление бентонитовой суспензии в построечных условиях.

В основные работы входит: сборка проходческой машины на строительной площадке и в стартовой шахте с одновременной разработкой грунта в забое, подача и монтаж рабочих труб на раму домкратной станции в стартовой шахте, разработка грунта в забое при помощи проходческой машины с одновременным продавливанием

рабочих труб домкратной станцией, контроль положения проходческой машины и оси прокладываемого тоннеля.

Заключительные работы демонтаж проходческой машины в приемной шахте; демонтаж оборудования проходческого комплекса.

Для производства работ по устройству тоннелей в стартовой и приемной шахтах, а также на поверхности строительной площадки выполняют монтаж оборудования и приспособлений комплекса.

Приготовление бентонитовой суспензии осуществляют при помощи бентонитовой станции, входящей в состав проходческого комплекса.

При приготовлении бентонитовой суспензии время перемешивания, время отстоя (набухания) необходимо руководствоваться рекомендациями фирмы-производителя тоннелепроходческого щита «HERRENKNECHT AG», а также фирмы-производителя бентонита.

До начала выполнения работ на месте складирования рабочих труб осуществляют закрепление внутри них, с помощью бандажей и струбцин, стандартных звеньев подающей и транспортной магистралей трубопроводов длиной 3,0 м, а также смазочные боксы (на «бентонитовых» трубах).

Затем с помощью двух текстильных стропов грузоподъемностью 10 т и двухветвевого стропа грузоподъемностью 20 т выполняют строповку рабочей трубы и вместе с зафиксированными в ней от выскальзывания двумя отрезками транспортного и подающего трубопровода подают с помощью гусеничного стрелового крана грузоподъемностью 100,0 т в стартовую шахту.

После установки рабочей трубы на направляющие главной рамы продавливания струбцины, фиксирующие коммуникации внутри трубы, снимают (рис. 3).

Монтаж рабочей трубы выполняют обечайкой в направлении напорного кольца. При выполнении операции по продавливанию напорное кольцо входит внутрь направляющего кольца (манжеты) рабочей трубы, обеспечивая передачу усилия от домкратов главной рамы продавливания на торец этой трубы.

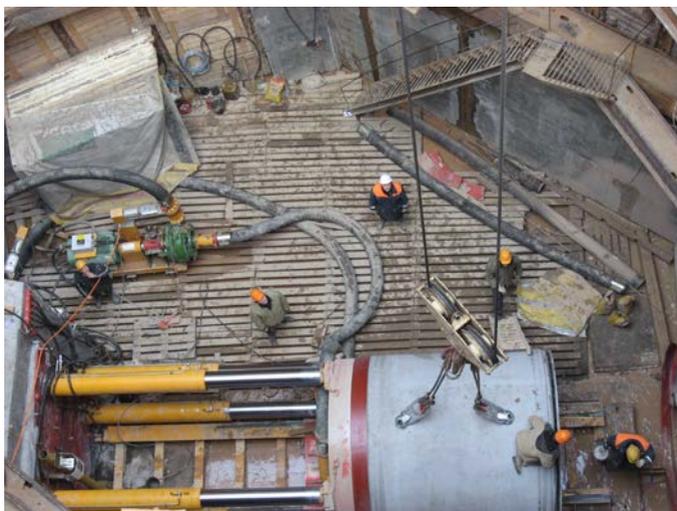


Рис. 3. Установка рабочей трубы с помощью стрелового крана

Медленно подводя напорное кольцо, стыкуют его с манжетой монтируемой трубы, после чего перемещают в сторону конца тоннелепроходческой машины и осуществляют стыковку адаптерного кольца, закрепленного при помощи болтов к кессонной камере машины и рабочей трубы.

Стыковка труб между собой осуществляется посредством стального кольца (манжеты). Герметичность соединения обеспечивается системой специальных уплотнений, обжимаемых в процессе продавливания.

Разработка грунта в забое при помощи тоннелепроходческой машины с одновременным продавливанием рабочих труб домкратной станцией производится с пульта управления. Установив выдвигание домкратов на автоматический режим, осуществляют продвижение проходческой машины с рабочей железобетонной трубой на длину хода гидроцилиндров главной рамы продавливания с одновременной разработкой и транспортировкой грунта.

Разработка грунта в забое путем его разрыхления и измельчения выполняется при помощи режущего инструмента, установленного на роторном рабочем органе проходческой машины.

Нарращивая тоннель коллектора отдельными рабочими трубами, и продавливая их, выполняется монтаж оболочек тоннеля, т.е. осуществляется проходка до выхода проходческой машины в приемную шахту.

В процессе наращивания тоннеля коллектора осуществляется монтаж всех проходящих через тоннель коммуникаций. Для прокладки тоннелей по криволинейным траекториям буровая головка проходческой машины снабжена четырьмя управляющими гидравлическими цилиндрами, что позволяет изменять направление движения машины с точностью до 1 мм.

Компьютерная система управления комплекса позволяет в каждый момент времени контролировать показатели, полностью характеризующие положение проходческой машины, параметры ее движения, а также параметры работы всех основных узлов и механизмов.

В процессе прокладки тоннелей из отдельных рабочих труб для смазывания наружной поверхности проходческой машины и труб, уменьшения трения их о грунт, а также предотвращения налипания грунта на прокладываемые рабочие трубы, осуществляется нагнетание бентонитовой суспензии за наружную поверхность проходческой машины. Нагнетание выполняют с помощью насоса смесительной установки, расположенного на поверхности, по центральной бентонитовой линии, на которой установлен вентильный блок.

Вентильный блок состоит из трех шаровых вентиляей, соединенных с форсунками с помощью шлангов, и электронного блока управления вентилями. Форсунки расположены в корпусе проходческой машины через одинаковые расстояния по контуру.

Бентонитовая суспензия подается через форсунки в колотрубное пространство, облегчая продвижение проходческой машины.

Управление подачей бентонитовой суспензии осуществляется с пульта управления комплекса путем подачи сигнала на электронный блок управления вентилями на открытие (или одного из них). В обратном направлении на монитор пульта управления передается информация о количестве работающих форсунок и о расходе бентонитовой суспензии.

Продвижение проходческой машины или очередной прокладываемой рабочей трубы осуществляют при одновременной работе аппаратуры системы лазерного ведения. При этом постоянно ведут наблюдение за изображением на мониторе, расположенном на пульте

управления, положения центра луча лазера на лазерной мишени, а также за регистрируемыми на мониторе данными о длине прокладки, дате, времени, позиции по высоте центра машины относительно проектного положения, задаваемого лучом лазера.

После завершения проходки тоннелей из рабочего котлована в обоих направлениях и завершения проходки в приемном котловане со стороны шахты, в приемном котловане в котлованах по выпускам труб тоннеля выполняются монолитные железобетонные колодцы коллектора в соответствии с чертежами УП «Минскийжпроект». Подача материалов в котлован для устройства колодцев производится стреловым пневмоколесным краном грузоподъемностью 25,0 т. Монолитные участки сооружаются в инвентарных металлических и деревянных опалубках. Бетонная смесь к месту укладки подается в бадах емкостью 3 м<sup>3</sup>.

После сооружения колодцев и выполнения гидроизоляции сооруженных конструкций выполняется обратная засыпка пазух котлована, и перекрытия сооруженных колодцев до уровня выполнения благоустройства. Пазухи колодцев и 0,5 м над перекрытием засыпаются песком с уплотнением вибрационным пластинчатым уплотнителем ВНС-110, остальная засыпка выполняется местным песчаным грунтом, с уплотнением трамбовками и катками.

Проведены расчеты на различных стадиях сооружения коллектора и получены теоретические результаты взаимодействия обделки тоннеля и окружающего грунта с бентонитом.

### **Литература**

1. Фролов, Ю.С. Метрополитены, учебник для вузов / Ю.С. Фролов, Д.М. Голицынский, А.П. Ледяев; под ред. Ю.С. Фролова. – М.: Желдориздат, 2001. – 528 с.

2. Маковский, Л.В. Проектирование автодорожных и городских тоннелей: учебн. для вузов / Л.В. Маковский. – М.: Транспорт, 1993 – 352 с.

3. Булычев, Н.С. Механика подземных сооружений / Н.С. Булычев. – М.: Недра, 1982.

**СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ  
КАРТОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

**Подшивалов В. П., д-р техн. наук, профессор**

***Белорусский национальный технический университет***

***(г. Минск, Республика Беларусь)***

**Введение**

Территория Республики Беларусь является транзитной для транспорта самых различных товаров и услуг. При этом важное государственное и международное значение имеют магистральные коммуникации. Проектирование, строительство и эксплуатация этих объектов в настоящее время ведется с использованием автоматизированных технологий. Для наиболее полного использования возможностей этих технологий при принятии оптимальных проектно-конструкторских, технологических и управленческих решений по транспортной инфраструктуре необходимо ее соответствующее координатное описание. Предлагается один из возможных путей решения этой задачи, основанный на теории изысканий наилучших конформных проекций поверхности земного эллипсоида на плоскости. Под наилучшими понимают проекции, обеспечивающие минимально возможные искажения отображаемых элементов в соответствии с критерием Чебышева-Граве [1–2 и др.].

**Постановка задачи**

Традиционные системы координат, применяемые в настоящее время для координатного описания линейно-вытянутых объектов, имеют существенные недостатки. Так государственная система координат, основанная на поперечно-цилиндрической проекции Гаусса-Крюгера, применяемая до настоящего времени в Беларуси и других странах бывшего Советского Союза, приводит к много зональности (разным системам координат) и большим искажениям при изображении объектов, вытянутых вдоль параллели. Местные (условные) системы координат не учитывают кривизны Земли и не имеют строгого математического обоснования, что приводит

к проблемам их взаимосвязи, а также связи с государственной системой координат, с системами координат автоматизированных геоинформационных систем (ГИС).

Основные требования к формированию современных систем координат для отображения на плоскости участков земной поверхности вдоль трасс транспортных сооружений, по нашему мнению, заключаются в следующем:

- наличие общего формализованного описания алгоритма, обеспечивающего необходимую точность вычислений и минимально возможные искажения отображаемых геометрических элементов в единой для всего объекта системе координат;

- обеспечение высокоточной и надежной взаимосвязи с государственной системой координат, а также с системами координат ГИС различного назначения;

- возможность автоматизации процесса выбора систем координат, основанных на наилучших геодезических и картографических проекциях;

- возможность применения цифровых технологий картографирования и формирования баз геодезических данных;

- удобство и простота практического применения.

Предлагаемая альтернатива

Нами разработаны общая теория описания класса наилучших конформных проекций и общий алгоритм, удобный для вычисления на ЭВМ [1–5 и др.]. Этот класс проекций, с одной стороны, объединяет, как частные случаи, наиболее распространенные в мировой геодезической практике проекции, с другой стороны, допускает получение новых проекций, обеспечивающих минимально возможные искажения отображаемых геометрических образов на основе исследований математической картографии. Под наилучшими проекциями понимаем проекции, удовлетворяющие критерию Чебышева-Граве [1–2 и др.], смысл которого сводится к поиску проекции, изоколы (линии равных искажений) которых по своей форме близки к форме границ изображаемой территории. Понятно, что поверхность земного эллипсоида и плоскость не изометричны друг другу, поэтому в любой проекции будут иметь место искажения. В наилучших проекциях величины этих искажений зависят только от площади изображаемой территории и практически не зависят от формы ее границ. Для транспортных сооружений в любом случае эти

территории имеют вытянутую форму с различной ориентацией на местности. Нами получено общее уравнение изогол в определенном классе конформных проекций, основанном на композиции конической и цилиндрической проекций, которое имеет вид [1-2]

$$\frac{d_1x^2 + d_2y^2}{2m_0(m - m_0)R_0^2} = 1, \quad (1)$$

где  $d_1$  и  $d_2$  – композиционные коэффициенты, характеризующие степень участия в композиции конической и цилиндрической проекций (их сумма должна быть равной 1);

$m$  и  $m_0$  – значения частного масштаба длин в текущих и начальной точках проекции;

$R$  – средний радиус кривизны земного эллипсоида.

Как видно из уравнения (1), в данном классе проекций имеет место возможность приспособляемости формы изогол к форме границ изображаемой территории, чего нет ни в одной из известных геодезических проекций. Это означает, что в данном классе проекций может быть реализован критерий Чебышева-Граве о наилучших проекциях. Здесь изоголы могут принимать форму прямых различной ориентации, эллипсов, гипербол и их асимптот. Например, принимая  $d_1 = 0$ ,  $m_0 = 0.9996$ , получим универсальную поперечно-цилиндрическую проекцию *UTM*, которую используют в шестиградусных зонах для создания топографических карт в США. При  $m_0 = 1$  – широко известную проекцию Гаусса-Крюгера. В этих проекциях изоголы представляют собой прямые линии, параллельные и симметричные изображению осевого меридиана и они удобны для изображения трасс, вытянутых вдоль меридиана. Если принять  $d_2 = 0$ ,  $m_0 = 1$ , получим коническую проекцию Ламберта. Изоголы представляют собой линии, параллельные и практически симметричные изображению стандартной параллели и она удобна для изображения трасс, вытянутых вдоль параллели. При условии  $d_1 = d_2 = 0,5$  получаем частный случай азимутальной проекции – стереографическую проекцию Гаусса. Изоголы представлены линиями, по своей форме, близкими к окружностям. Такие проекции удобны для отображения территорий округлой формы. С увеличением одного из композиционных коэффициентов, формы изогол представлены эллипсами, вытянутыми вдоль параллели или меридиана. При отрицательных значениях одного из композиционных коэффициентов

изоколы представлены семейством сопряженных гипербол и их асимптотами произвольной ориентации относительно осевого меридиана. Именно такие проекции наиболее удобны для отображения на плоскости трасс линейных сооружений и их координатного обеспечения. Управление процессом минимизации искажений внутри изображаемой области производится заданием значения масштаба длин  $m_0$  в начальной точке проекции. При этом используется простая формула, общая для любого вида проекций [2]:

$$m_0 = \frac{2}{1 + m'_{\max}}. \quad (2)$$

Здесь  $m_{\max}$  – максимальное значение масштаба внутри изображаемой области при  $m'_0 = 1$ . Выбор масштаба по формуле (2) позволяет уменьшить искажения по абсолютной величине примерно в два раза.

Если требуется получить внутри изображаемой области некоторые участки, где требуется обеспечить пренебрегаемо малые искажения, тогда в наиболее подходящей проекции для изображения этой территории выбираем изоколу  $m = const$ , вдоль которой необходимо обеспечить минимальные искажения и масштаб в начальной точке проекции вычисляем по формуле [1-3]

$$m_0 = 1 / m. \quad (3)$$

При этом значении масштаба в начальной точке проекции вдоль выбранной изоколы искажения будут отсутствовать. Изокола, естественно, не будет полностью совпадать с трассой линейного сооружения, но при этом можно добиться того, чтобы вся трасса попала в зону минимально возможных и пренебрегаемо малых искажений. Этот процесс осуществляется по методу наименьших квадратов уклонений координат поворотных точек трассы и соответствующих точек изоколы.

### Заключение

На основании проведенных исследований применительно к реальным трассам различных транспортных сооружений показаны достаточно широкие возможности решения задачи их координатного обеспечения, отвечающего современным требованиям. Так, например, автомобильная и железнодорожная трассы Брест–Москва,

трассы транзитных нефте и газопроводов, автомобильных и железных дорог на территории Беларуси могут быть изображены в одной координатной зоне, с относительными искажениями, порядка 1: 5 000 – 1: 10 000 и менее [4–5 и др.], что вполне удовлетворяет требованиям действующих нормативных документов.

Следует иметь в виду большое практическое значение возможности минимизировать искажения до пренебрегаемо малых величин. В этом случае геометрические параметры, вычисленные по координатам на плоскости проекции, с необходимой точностью соответствуют их значениям на местности без введения и учета редукционных поправок.

### **Литература**

1. Подшивалов, В.П. Координатная среда для геоинформационных систем / В.П. Подшивалов // Геодезия и картография. – 1997. – № 6. – С. 51–55.

2. Подшивалов, В.П. Теоретические основы формирования координатной среды для геоинформационных систем / В.П. Подшивалов. – Новополоцк: Научное издание ПГУ, 1998 г. – 125 с.

3. Подшивалов, В.П. Композиционные геодезические проекции / В.П. Подшивалов // Геодезия и картография. – 2000. – № 8. – С. 39–43.

4. Подшивалов, В.П. Системы плоских прямоугольных координат для линейных объектов / В.П. Подшивалов, С.В. Маковский // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2000. – № 4. – С. 15–21.

5. Huryeu, Y. Automated design of coordinate system for long linear objects / Y. Huryeu , U. Padshyvalau // Proceedings of the 11th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Science, 5th – 7th September 2007 – As, Norway – PP. 147 – 155.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ**

**Позняк А.С., канд. техн. наук, доцент,  
Прокурат Л.В., Гармаза О.Е.**

***Белорусский национальный технический университет***

***(г. Минск, Республика Беларусь)***

### **Введение**

Рейтинговая система оценки знаний студентов по инженерной геодезии представляет собой комплекс организационных, учебных и контрольных мероприятий, базирующийся на современном методическом обеспечении лекций, лабораторных и расчетно-графических работ, учебной геодезической практики. Она включает компьютерные методы обучения и возможности сети Интернет, непрерывный мониторинг учебной и исследовательской деятельности студентов, дифференцированную оценку текущей успеваемости, контрольно-обучающее тестирование и позволяет стимулировать систематическую работу студентов, снижать роль случайных факторов при сдаче экзаменов и зачетов [1, 2 и др.].

### **Особенности изучения инженерной геодезии**

Основные отличительные особенности изучения инженерной геодезии заключаются в том, что только в аудиториях кафедры имеются возможности в полном объеме практически изучать устройство и принцип работы геодезических приборов и принадлежностей (теодолитов, нивелиров, тахеометров, дальномеров, экеров, эклиметров, землемерных лент и электронных рулеток, тахеографов, геодезических шаблонов в строительстве и т.п.).

При методическом обеспечении учебного процесса преследуется цель научить студентов строительных специальностей выполнять основные геодезические работы, обеспечивающие технологическую цепочку изыскания – проектирование – строительство – эксплуатация зданий и инженерных сооружений. Для этого в первом семестре студенты индивидуально измеряют геодезические примитивы с помощью теодолита, нивелира, тахеометра и планиметра, выполняют расчетно-графические работы (РГР) по построению топографического

плана участка предполагаемого строительства, знакомятся с решением типовых инженерно-геодезических задач по топографической карте масштаба 1:10000. Во втором семестре студенты камерально обрабатывают журнал технического нивелирования трассы автодороги, составляют продольный и поперечный профили; выполняют геодезические расчеты при проектировании вертикальной планировки (разрабатывают планы организации рельефа и земляных масс) и высотной привязке здания – определяют отметку чистого пола первого этажа (строительного нуля); рассчитывают разбивочные элементы для перенесения основной оси здания в натуру способами угловой засечки и полярных координат с контролем и оценкой точности.

Все перечисленные работы выполняются в сентябре–марте, а с апреля появляется возможность начать подготовку к учебной геодезической практике, организовать выполнение лабораторных работ по основным поверкам и юстировкам используемых на практике приборов, построению проектных углов, расстояний, отметок и уклонов непосредственно на местности при благоприятных погодных условиях. При этом каждая лабораторная работа несет элементы исследования. Например, при несоблюдении главного условия нивелира студенты получают недопустимую невязку превышений в замкнутом нивелирном ходе, при большой коллимационной погрешности теодолита – соответствующую ошибку в построении проектного угла. Для определения величины и направления крена одного из углов учебного корпуса высотой около 70 метров и сравнительной оценки полученных результатов студенты используют метод отвесного проецирования верхних и нижних точек на горизонтально расположенную рейку и метод «горизонтальных углов». При этом расстояния измеряют по нитяному дальномеру, ориентируют нуль лимба на магнитный север, т.е. в полной мере используют все функциональные возможности теодолита и сравнивают полученные результаты двух методов. Некоторые студенты, понимая практическую значимость выполняемых работ и с целью закрепления знаний и приобретения дополнительных навыков в работе с геодезическими приборами, посещают одни и те же занятия дважды с другими группами.

Учитывая большой объем планируемых учебных задач и дефицит времени возникает необходимость в отборе и дополнительной

подготовке наиболее ответственных студентов, которые способны возглавить бригады на учебной геодезической практике и самостоятельно выполнить в полном объеме и с хорошим качеством программу практики. Для этого на лекциях студенты получают индивидуальные контрольные задачи, которые позволяют глубже представить геометрическую сущность и интерпретацию выполняемых РГР. Например, по данным полевого журнала топографо-геодезических изысканий, используя координаты точек теодолитных ходов и выполнив дополнительные вычисления необходимо в соответствии со своим вариантом составить схему одного из треугольника, на которой показать координаты (X,Y) и высоты (H) вершин треугольника, дирекционные ( $\alpha$ ), вертикальные ( $\nu$ ) и горизонтальные ( $\beta$ ) углы его сторон, румбы, расстояния (D), горизонтальные проложения (d), превышения (h), приращения координат ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ), площадь (P). На сайте БНТУ ([www.bntu.by](http://www.bntu.by), ФТК, кафедра инженерной геодезии) имеются основные методические и программные разработки преподавателей кафедры, позволяющие студентам повысить производительность и эффективность своей работы при выполнении контрольных, лабораторных, РГР и программы учебной геодезической практики.

На каждом лабораторном занятии по десятибалльной системе преподавателем оценивается работа каждого студента за две недели. Конечно, для этого необходимо очень четко и конкретно «озадачить» (по возможности заинтересовать, объяснить необходимость и значимость задач, мобилизовать) молодых людей на плодотворную работу, назначить дополнительные консультации. Если студент не удовлетворен своей двухнедельной рейтинговой оценкой, ему предоставляется возможность исправить ее в течение двух недель. Следует помнить о том, что во время учебной геодезической практики весьма затруднительно преподавателю руководить и дифференцировано оценивать работу каждого студента, следить за соблюдением техники безопасности и охраны окружающей среды, помогать обеспечить сохранность и работоспособность геодезических приборов. Как правило, по разным причинам до 30 % студентов не выполняют весь запланированный объем работ в срок. Наиболее успешно и вовремя заканчивают полевые работы и грамотно оформляют отчеты те студенты, которые в течение года регулярно

выполняли все задания и имели рейтинговые оценки не ниже семи баллов.

По результатам выполнения контрольных, лабораторных и РГР, заполнению и оформлению конспекта лекций и зачетного листа по работе с геодезическими приборами, тестированию на ПК, каждому студенту сообщается итоговая рейтинговая оценка в конце семестра. Следует отметить, что при компьютерном оценивании знаний контроль всегда совмещается с обучением, т.к. после повторного тестирования студент уже знает, как ответить правильно и почему.

Дополнительные рейтинговые баллы получают студенты, регулярно выполняющие научно-исследовательские работы и активно участвующие в работе предметного кружка по инженерной геодезии. В этом году на студенческой конференции (присутствовало 76 студентов) наиболее интересными были следующие доклады:

- использование Excel для автоматизации вычислений в полевых топографо-геодезических журналах и AutoLisp при графическом построении на плане точек съемочного обоснования, речных точек тахеометрической съемки и вершин квадратов;

- автоматизация РГР по инженерной геодезии с помощью бесплатно распространяемых в сети Интернет программ “OpenOffice.org Calc” и “Free T-Geoplan”;

- исследование точности подсчета объемов земляных масс при вертикальной планировке незастроенных участков по программам, разработанным на Фортране и Паскале;

- автоматизация расчетов при подготовке разбивочных элементов для перенесения оси сооружения на местность способами полярных координат и угловой засечки с оценкой точности результатов.

Эти доклады сопровождалась демонстрацией слайдов и видеороликов. Студентов, выступивших с докладами, встречали и провожали бурными аплодисментами, так как многие студенты уже успели успешно апробировать новые разработки для автоматизации своих расчетов и графических построений. Качество, скорость вычислений и наглядность полученных материалов заметно изменились в лучшую сторону, многократно увеличилась их надежность и безошибочность. Известно, что вычислительная обработка только учебного полевого журнала топографо-геодезических изысканий занимает у студентов строительных специальностей при предварительной

теоретической и практической подготовке не менее семи часов рабочего времени с использованием инженерного калькулятора. На учебной геодезической практике на аналогичные вычисления затрачивается несколько рабочих дней. Эта рутинная работа на наш взгляд является мало интересной и необходимой в связи с повсеместным внедрением в производство полевых электронных средств измерений и получением автоматически пространственных координат точек с целью последующего составления топографического плана или цифровой модели местности. Однако в настоящее время отказаться от принятой учебной технологии не представляется возможным в связи с отсутствием на кафедре в необходимом количестве дорогостоящих электронных тахеометров и соответствующего программного обеспечения.

Представленные законченные научно-исследовательские работы доведены до практического внедрения в учебный процесс и значительно повышают качество и производительность РГР. Необходимо учитывать и то, что на первом курсе студенты имеют, как правило, весьма посредственные чертежные способности, поэтому автоматизация графических работ так же является весьма актуальной. Использование разработанных программ на языке AutoLisp для графического построения на плане точек съемочного обоснования, речных точек тахеометрической съемки и вершин квадратов заметно повышает производительность и качество работ.

На экзамен по инженерной геодезии выносятся три теоретических вопроса и одна задача. Итоговая оценка складывается из рейтинговой оценки и оценок по каждому вопросу и задаче. Например, рейтинговая оценка равна 7 баллов, ответ на первый вопрос оценен на 7 баллов, второй – 6, третий – 6, задача – 7. Итого, получается в сумме 33 балла. Для перехода на десятибалльную систему умножаем на коэффициент, равный 0,2 и имеем 6,6 балла, округляем до семи баллов. Заранее в начале семестра студенты знакомятся с рейтинговой системой оценок и на письменном экзамене каждый студент самостоятельно оценивает свою работу по пяти указанным пунктам. Если его оценка отличается от оценки преподавателя более чем на два балла, то он приглашается для решения дополнительных задач или ответов на вопросы. Следует отметить, что студенты, имеющие рейтинговые оценки более восьми баллов (потенциальные бригадиры на учебной практике), приглашаются в комиссию

по экзаменационной оценке знаний других студентов. Это позволяет им дополнительно общаться с преподавателем, самостоятельно оценивать письменные ответы коллег и углубить свои знания. Кроме этого оценка на экзамене ответов другого студента, изучающего ту же тему – дают возможность преподавателю лучше узнать будущих бригадиров, детально проверить и вовремя повысить уровень их подготовки. Как правило, совпадение результирующей, рейтинговой оценки текущей успеваемости и окончательной экзаменационной оценки знаний достигает 80–90 %.

### **Заключение**

Рассмотренная организация учебного процесса ориентирована на развитие у студентов ответственного отношения к дорогостоящим геодезическим приборам, творческого индивидуального мышления, что возможно в результате внедрения рейтинговой системы при оценке выполненных работ, Интернет и компьютерных методов обучения, позволяющих моделировать работу с геодезическими приборами и автоматизировать различные вычислительные и графические работы. Для контроля качества знаний студентов и мотивирования их к учебной деятельности, в образовательный процесс по инженерной геодезии были введены элементы системы рейтингового контроля и оценки знаний, которые позволяют студентам: осознавать необходимость систематической и ритмичной работы по усвоению учебного материала; четко представлять систему формирования итоговой оценки; своевременно оценить состояние своей работы по изучению инженерной геодезии, выполнению всех видов учебной нагрузки до начала экзаменационной сессии; углубленно осваивать изучаемый материал, непрерывно повышая свой рейтинг в течение семестра; вносить в течение семестра коррективы по организации текущей самостоятельной работы.

### **Литература**

1. Положение о рейтинговой системе оценки знаний, умений и навыков студентов в УО «Белорусский государственный экономический университет» (БГЭУ): Приказ №250-А от 26.03.2008 г. Ректор БГЭУ В.Н. Шимов.

2. Положение о рейтинговой системе оценки знаний студентов по дисциплине в Белорусском государственном университете: утверждено Приказом ректора БГУ № 38-ОД от 04.02.2008 г.

**ОБ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА НА КАФЕДРЕ  
«МОСТЫ И ТОННЕЛИ»**

**Расинская Л.Г., доцент**

***Белорусский национальный технический университет***

***(г. Минск, Республика Беларусь)***

Кафедра «Мосты и тоннели» ведет подготовку специалистов для одной из важнейших отраслей народного хозяйства – дорожного строительства – с 1977 г. За период с 1977 по 2010 г. было подготовлено свыше 1100 специалистов инженеров-строителей по специализациям кафедры. В настоящее время кафедра готовит инженеров по специальности 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены» по трем специализациям: 1-70 03 02 01 «Мосты», 1-70 03 02 02 «Подземные сооружения, тоннели и метрополитены» и 1-70 03 02 03 «Содержание, реконструкция и ремонт транспортных сооружений» (набор на данную специализацию осуществляется с 2008 г.). Организация учебного процесса проводится по новому стандарту специальности «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены», разработанному в 2007 г.

Основой качественной подготовки будущих инженеров является правильная организация учебного процесса. Преподаватели кафедры проводят учебный процесс у студентов факультета транспортных коммуникаций специальностей: 1-70 03 01 «Автомобильные дороги», 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены» и Э 01 03 11 «Экономика и управление предприятием» и заочного факультета по специальностям 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» и Э 01 03 11 «Экономика и управление предприятием». В целом кафедра ведет 27 курсов по следующим дисциплинам:

1. Автоматизация проектирования мостов и тоннелей.
2. Введение в специальность.
3. Городские подземные транспортные сооружения.
4. Городские транспортные сооружения.
5. Информатика.
6. Менеджмент и маркетинг.
7. Метрология, стандартизация и управление.

8. Метрополитены.
9. Обследование и испытание сооружений.
10. Основания и фундаменты транспортных сооружений.
11. Организация, планирование и управление в мосто- и тоннелестроении.
12. Основы управления интеллектуальной собственностью.
13. Отраслевая экология.
14. Проектирование и строительство больших, висячих и вантовых мостов.
15. Проектирование мостов.
16. Пространственные расчеты мостов.
17. Содержание и ремонт транспортных сооружений.
18. Строительные конструкции.
19. Строительство мостов.
20. Технология производства гидроизоляционных работ.
21. Технология производства конструкций мостов и тоннелей.
22. Тоннели и подземные сооружения.
23. Транспортные сооружения.
24. Транспортные сооружения на дорогах.
25. Фундаменты транспортных сооружений.
26. Экономика строительства мостов и тоннелей.
27. Эксплуатация и реконструкция мостов.

Особенностью учебного процесса является большое количество дисциплин, которые ведут преподаватели кафедры. Каждый преподаватель ведет 3 – 4 курса различных дисциплин. Это требует высокой квалификации и постоянного расширения профессиональных знаний. На кафедре работают высококвалифицированные опытные преподаватели: зав. кафедрой, д-р техн. наук, профессор Пастушков Г.П., д-р техн. наук, профессор Ляхевич Г.Д., канд. техн. наук, доценты Кузьмицкий В.А., Мацкевич А.С., Мойсейчик Е.К., Нестеренко В.В., Пастушков В.Г., доц. Расинская Л.Г., ст. преп. Белый В.А., Галковская Л.А., Гречухин В.А., Оллик В.Ю. 12 человек имеют преподавательский стаж более 20 лет. С большой ответственностью относятся к работе молодые преподаватели, ассистенты Максименко А.Л. и Яковлев А.А.

Повышение квалификации преподаватели кафедры проходят на курсах повышения в передовых проектных и научно-исследовательских организациях Республики Беларусь. На кафедре

регулярно проводятся научно-методические семинары, на которых обсуждаются вопросы учебно-методической работы, утверждается методика проведения лекционных, практических и лабораторных занятий; утверждается состав курсовых проектов и курсовых работ, рассматриваются и утверждаются методические пособия и указания. Большое внимание уделяется дипломному проектированию и организации преддипломной практики. Для руководства дипломным проектированием привлекаются опытные специалисты Департамента «Белавтодор», Минскметропроекта и Метростроя. Тематика дипломных проектов является весьма разнообразной: проектирование и организация строительства мостов, путепроводов, перегонных тоннелей, станций метрополитена, реконструкция и ремонт транспортных сооружений и др. Все проекты выполняются на реальной основе.

Кафедрой проведена большая работа по разработке новых базовых и учебных программ по изучаемым дисциплинам. Все программы были внимательно рассмотрены на методической комиссии специальности «Мосты и тоннели», были учтены замечания рецензентов и внесены необходимые дополнения и исправления. Ежегодно рассматриваются и утверждаются на методической комиссии и календарные планы дисциплин, утверждаются графики выполнения курсовых и дипломных проектов. Для лучшего усвоения студентами материала при проведении лекционных и практических занятий широко используются современные мультимедийные средства.

Для качественной подготовки специалистов постоянно обновляется и расширяется учебно-методическая база кафедры. За последние несколько лет издано 7 учебно-методических пособий, в том числе и с грифом министерства образования, опубликовано 2 монографии. Так, в 2009 г. опубликованы следующие учебные пособия:

1.Содержание и ремонт транспортных сооружений. Учебно-методическое пособие к курсовому и дипломному проектированию для студентов дорожных специальностей. Авторы: А.С. Мацкевич, В.Ю. Оляк – Минск: БНТУ, 2009 – 83 с.

2.Проектирование тоннелей, сооружаемых щитовым способом. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены». Авторы: В.А. Кузьмицкий, В.Г. Пастушков – Минск: БНТУ, 2009. – 210 с.

На сайте БНТУ и кафедральном сайте размещены электронные версии новых методических разработок кафедры, необходимых студентам для работы над курсовыми и дипломными проектами и для самостоятельной работы. Вопросы для самостоятельной проработки оформляются студентами в виде рефератов. Много внимания уделяется привлечению студентов к научно-исследовательской работе. По результатам научных исследований студенты готовят интересные доклады и выступают на студенческих научно-технических конференциях, участвуют в выполнении госбюджетных и хоздоговорных работ, используют научные разработки в курсовом и дипломном проектировании. Наиболее способные выпускники продолжают обучение в магистратуре.

По возможности расширяется лабораторная база кафедры, разрабатываются новые лабораторные работы, приобретается новое лабораторное оборудование. К сожалению, финансирование по этой статье расходов недостаточное. Очень помогла бы кафедре помощь Департамента «Белавтодор», для которого БНТУ готовит специалистов.

Важным моментом в подготовке будущих инженеров является и воспитательная работа. Все преподаватели кафедры проводят идеологическую и воспитательную работу среди студентов. 6 человек являются кураторами учебных групп, они еженедельно встречаются с курируемой группой, проводят беседы, дни информирования, посещают общежитие, помогают студентам решать бытовые проблемы.

Для повышения качества подготовки специалистов необходимо шире привлекать к проведению учебного процесса талантливых молодежь и высококвалифицированных специалистов дорожной отрасли, чаще проводить обсуждение учебно-методических вопросов на заседаниях кафедр, методических комиссиях и Совете ФТК с привлечением профессорско-преподавательского состава.

### **Литература**

1. Учебный план специальности 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены» специализации 1-70 03 02 01 «Мосты», 2008 г.
2. Учебный план специальности 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены» специализации 1-70 03 02 02 «Подземные сооружения, тоннели и метрополитены», 2008 г.

3. Учебный план специальности 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены» специализации 1-70 03 02 03 «Содержание, реконструкция и ремонт транспортных сооружений», 2008 г.

4. Учебный план специальности 1-70 03 01 01 «Автомобильные дороги» специализации 1-70 03 01 01 «Строительство дорог и аэродромов», 2008 г.

5. Учебный план специальности Э 01 03 11 «Экономика и управление производством», 2008 г.

## **АРОЧНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ГРУНТОЗАСЫПНЫЕ СООРУЖЕНИЯ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ РФ. КОНСТРУКТИВНАЯ ОСОБЕННОСТЬ, ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ, РАСЧЕТНЫЙ АНАЛИЗ**

**Сафронов В.С., д-р техн. наук, профессор,  
Зазвонов В.В.**

**ГОУВПО ВГАСУ**

**(г. Москва, Россия)**

Арочные и сводчатые конструкции относятся к архитектурным формам, которые выдержали испытание временем в течение тысячелетий. Это обусловлено преимущественной работой материалов на сжатие.

Повышение надежности и долговечности мостов – одна из основных задач эксплуатации дорожной сети, так как мосты являются наиболее ответственными и сложными элементами дорог. Фактически именно мосты определяют пропускную способность автомобильных дорог (нет моста – нет дороги). Вместе с тем мосты – капиталоемкие объекты строительства, реконструкции и ремонта, поэтому необходимо, чтобы экономический эффект их использования был наибольшим. В настоящее время существует множество малых и средних мостов, которые нуждаются в капитальном ремонте и реконструкции. К тому же пролетные строения и конструкции опор мостов 50–70-х годов не имеют резервов по грузоподъемности в соответствии с действующими нормами. На них часто отсутствует исполнительная и техническая документация, что ведет к выполнению

проектов капитальных ремонтов мостов «вслепую». При этом стоимость проекта капитального ремонта моста с использованием существующих элементов становится заведомо выше стоимости его реконструкции, т.е. строительства нового моста с возможностью проектировать сооружение под современные нагрузки А14 и Н14.

Разработаны и внедрены собственные решения по замене традиционных балочных мостов на грунтозасыпные мостовые сооружения (рис. 1) со сводчатыми пролётными строениями из железобетона под насыпями автомобильных дорог. Они отличаются простотой возведения и экономичностью. Их более широкое применение сдерживается отсутствием данных исследований напряженно-деформированного состояния несущих элементов на действие постоянных и временных нагрузок.



Рис. 1. Арочный грунтозасыпной мост в Вологодской области на 312 км а/д А-114 «Вологда - Новая Ладога».

По сравнению с балочными железобетонными мостами эти сооружения имеют ряд преимуществ: не нарушают целостность земляного полотна и дорожной одежды, применяются в любых сочетаниях плана и профиля автомобильной дороги, достаточно экономичны (до 30 %) при строительстве и эксплуатации, имеют резерв грузоподъемности за счет совместной работы песчаной засыпки и свода. Экономическая эффективность их применения подтверждается имеющимися опытом проектирования и строительства грунтозасыпных сооружений на дорогах РФ. Заказчики, которые внедряют на своих дорогах такие сооружения, уже в течение нескольких лет получают

«дивиденды» за счет малых затрат, связанных с их строительством и содержанием, значительно сокращая срок их окупаемости.

Конструкция грунтозасыпного сводчатого сооружения включает в себя следующие элементы:

- основание арочного моста;
- монолитный железобетонный ригель;
- железобетонный свод;
- песчаная засыпка, сооружаемая с послойным уплотнением после возведения свода;
- подпорные стенки (коробчатые габионы, системы Террамеш и Макволл, железобетонные);
- проезжая часть по типу устраиваемой на подходах.

Для изучения особенностей напряженно-деформированного состояния железобетонного свода выбрано эксплуатируемое на автодороге А-114 «Вологда - Новая Ладога» (рис. 1) искусственное сооружение, построенное в 2007 году со следующими параметрами: наружный радиус – 7,23 м, цилиндрический свод из бетона класса В30 толщиной 0,4 м. Глубина заложения свода от поверхности проезжей части до «ключа» сооружения – 1,0 м. Расчетные нагрузки А 11 и НК 80.

Для проведения изучения НДС в программном комплексе Plaxis, имеющем обширную библиотеку конечных элементов, реализованы две расчетные схемы: плоская стержневая и пространственная оболочечная. Анализ сходимости и точности двух принятых конечно-элементных моделей произведем путем сравнения результатов расчетов с определением внутренних усилий и упругих деформаций моделей при одинаковом количестве  $n$  – стержней КЭ в плоской модели несущей арки и прямоугольных КЭ оболочки пространственной модели, аппроксимирующих поперечное сечение оболочки. Грунтовый массив моделируется в плоской расчётной схеме плоскими треугольными и прямоугольными КЭ на основе разрешающих уравнений плоской деформации, а в пространственной модели – объёмными КЭ в виде тетраэдров.

Наибольшие прогибы свода в сторону грунта по данным натурных измерений не превышают 1 см. При таких деформациях свода предельное пассивное давление не возникает. В этом случае давление грунта определяется деформацией элементов свода и составляет

промежуточное значение между активным давлением и предельным пассивным отпором.

В расчетах с использованием плоской и пространственной расчетных схем моделировалось статическое воздействие временной нагрузки, эквивалентной установке тяжелого колёсного автомобиля НК-80 над средним «ключевым» сечением. В численных расчетах по программе Plaxis учитывалось нелинейное поведение грунтовой засыпки над железобетонным сводом при загрузке. Для получения полных напряжений и деформаций в характерных сечениях железобетонного свода и грунтовой засыпки использован поэтапный расчет с пошаговым увеличением действующих нагрузок.

Нелинейные свойства поведения грунтового массива, окружающего сводчатую несущую конструкцию, в расчетах примем в соответствии с моделью Мора – Кулона, которая требует задания пяти следующих основных параметров: модуля деформации –  $E$ , коэффициента Пуассона –  $\nu$ , сцепления –  $c$ , угла внутреннего трения –  $\phi$  и угла дилатансии –  $\psi$ .

Изополя приведенных напряжений, вычисленных в окружающем железобетонную мостовую несущую конструкцию грунтовым массиве от приложения статической нагрузки на локальном участке площадью  $4,86 \text{ м}^2$  при плоской постановке задачи представлены на рис. 2 и 3. Максимальное значение приведенных напряжений в грунте составили  $\sigma = 68 \text{ кН/м}^2$ .

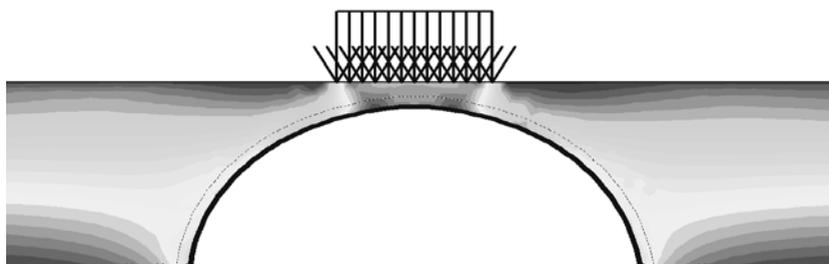


Рис. 2. Изополя приведенных напряжений в грунтовом массиве, окружающем несущий железобетонный свод, полученные для плоской расчетной схемы

Изополя приведенных напряжений в грунтовом массиве, окружающем несущий железобетонный свод, полученные для пространственной расчетной схемы, изображены на рис. 4. Сгущающимися

темным цветом показаны большие уровни приведенных напряжений. Из приведенного рисунка видно расположение по объёму окружающего грунтового массива изменений напряженного состояния как по ширине, так и по длине.

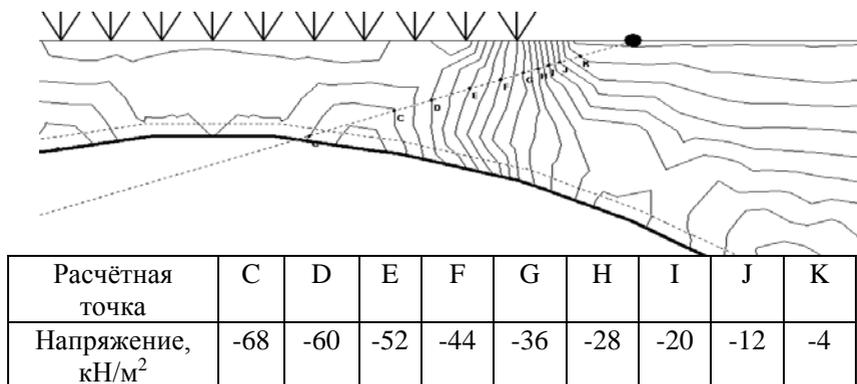


Рис. 3. Изолинии приведенных напряжений от временной нагрузки в песчаной засыпке над сводом по данным расчётов по нелинейной модели

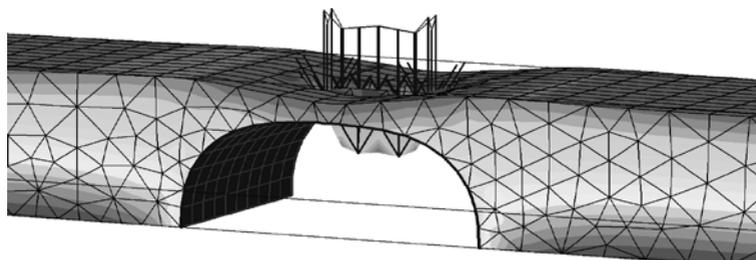


Рис. 4. Изополя приведенных напряжений в грунтовом массиве для пространственной расчетной схемы

Сопоставление эпюр распределения погонных нормальных усилий  $N$ ,  $\text{кН/м}$  по ширине «ключевого» сечения оболочки от действия расположенной над ним временной нагрузки для плоской (сплошная линия) и пространственной (точечная линия) расчетных схем приведено на рис. 5. В расчетах с использованием плоской расчетной

схемы полезная ширина свода, участвующая в восприятии временной нагрузки, принималась с учетом толщины засыпки.

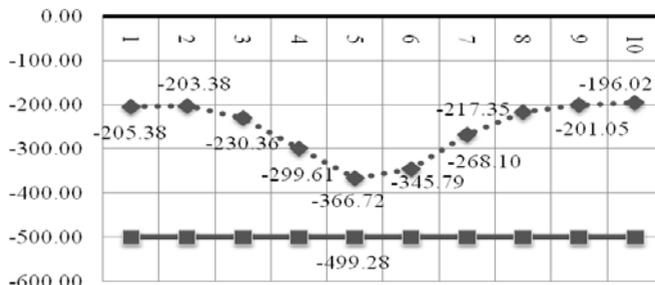


Рис. 5. Распределение погонных нормальных усилий по ширине «ключевого» сечения пролетного строения для плоской (сплошная линия) и пространственной (точечная линия) моделей

Выполненные численные исследования привели к следующим выводам:

1. Применение плоской расчетной схемы дает весьма приближенные результаты о величинах усилий и деформаций в своде. Они сильно зависят от принятой гипотезы о включении свода по ширине в совместную работу, на локальные нагрузки.

2. Пространственная модель на основе МКЭ позволяет корректно произвести оценку НДС оболочки и адекватно описать распределении напряжений в своде по его ширине.

3. Уровни приведенных напряжений в окружающем несущую конструкцию пролётного строения грунтовой массив невелики. Пластические деформации при максимальных нагрузках не возникают.

4. Рекомендуется при проведении расчетов арочных грунтозасыпных мостов проводить проверку по прочности окружающего конструкцию грунтового массива, при нелинейном его моделировании.

Таким образом, выполненные исследования позволяют на основе анализа НДС грунтозасыпного сооружения с арочным или сводчатым пролетным строением выработать практические рекомендации по выбору расчётных схем для получения достоверных результатов, существенно влияющих на толщину свода и на полную стоимость сооружения в целом.

### Литература

1. Мосты и трубы: СНиП 2.05.03-84\*. – М.: ГП ЦПП, 1996. – 214 с.
2. Завриев, К.С. Расчет арочных мостов / К.С. Завриев. – М.: Трансжелдориздат, 1956. – 117 с.
3. Справочное руководство Plaxis. НИП «Информатика». – Санкт-Петербург, 2004. – 182 с.

УДК 624.21.012.45

## **МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ**

**Свиридович С.Н., канд. техн. наук,  
Ковалёв К.Г., Путило В.М.**

***Белорусский национальный технический университет  
Научно-исследовательская лаборатория мостов  
и инженерных сооружений  
(г. Минск, Республика Беларусь)***

В целях определения технического состояния мостов и путепроводов требуется ряд мероприятий по организации, проведению, обработке и систематизации материалов обследований и испытаний данных сооружений. В комплексе указанные мероприятия можно охарактеризовать как мониторинг, в ходе которого производятся:

- идентификация конструкций в плане применения типовых или индивидуальных проектных решений;
- выяснение компоновочных и расчетных схем сооружений;
- определение прочностных свойств материалов несущих элементов конструкций;
- производство обмерно-нивелировочных работ;
- выявление дефектов и повреждений, влияющих на техническое состояние сооружений;
- разработка и реализация программ испытаний сооружений;
- расчет несущей способности конструктивных элементов и определение грузоподъемности сооружений.

В составе данного мониторинга находятся три группы задач, различающихся между собой объемами вышеупомянутых работ, а также формами технической отчетности – диагностика, обследование, обследование с испытанием. Первая из указанных задач имеет целью определение текущего технического состояния сооружений с исследованием основных технико-эксплуатационных характеристик, определением дефектов и установлением фактической грузоподъемности. Во вторую задачу входят мероприятия, упомянутые для первой задачи, при этом определяются объемы дефектов и информация по итогам исследований выпускается в виде научно-технических объемов установленной формы. В состав мероприятий третьей задачи входит, помимо упомянутых для первых двух, организация и проведение испытаний мостов и путепроводов в целях подтверждения расчетов фактической грузоподъемности.

Диагностика мостовых сооружений производится силами Научно-исследовательской лаборатории мостов и инженерных сооружений (НИЛ МИС) начиная с 2001 года, с момента создания электронной базы данных системы управления состоянием мостов (СУСМ) «Белмост». При этом наряду производится формализованный учет следующих основных дефектов

1) русел, пойм и набережных:

- общие и местные размывы русла и у голов струенаправляющих дамб и траверс при паводках;
- изменение положения русла при паводках;
- остатки строительной деятельности на поймах и в русле (грунт, щебень, неиспользованные конструкции или их фрагменты);
- отсутствие требуемого классом реки судоходного габарита или минимального габарита, требуемого СНиП 2.05.03-84\*;
- отсутствие водомерных реек.

2) массивных (толщина тела опоры 80см и более) и гибких (свайные опоры и опоры-стенки с толщиной тела до 80см) опор:

- недостаточность защитного слоя бетона на железобетонных элементах;
- просадки и крены опор из-за недостаточной глубины погружения свай или после проезда по мосту тяжеловесного транспорта;
- размораживание бетона свай, стоек, тела сборных или монолитных опор в зоне колебания межени или в уровне земли;

- продольный эксцентриситет ригеля (насадки) относительно тела опоры-стенки или свай;
- трещины и разломы в верхней зоне корня консолей ригелей (насадок) опор;
- поперечные трещины по всей высоте свай свайных опор;
- продольные трещины вдоль свай с обнажением рабочей арматуры на свайных опорах.
- трещины и разломы тела опор;
- разломы, сколы, трещины на ригелях и подферменных рядах опор;
- 3) пролетных строений (материал – железобетон):
- разломы элементов пролетных строений (дефекты строительства или эксплуатации)
- трещины различной конфигурации и ширины раскрытия;
- сколы бетона конструкций с обнажением и коррозией рабочей арматуры.
- шелушение бетона.
- коррозионные повреждения арматуры.

Вышеприведенные дефекты и повреждения учитываются также в ходе проведения обследовательских работ в целях определения степени их влияния на снижение несущей способности мостовых сооружений, а также для определения объемов дефектов в целях определения мер, необходимых для приведения сооружения в техническое состояние, соответствующее действующим эксплуатационным нормативам (текущий, средний, капитальный ремонт или реконструкция).

Таким образом, в ходе мониторинга мостовых сооружений обеспечивается информационное взаимодействие между двумя видами работ – диагностикой и обследованием, результаты проведения которых вносятся в электронную базу данных СУСМ «Белмост».

Данные по результатам испытаний мостов и путепроводов также вносятся в данную базу, при этом складывается комплексная формализация технического состояния указанных сооружений, что и является основной задачей проведения мониторинга.

## Литература

1. Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний: СНиП 3.06.07-86.

2. Пособие П1-01 к СНиП 3.06.07-86 Проведение осмотров и оценка технико-эксплуатационного состояния искусственных сооружений на автомобильных дорогах.

УДК 624.073.124.04

### **РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ МОНОЛИТНОЙ СТЕНКИ ВОДОПРИЕМНОЙ КАМЕРЫ В УСЛОВИЯХ ГЛУБОКОГО ЗАГЛУБЛЕНИЯ В ГРУНТ**

**Свиридович С.Н., канд. техн. наук**

***Белорусский национальный технический университет***

***(г. Минск, Республика Беларусь)***

Водоприемная камера является составной частью ливневого коллектора общей длиной 160 м, проложенного под одной из улиц в г. Минске. Уровень низа днища камеры находится на глубине 4,94 м (рис. 1).

Конструкция водоприемной камеры представляет собой замкнутый прямоугольный в плане короб размерами 3,5х2,5 м, состоящий из боковых монолитных железобетонных стенок толщиной 16 см и железобетонной плиты перекрытия, опертой на боковые стенки. В стенках и плите имеются отверстия, в которые заведены конструкции водопроводящих труб с обеспечением герметичности стыков данных конструкций (рис. 1).

В связи с тем, что в ходе работ по сооружению водоприемной камеры глубина ее расположения оказалась больше проектной, возникла необходимость в дополнительном определении прочности отдельных конструктивных элементов камеры.

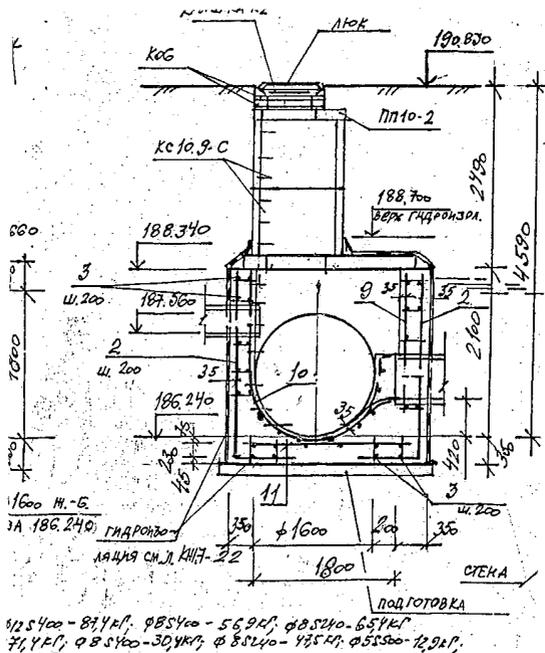


Рис. 1. Общий вид водоприемной камеры (из данных рабочего чертежа)

Расчету подвергнута боковая стенка с высотой 2,45 м и шириной (пролетом) 1,05 м. Расчетная схема стенки представляет собой плиту, свободно опертую по трем сторонам и испытывающую воздействие горизонтальной составляющей от давления толщи грунта высотой, численно равной 4,94 м, – от подошвы фундамента стенки до поверхности земли. При данной схеме нагружения стенка рассчитывалась на действие изгибающего момента от совместного воздействия вертикального и горизонтального давлений грунта. Грунт насыпной, неоднородный, из супеси, песка и гравия, со значительным присутствием битого кирпича и щебня, что является обычным для городских условий. Объемный вес грунта с учетом данных факторов составил  $\gamma = 15,68 \text{ кН/м}^3$ . Соответственно угол внутреннего трения был принят  $\varphi = 35^\circ$ .

Высота грунта, оказывающего горизонтальное давление  $H_{гр} = 2,45 \text{ м}$ , оказывающего вертикальное давление  $H_{вр} = 4,94 \text{ м}$ .

Распределение бокового давления грунта принималось трапециевидным, при этом верхняя и нижняя ординаты соответствующей эпюры рассчитывались по следующим зависимостям:

$$q_b = n \cdot b \cdot \gamma \cdot H_{np} \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \varphi/2) = 35,24 \text{ кН/м}^2 ,$$

$$q_n = n b \gamma (H_{гр} + H_{np}) \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \varphi/2) = 52,72 \text{ кН/м}^2 .$$

Максимальный момент, действующий у наиболее загруженного края стенки:

$$M_{Sd} = 0,078 q_b (1,05)^2 + 0,025 q_n \cdot (1,05)^2 = 4,484 \text{ кН} \cdot \text{м} .$$

Расчетное сопротивление изгибу стенки определялось исходя из параметров прочности монолитного бетона С16/20,  $f_{cd} = 10,67$  МПа и рабочей арматуры класса S240,  $f_{yd} = 218$  МПа с учетом поправочных коэффициентов, введенных согласно п.п. 6.1.2.11 и 6.2.1.3 СНБ 5.03.01-02 соответственно.

Указанные расчетные параметры были определены на основании данных исполнительной документации по возведению водоприемной камеры (исполнительные рабочие чертежи, акты на скрытые работы).

$$M_{Rd} = \alpha \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot x_{eff} \cdot (d - 0,5 \cdot x_{eff}) + f_{yd} \cdot A_{s2} \cdot (d - c_1) = 31,12 \text{ кН} \cdot \text{м} .$$

Таким образом, прочность железобетонной монолитной стенки водоприемной камеры ливневого коллектора обеспечивается при значительной глубине залегания (около 5 м) и насыпных грунтах со значительными примесями строительных обломков.

Запас прочности стенки может быть использован при учете влияния временных нагрузок, т.е. ориентированно под проезжей частью улиц и примыкающих к ним тротуаров, поскольку объект исследования располагается в новом микрорайоне г. Минска, интенсивно развивающемся в плане транспортной инфраструктуры.

### Литература

МАиС РБ. Строительные нормы Республики Беларусь. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02, 2004.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЦЕНТРАЛЬНО ЗАГРУЖЕННОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЛИТЫ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

Шевчук Л.И., канд. техн. наук, доцент,  
Вербицкая О.Л.

*Белорусский национальный технический университет*

*(г. Минск, Республика Беларусь)*

### Введение

При проектировании отдельных фундаментов, фундаментных плит и плит дорожных покрытий одной из важнейших проблем является учет жесткости грунтовых оснований, которые на разных площадках строительства могут отличаться особенностями своих механических свойств.

Ставится задача разработки модели для определения напряженно-деформированного состояния и метода оптимизации прямоугольных плит кусочно-постоянного сечения на упругом основании. Предусмотрена возможность расчета как физически линейной, так и физически нелинейной плиты.

Целью оптимизации является получение плиты минимального объема под заданную нагрузку при выполнении условий прочности и жесткости. В качестве параметров оптимизации приняты толщины отдельных частей плиты. Для оптимизации использован метод градиентного спуска по границе [1].

### Оптимизация плиты методом градиентного спуска по границе

*Статический расчет плиты выполнен методом конечных элементов.* Прямоугольная нелинейно деформируемая плита разделена на  $n$  частей, отличающихся своей толщиной. Параметрами оптимизации являются толщины частей плиты  $\{x_i\}$ . В качестве целевой функции взят объем пластинки  $V(\vec{X})$ . На параметрах оптимизации строится многомерное пространство  $R_n$ , в пределах которого определяется минимум целевой функции

$$V(\vec{X}) = \min V(\vec{X}), \quad \vec{X} \in R_n, \quad (1)$$

где  $\vec{X}$  – вектор (точка)  $n$  – мерного пространства  $R_n$

$$\vec{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T.$$

Параметры оптимизации ограничены только снизу

$$x_i \geq x_{adm}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

Поставлены ограничения, выражающие условие прочности и жесткости

$$R_u - \sigma_{eq} \geq 0; \quad w_{adm} - w_{max} \geq 0, \quad (3)$$

где  $x_i$  – толщина  $i$ -й части плиты;

$x_{adm}$  – минимально допустимая толщина плиты;

$R_u$  – расчетное сопротивление материала плиты;

$\sigma_{ec}$  – эквивалентное напряжение;

$w_{adm}$  – допускаемый прогиб плиты;

$w_{max}$  – максимальный прогиб плиты.

Для поиска решения сформулированной выше задачи оптимизации нелинейно-деформированной плиты с кусочно-постоянным сечением применяется специально разработанный алгоритм [1], где используется метод градиентного спуска с проецированием очередной точки приближения на границы допускаемой области. В малой окрестности текущей точки пространства  $R_n$ , построенного на параметрах оптимизации, объем пластины может быть выражен линейной функцией параметров оптимизации

$$V(\vec{X}) = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n = \sum_{i=1}^n a_i x_i, \quad (4)$$

где  $a_i$  – постоянные коэффициенты, устанавливаемые из геометрических соображений,  $a_i > 0$ ;

$x_i$  – толщина плиты в различных ее частях.

Очевидно, что целевая функция  $V(\vec{X})$ , может быть представлена как гиперплоскость в  $n+1$ - мерном пространстве, построенном на параметрах оптимизации  $\vec{X}$  и объеме пластины  $V$ .

Пусть вблизи границы, описываемой условием (3), расположена точка  $N$  с координатами  $x_{1N}, x_{2N}, \dots, x_{nN}$ . Левые части выражений (3) можно рассматривать как некоторую функцию  $\varepsilon(\vec{X})$ , неявно выраженную через параметры оптимизации  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Учитывая, что размеры окрестности точки  $N$  малы, функцию  $\varepsilon(\vec{X})$ , можно представить как линейную. Приравняв ее к нулю, получим границу допустимой области параметров оптимизации

$$\varepsilon(\vec{X}) = b_0 + b_1x_1 + \dots + b_nx_n = 0, \quad (5)$$

где  $n$  – количество параметров оптимизации.

Очевидно, что граница в этом случае представляют собой гиперплоскость в пространстве  $R_n$ . Для определения коэффициентов уравнения (5)  $b_0, b_1, \dots, b_n$  вычисляются значения  $\varepsilon_j(\vec{X})$  в точках, расположенных на координатных осях пространства  $R_n$  и удаленных от точки  $N$  на расстоянии  $s$ , а также в самой точке  $N$ . Выполняя равенство (5) в перечисленных точках, получим систему, содержащую  $n+1$  линейных алгебраических уравнений

$$\varepsilon_k = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_{ik}, \quad k = 0, 1, \dots, n. \quad (6)$$

Решением системы уравнений (6), устанавливаются значения коэффициентов  $b_i$ . Для продолжения поиска оптимального решения вблизи границы (3) из точки  $N$  направим вектор в сторону антиградиента функции  $V(\vec{X})$  и обозначим конец этого вектора буквой  $M$ .

Если в точке  $M$  условия (3) не выполняются, то направление поиска оптимального решения корректируется. Для этого определяются направляющие косинусы  $\beta_i$  гиперплоскости  $\varepsilon(\vec{X}) = 0$ .

Уравнение нормали к плоскости  $\varepsilon(\vec{X}) = 0$ , опущенной из точки  $M$ , имеет вид:

$$\frac{x_i - x_{i,M}}{\beta_i} = \frac{x_{i+1} + x_{i+1,M}}{\beta_{i+1}}, \quad i = 1, 2, \dots, n-1. \quad (7)$$

Координаты точки пересечения гиперплоскости  $\varepsilon(\vec{X}) = 0$  и нормали к ней, опущенной из точки  $M$ , определяются в результате решения системы уравнений (8).

На каждом шаге поиска оптимального решения выполняется проверка и, если хотя бы одна из границ пересечена, строится план, включающий саму прогнозируемую точку  $M$  и все ее проекции на границах (рис. 1).

$$\varepsilon_t(\vec{X}) = 0, \quad t = 1, 2, \dots, n; \quad \varphi_j(\vec{X}) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (8)$$

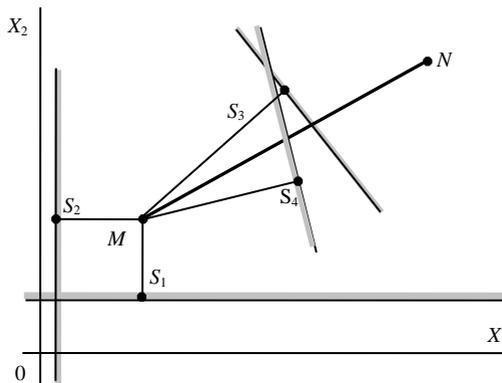


Рис. 1. Схема построения плана проекций на границы допустимой области параметров оптимизации

Затем устанавливается такая точка плана, в которой одновременно выполняются условия (3) и целевая функция  $V(\vec{X})$  имеет наименьшее значение. Эта точка и принимается в качестве решения на данном шаге приближения.

### Пример оптимизации плиты на упругом основании

Выполнен расчет центрально нагруженной плиты ( $2,4 \times 2,4$  м) на упругом основании. Плита подкреплена двумя перекрестными ребрами шириной 40 см. Модуль упругости и коэффициент Пуассона плиты соответственно равны  $E = 29$  ГПа,  $\nu = 0,18$ . Коэффициент жесткости основания установлен пробным расчетом по осадке  $W_0 = 10$  мм при давлении  $p = 200$  кПа. Для ограничения по прочности и жесткости приняты  $R_u = 12$  МПа и  $w_{adm} = 30$  мм. В качестве параметров оптимизации приняты толщина плиты и высота ребра.

В результате расчета по авторской программе *CROSS* получена плита оптимальной размеров с толщиной плиты  $h_p = 10$  см и высотой ребра  $h_r = 30$  см.

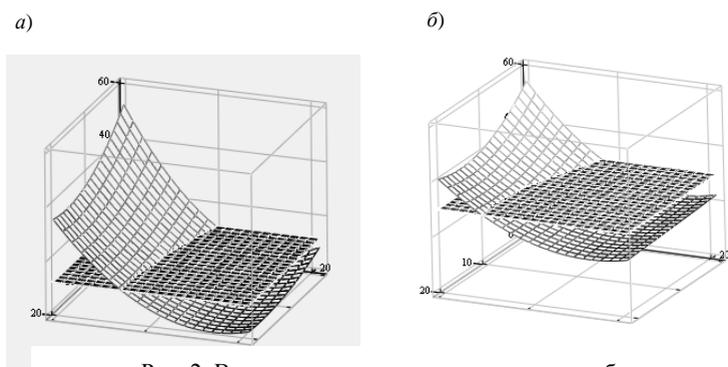


Рис. 2. Влияние толщины плиты и высоты ребра на результаты расчета

а) максимальные напряжения; б) максимальные прогибы

На рис. 2 приведены зависимости максимальных напряжений и максимальных прогибов плиты от толщины плиты и высоты ребра.

### Заключение

Анализ полученных результатов показывает, что в случае расположения точки поиска оптимального решения вблизи границы допустимой области эффективным является метод градиентного спуска с проецированием поисковой точки на границы. При этом

значительно сокращается число обращений к статическому расчету нелинейно деформируемой пластины.

Изложенный выше метод может быть успешно использован при составлении прикладных программ для оптимизации фундаментных плит и отдельно стоящих фундаментов.

### **Литература**

Вербицкая, О.Л. Алгоритм оптимизации прямоугольных пластинок методом градиентного спуска с навигацией направления поиска вблизи границы / О.Л. Вербицкая // Вестник БНТУ. – 2004. – № 2. – С.15–20.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
------------------	---

### СЕКЦИЯ «АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ»

1. <i>Адашкевич В.И., Вишняков Н.В., Клибашев С.М.</i> Обследование и технический учет автомобильных дорог с применением GPS приемников.....	6
2. <i>Бабаскин Ю.Г.</i> Обоснование причины разрушения дорожного цементобетонного покрытия.....	12
3. <i>Булявичюс М., Петкявичюс К., Жиленене Д.</i> Исследование физико-механических свойств крупных заполнителей, применяемых для производства асфальтовых смесей в Литве	18
4. <i>Бурова О.В., Демидович И.А., Лопатина С.Н., Лясковская Л.П., Яковлев А.П.</i> Сезонные особенности воздействия противогололедных материалов на почвы придорожных территорий.....	24
5. <i>Буртыль Ю.В., Леонович И.И.</i> , Вопросы взаимосвязи ровности и прочности дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием.....	31
6. <i>Бусел А. В., Куприянчик А. А.</i> , Получение активированных минеральных порошков на ОАО «ДОЛОМИТ».....	37
7. <i>Величко Г.В.</i> Трассирование самопоясняющих и саморегулирующих дорог.....	42
8. <i>Вербило И.Н.</i> Факультет транспортных коммуникаций БНТУ дорожный центр инновационной, научной и педагогической деятельности.....	48
9. <i>Игошкин Д.Г.</i> Исследование влияния температурных режимов устройства асфальтобетонных покрытий на их уровень надежности.....	53
10. <i>Ковалев Я.Н.</i> Инновационные технологии в дорожном материаловедении на рубеже XXI века.....	58
11. <i>Ковалев Я.Н., Яглов В.Н., Меженцев А.А., Бурак Г. Евсеева Е.А., Кречко Н.А., Шагойко Ю.В.</i> Новые физико-химические подходы к совершенствованию качества дорожных композиционных материалов.....	65

12. <i>Концевой В.А., Оляк В.Ю.</i> Современная приборная база для контроля качества дорожно-мостового строительства и оснащения служб технического надзора.....	71
13. <i>Кравченко С.Е., Вавилов П.В.</i> К вопросу о методике подбора состава эмульсионно-минеральных смесей, оценки свойств и прогнозирования сроков формирования дорожного бетона на их основе.....	76
14. <i>Кравченко С.Е., Верменюк В.В.</i> Оценка усталостной долговечности асфальтобетона.....	84
15. <i>Куприянчик А.А., Раковец Л.Д.</i> Информационное обеспечение системы управления дорожных организаций для практико-ориентированного обучения инженерных кадров.....	92
16. <i>Леонович И.И., Капский Д.В., Кот Е.Н.</i> Автомобильные дороги и безопасность дорожного движения: теория и практика.....	94
17. <i>Леонович И. И., Вырко Н. П.</i> Лесные автомобильные дороги в системе дорожного комплекса страны.....	109
18. <i>Леонович И.И.</i> Теоретические основы эксплуатации автомобильных дорог в трудах профессора А.П. Васильева.....	117
19. <i>Михайлов В.И., Скрёбков Г.В.</i> Сравнительный анализ точности измерения вертикальных перемещений сооружений высокоточным нивелированием и электронным тахеометром..	124
20. <i>Мытько Л.Р.</i> Кафедра «Проектирование дорог» к 90-летию БНТУ.....	128
21. <i>Мытько Л.Р.</i> Повышение качества переподготовки и повышения квалификации инженерных кадров дорожной отрасли.....	135
22. <i>Нестеренок М. С.</i> Инновационные методы геодезических работ при строительстве дорог.....	140
23. <i>Песецкий С.С., Ковалев Я.Н., Яглов В.Н., Медведев Д.И.</i> Безбитумные вяжущие для ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий.....	146
24. <i>Павлюк Д.А., Лебедев А.С., Булах Е.А., Глуховера В.М., Шурьяков М.В., Сокольчук С.И.</i> Усовершенствование оценки уплотнения грунтов легким прибором с падающим грузом.....	151
25. <i>Павлюк Д.А., Глуховера В.М.</i> Исследование приживаемости каменного материала для тонких слоев износа.....	155

26. <b>Пигин А.П., Васильков Д.М., Чадович Д.В., Яковенко М.П.</b> Практическая реализация совместного уравнивания ГНСС-векторов и наземных измерений.....	160
27. <b>Позняк А.С., Гусь О.В., Брухан Т.А.</b> Автоматизация нанесения на топографический план точек съёмочного обоснования, речных точек тахеометрической съёмки и нивелирования по квадратам для студентов строительных и архитектурных специальностей.....	166
28. <b>Позняк А.С., Кольцов Е.В., Иванов А. Л.</b> Использование программы «Free T-Geoplan 6» для автоматизации топографических работ по инженерной геодезии.....	172
29. <b>Позняк А.С., Прокурат Л.В., Гармаза О.Е.</b> Использование рейтинговой системы при изучении инженерной геодезии	177
30. <b>Реут Ж.В., Кушинский В.А., Чистова Т.А.</b> Асфальтобетон для мостового полотна.....	183
31. <b>Селюков Д.Д.</b> Измерение параметров профиля шероховатой поверхности дорожного покрытия.....	188
32. <b>Столбов Ю.В., Столбова С.Ю., Нагаев Д.О.</b> Точность геодезических и строительных работ для обеспечения заданного высотного положения оснований и покрытий автомобильных дорог.....	194
33. <b>Хрусталев Б.М., Ковалев Я.Н., Романюк В.Н.</b> Анализ энергоиспользования на АБЗ и возможности снижения удельного энергопотребления на производство горячей асфальтобетонной смеси.....	200
34. <b>Хомяк А.Я., Татарченко С.В.</b> К вопросу усовершенствования проектирования транспортных развязок.....	205
35. <b>Хомяк А.Я., Татарченко С.В.</b> К вопросу усовершенствования методов проектирования дорожных сетей .....	210
36. <b>Шумчик В.К., Кравченко С.Е.</b> Инновационные технологии при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог.....	213
37. <b>Ядыкина В. В., Акимов А. Е.</b> Высококачественный асфальтобетон на битумах, активированных СВЧ-полем.....	224
38. <b>Ядыкина В.В., Траутвайн А.И.</b> Механическая активация минеральных порошков.....	230
39. <b>Костин С.В.</b> О проектировании автомагистралей.....	236

## СЕКЦИЯ «МОСТЫ И ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ»

1. <i>Вайтович О.М., Тромпель Д.А.</i> Контроль напряженно-деформированного состояния металлоконструкций пролетного строения моста через р. Западная Двина на обходе г. Витебска	243
2. <i>Гречухин В.А.</i> Гидрофобный цемент и способы его получения	252
3. <i>Гулицкая Л.В., Куц Н.Н., Король Е.А., Шиманская О.С.</i> Проблемы обеспечения эксплуатационной надежности городских мостов и путепроводов	258
4. <i>Гулицкая Л.В., Куц Н.Н., Шиманская О.С.</i> О минимизации техногенных рисков при строительстве и эксплуатации мостов	263
5. <i>Гусев Д.Е.</i> Особенности применения нагрузки LM1 по Еврокоду 1 в условиях Республики Беларусь	269
6. <i>Зиневич С.И., Гурбо Н.М., Леонович И.И., Венцович В.Б., Соболевская С.Н.</i> Некоторые резервы для повышения долговечности транспортных сооружений	275
7. <i>Ляхевич Г.Д., Максименко А.Л.</i> Влияние структурного типа битума на физико-механические свойства композитного вяжущего для гидроизоляции мостовых и тоннельных конструкций	282
8. <i>Мархвіда У.Г.</i> Выкарыстанне лазера пры даследаванні мастоу	288
9. <i>Мацкевич А.С., Оляк В.Ю.</i> Обеспечение долговечности автодорожных мостов	291
10. <i>Мойсейчик Е.А., Мойсейчик Е.К., Филатов С.А.</i> Мониторинг обделки тоннеля метрополитена на основе термографического сканирования	294
11. <i>Нестеренко В.В.</i> Исследование надежности железобетонных балок пролетного строения автодорожных мостов	305
12. <i>Николаевич А.И.</i> Опыт реконструкции балочных пролетных строений мостов на примере моста через реку Поня на автодороге Р-3	310
13. <i>Пастушков В.Г.</i> Расчет несущих железобетонных элементов пролетных строений мостов по прочности сечений, нормальных к продольной оси элементов, по деформационной модели	318

14. <b>Пастушков Г.П., Пастушков В.Г., Вайтович О.М.</b> О применении Еврокодов при проектировании несущих конструкций мостовых сооружений.....	324
15. <b>Степанович О.А., Пастушков В.Г.</b> Научно-техническое сопровождение строительства моста через р. Сож в г. Гомель..	331
16. <b>Подшивалов В.П.</b> Современные возможности картографо-геодезического обеспечения транспортных сооружений.....	346
17. <b>Позняк А.С., Прокурат Л.В., Гармаза О.Е.</b> Использование рейтинговой системы при изучении инженерной геодезии.....	351
18. <b>Расинская Л.Г.</b> Об организации учебного процесса на кафедре «Мосты и тоннели».....	357
19. <b>Сафронов В.С., Зазвонов В.В.</b> Арочные железобетонные грунтозасыпные сооружения на автомобильных дорогах РФ. Конструктивная особенность, перспективы применения, расчетный анализ.....	361
20. <b>Свиридович С.Н., Ковалёв К.Г., Путило В.М.</b> Мониторинг технического состояния транспортных сооружений на автомобильных дорогах.....	367
21. <b>Свиридович С.Н.</b> Расчет железобетонной монолитной стенки водоприемной камеры в условиях глубокого заглубления в грунт.....	370
22. <b>Шевчук Л.И., Вербицкая О.Л.</b> Оптимизация центрально нагруженной прямоугольной плиты на упругом основании.....	373

Научное издание

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА  
И ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОРОГ, МОСТОВ  
И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Материалы Международной научно-практической конференции,  
посвященной 90-летию Белорусского национального  
технического университета

В 2 частях

Часть 1

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ,  
МОСТЫ И ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

---

Подписано в печать 09.07.2010.

Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 22.32. Уч.-изд. л. 17.45. Тираж 150. Заказ 696.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.