

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Факультет транспортных коммуникаций

# ДОРОЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО И ЕГО ИНЖЕНЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Материалы  
Международной научно-технической  
конференции

Минск  
БНТУ  
2020

УДК 625.7/.8:658.51(06)  
ББК 39.311я43  
Д69

Редакционная коллегия:

Главный редактор:  
кандидат технических наук, доцент *С.Е. Кравченко*

Редакторы:  
кандидат технических наук, доцент *С.И. Зиневич*;  
кандидат технических наук, доцент *В.А. Гречухин*;  
доктор технических наук, профессор *А.В. Вавилов*;  
кандидат технических наук, доцент *И.Е. Рак*;  
кандидат технических наук, доцент *Е.А. Евсеева*

Технические редакторы:  
старший преподаватель *Е.П. Ходан*;  
старший преподаватель *С.Н. Соболевская*;  
старший преподаватель *В.А. Ходяков*

В сборник включены статьи преподавателей и студентов Факультета транспортных коммуникаций, а также работников других организаций дорожно-строительного профиля и его инженерного обеспечения.

УДК 625.7/.8:658.51(06)  
ББК 39.311я43

ISBN 978-985-583-607-1

© Белорусский национальный  
технический университет, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

Секция «Автомобильные дороги» .....	5
Секция «Мосты и тоннели» .....	121
Секция «Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса» .....	163
Секция «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии» .....	235
Секция «Математические методы в строительстве» .....	273
Секция Студенческая.....	309



**Секция  
«Автомобильные дороги»**

## **Трещинообразование в цементобетонных дорожных покрытиях**

Бабаскин Ю.Г.

Белорусский национальный технический университет

*Трещина является началом любого разрушения цементобетонного покрытия. Её возникновение связано с концентрацией напряжений, возникающих по различным причинам. Теория трещин рассматривает с позиции континуумизации множество вариантов развития трещины.*

Дорожный цементобетон представляет собой композиционный материал, состоящий, как правило, из следующих компонентов: крупного и мелкого заполнителей, а также из цементного камня. Все вводимые добавки, направленные на совершенствование отдельных свойств бетона, воздействуют на формирование цементного камня и влияют на формирование структуры, как самого цементного камня, так и на его адгезию к минеральным компонентам. Рассматривая структуру цементобетона, отличающуюся от однородной структуры металла, невозможно анализировать появление дефектов на атомном уровне, поскольку данный материал представляет собой многокомпонентный материал, в котором компоненты характеризуются различными физическими свойствами, что отражается на характеристике цементобетона некоторыми усредненными показателями, характеризующими в целом прочность материала как физического тела.

Дефекты цементного камня, трещины и поры различного происхождения и различных размеров делают определение прочностных характеристик отдельных компонентов, а также адгезионных связей композиционных материалов весьма затруднительным. Поэтому прочностные показатели цементобетона являются усредненными показателями многофазовой структуры. Определяя прочность цементобетона, мы рассчитываем прочностной показатель для образца, а не для материала в целом, который представляет плиту или ленту с армированными или неармированными швами. Статистическая природа разрушения, подтверждаемая масштабным эффектом, свидетельствует о том, что большие образцы имеют меньшую прочность, чем малые образцы, той же формы, что объясняется большей вероятностью появления опасного дефекта в большем объеме материала. Кроме того, необходимо учитывать, что разрушение тождественно появлению различных дефектов, является процессом, развивающимся во времени и может произойти при разных уровнях напряжений. Концентрация напряжений, вызываемая

устройством различных швов (расширения, сжатия, коробления, рабочих), оказывает большое влияние на прочность тела. Следует учитывать такой фактор, как накопление деформаций, возникающих под действием многократно прилагаемой нагрузки и погодно-климатических условий, которые влияют на скорость развития и концентрацию напряжений. Все обозначенные факторы создают сложную картину механики разрушения композиционных материалов.

Наиболее характерным видом разрушений являются трещины. Основные причины их образования – воздействие погодно-климатических факторов, транспортных нагрузок, изменение свойств материалов со временем.

Под действием этих факторов в цементобетонной плите возникают: деформации, вызванные физическим воздействием нагрузки; изменение напряжений, связанных с увлажнением плиты и проникновением молекул воды в структуру цементного камня, вызывая начало химического процесса; концентрация напряжений, являющаяся следствием увеличения или уменьшения объема физического тела (заполнителя, цементного камня). Эти процессы происходят на макроуровне.

Трещина - это разрыв структурных связей. Изучение трещин свидетельствует о том, что они могут возникать в любом месте цементобетонного дорожного покрытия и характеризоваться как: поперечные сквозные (как в середине плиты, так и вдоль швов) и поверхностные; продольные сквозные; косые на угловых участках; волосяные усадочные. В зависимости от природы трещинообразования они называются: температурные, образуются за счет возникновения температурных напряжений при охлаждении покрытия; силовые, образуются от действия транспортной нагрузки, превышающей действующие нормы (чаще при недостаточной несущей способности основания); технологические, возникают в результате неправильного подбора состава смеси или нарушения технологии; усталостные, возникают вследствие накопления деформаций при прогибе дорожной одежды

Образование трещины характеризуется следующими условиями:

1. потерей прочности цементного камня, в этом случае трещина проходит по цементному камню;
2. нарушение адгезии между цементным камнем и крупным или мелким заполнителем, трещина частично или полностью отделяет заполнитель от цементного камня;
3. потерей структурных связей всех компонентов (возможно при сильном физическом воздействии или длительном наборе усталостных напряжений). Трещина проходит по цементному камню с разрушением адгезионных связей. При такой деформации может происходить частичное разрушение крупного заполнителя;

4. нарушение прочности в основании, которое отразится на изменении прочности любого из компонентов, чаще всего на наиболее слабом (адгезионном взаимодействии или цементном камне).

В теории непрерывных сред, для облегчения исследования процессов, протекающих в структуре неоднородных материалов, используют принцип континуумизации, который дает возможность применить непрерывные функции для описания явлений и процессов, протекающих в неоднородных структурированных материалах и рассматривать неоднородные структуры как континуум (непрерывность). С позиции континуумизации цементобетонная плита, ограниченная продольным и поперечными швами, является континуумом для всего покрытия, а внутри этой плиты выбранный минимальный объем, включающий все компоненты, используемые при создании цементобетонной плиты, также являются континуумом, как для плиты, так и для всего покрытия. Отличие будет заключаться в том, что в первом случае это касается конструктивного элемента, а во втором материального тела. Континуум характеризуется:

1) материальным элементом, состоящим из трех компонентов: крупного заполнителя, мелкого заполнителя и цементного камня;

2) прочность крупного заполнителя характеризуется показателем –  $R_{кр}$ , мелкого заполнителя –  $R_m$ , цементного камня –  $R_c$ ;

3) контактный слой (адгезионная связь) между крупным заполнителем и цементным камнем характеризуется –  $R_{кр}^{ад}$ , а между мелким заполнителем и цементным камнем –  $R_m^{ад}$ .

Согласно механике трещин, их развитие сопровождается накоплением микропор, их слияние с образованием микротрещин, постепенно снижающих уровень прочности. Концентрация напряжений рассматривается в теории Гриффитса, в основе которой лежит представление об энергетическом барьере – поверхностной энергии, который необходимо преодолеть для продвижения трещины. В освободившемся пространстве формируется образование поверхности, которая характеризуется освободившимися минеральными радикалами. Формулировка энергетического критерия Гриффитса свидетельствует в том, что разрушение развивается, если интенсивность освободившейся энергии достигает критического значения.

Концентрация напряжений в точке раскрытия трещины представлена на рис. 1, при этом образованные поверхности свободны от напряжений.

Современные экспериментальные данные свидетельствуют о постепенном развитии разрушения, в котором первичные разрушения и микротрещины играют большую роль, а сам процесс носит длительный характер. Трещина начинает развиваться задолго до полного разрушения, что подтверждается анализом хрупких разрушений.

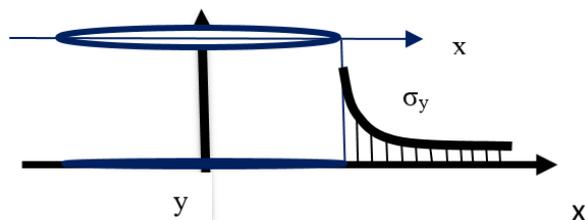


Рис. 1. Эпюра концентрации напряжений в точке раскрытия трещины

Влияние температуры при твердении ускоряет химические процессы реакции гидратации и в результате положительно влияет на рост прочности. Однако при укладке и схватывании может неблагоприятно повлиять на прочность в возрасте 7 суток и более. Это объясняется тем, что при быстрой гидратации образуются более пористые структуры и значительная часть пор остается незаполненной, что повлияет на снижение прочности. Наиболее благоприятным режимом для твердения цементобетона в первые 7 суток является температура  $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$  и влажность  $(95 \pm 5)\%$ , а при высоких температурах твердения до достижения 50...70 % нормируемой прочности. По мнению различных авторов, (Жуков В.В) прочность повышается в 2 раза при нагреве до  $60^\circ\text{C}$ , а при нагреве до  $+100^\circ\text{C}$  прочность уменьшается на 25...30 %. При температуре свыше  $200^\circ\text{C}$  в бетоне возникают деструктивные процессы, связанные дегидратацией материала и распадом связующих соединений. Известно, что портландцемент разрушается при температуре  $800^\circ\text{C}$  (Милованов А.Ф., Камбаров Х.У., Ильин Н.А.). Согласно исследованиям Леоновича С.Н. при температуре  $-150^\circ\text{C}$  бетон становится упругим телом с прочностью в 100 МПа, а с повышением температуры деформативность повышается и прочность понижается. В климатическом диапазоне температур  $(0 \dots 100)^\circ\text{C}$  проявляется нестационарный режим воздействия на бетон (день, ночь, зима, лето), в диапазоне отрицательных температур, как правило, стационарный.

При образовании усталостных трещин различают два периода:

- 1) инкубационный, характеризующийся накоплением микроповреждений
- 2) период распространения усталостных трещин, который можно проиллюстрировать графиком зависимости изменения относительной длины трещины к числу циклов накопления (рис. 2).

Теория трещин рассматривает различные варианты развития трещины: в известном направлении и заданной формы (плоская прямолинейная трещина), а также вариант, когда траектория развития трещины заранее не известна и подлежит определению в зависимости от нагружения или деструктивных явлений, происходящих с компонентами бетона.

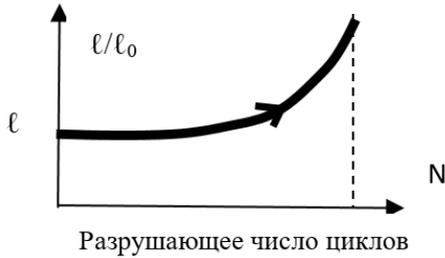


Рис. 2. Зависимость относительного удлинения трещины от числа циклов

Медленный рост трещин связан с процессами разрушения, постепенно разветвляющимися в вершине трещины, а также развитием деформации тела. Лавинное распространение трещины характерно для хрупких тел.

Изучение и применение теории трещин дает инженеру возможность правильно оценить прочность материала и конструкции в целом, а также более глубокого понимания причин разрушения.

### Литература

1. Качанов Л.М. Основы механики грунтов. Изд-во «Наука». Главная редакция физико-математической литературы. М. 1974. – 312 с.
2. Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при температурных и коррозионных воздействиях / Под редакцией С.Н. Леоновича. В 2 частях. Часть 1. БНТУ. 1916.
3. Милованов, А.Ф. Влияние повышенных температур на прочность и модуль упругости тяжелого бетона / А.Ф. Милованов, Н.И. Тупов. – Промышленность сборного железобетона, ТИ 1965, № 9.

## Определение прочностных свойств грунтов с использованием измерителя динамического модуля упругости грунтов ДПГ-1.2

Бабаскин Ю.Г., Козловская Л.В.

Белорусский национальный технический университет

При определении осадки грунта в основании дорожной конструкции, в практике расчетов применяют модуль деформации, являющийся коэффициентом пропорциональности между возникающим напряжением и относительной деформацией, который подтверждается законом Гука. Следует учитывать, что длительная статическая деформация является полной и включает в себя как остаточную, так и упругую. При действии кратковременной динамической нагрузки от колеса автомобиля в дорожной конструкции возникают упругие деформации, которые после снятия нагрузки должны полностью исчезнуть. Следовательно, упругая деформация является только частью полной. На основании графика зависимости деформации от напряжения (рис. 1), можно установить, что общая деформация включает, как упругую, так и остаточную, следовательно, величина модуля упругости всегда больше модуля деформации.

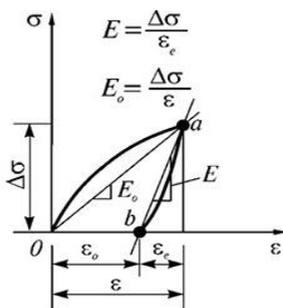


Рис. 1. Выражение зависимости деформации от напряжения через закон Гука

В нормативных документах (ДМД 02191.5.008-2009) приведены значения модулей упругости грунтов, которые применяются при сооружении земляного полотна. Значения этого показателя находятся в интервале 150...20 МПа, в зависимости от связности, гранулометрии и содержания глинистых частиц (табл. 1)

В зависимости от предъявляемых требований различают модули упругости: длительный или статический –  $E_{st}$  (относительно большое время действия нагрузки), динамический –  $E_D$  (действие нагрузки менее 0,1 с), требуемый (для расчетного периода, обеспечивающего заданный уровень надежности) и эквивалентный (модуль упругости однородного полупространства, эквивалентного модулю упругости слоистой дорожной конструкции).

Между статическим и динамическим модулями упругости существует корреляционная зависимость, на основании которой можно представить значения этих показателей при различных коэффициентах уплотнения (табл. 2).

Таблица 1. Значения модуля упругости грунтов

Степень связности	Вид грунта	Разновидность	Число пластичности	$E_y$ , МПа
Несвязные	Песок	Крупный	Менее 1	130
		Средний		120
		Мелкий		100
		Пылеватый		96-43
Слабо связные	Супесь	Легкая крупная	1...7	65
		Легкая		70-40
		Пылеватая		108-25
		Тяжелая пылеватая		108-25
Связные	Суглинок	Легкий, легкий пылеватый, тяжелый, тяжелый пылеватый	7...17	108-23
Сильно связные	Глина	Песчанистая	17...27	50
		Пылеватая		40
		Жирная		30

Таблица 2. Зависимость модуля упругости от коэффициента уплотнения

Виды грунта	Коэффициент уплотнения $K_y$	Модуль упругости, МПа	
		$E_{st}$	$E_D$
Песчаные грунты с крупнообломочными включениями	$\geq 1,03$	$\geq 120$	$\geq 60$
	$\geq 1,00$	$\geq 100$	$\geq 50$
	$\geq 0,98$	$\geq 80$	$\geq 40$
	$\geq 0,97$	$\geq 70$	$\geq 35$
Песчаные грунты	$\geq 1,00$	$\geq 80$	$\geq 40$
	$\geq 0,98$	$\geq 70$	$\geq 35$
	$\geq 0,97$	$\geq 60$	$\geq 32$
Грунты мелкой фракции	$\geq 1,00$	$\geq 45$	$\geq 25$
	$\geq 0,97$	$\geq 30$	$\geq 15$

Динамический модуль упругости определяем с помощью Измерителя ДПГ-1,2, имитирующего проезд автомобиля по дорожному покрытию. ДПГ-1,2 применим для песчано-гравийных смесей с крупностью зерен до 40 мм. Принцип работы измерителя заключается в определении амплитуды полной осадки грунта под круглым штампом, при воздействии на него ударной нагрузки. Зная осадку грунта под штампом, диаметр штампа, коэффициент Пуассона и контактное напряжение определяют динамический модуль упругости грунта.

При строительстве земляного полотна основным контролируемым показателем является коэффициент уплотнения, а для определения величины осадки грунта при уплотнении необходимо знать деформационные характеристики. Лабораторные исследования проводились на кафедре «Автомобильные дороги» Белорусского национального технического университета (БНТУ). В качестве контролируемых параметров были приняты коэффициент уплотнения и влажность грунта. Объектом исследований являлся песок (крупный – модуль крупности – 2,7, средний – 2,3, мелкий – 1,8), супесь (легкая крупная, легкая), суглинок (легкий). Оптимальные значения влажности для грунтов составляли: песка 8...10 %, супеси – 8...14 %, суглинка 12...16 %. Максимальная плотность грунтов: песка 1,72...1,78 г/см<sup>3</sup>, супеси 1,75...1,8 г/см<sup>3</sup>; суглинка 1,8 г/см<sup>3</sup>. На основании опытных данных установлены зависимости динамического модуля упругости от коэффициента уплотнения для различных грунтов, имеющих различную консистенцию.

На основании проведенных исследований был применен экспресс-метод для определения прочностных свойств грунта. Исследования проводились на измерителе динамического модуля упругости ДПГ-1,2 с диапазоном измерения от 10 до 250 МПа. Установлена зависимость между динамическим и статическим модулями упругости. Определены модули, соответствующие заданным коэффициентам уплотнения. Получены значения динамического модуля упругости для различных грунтов, характеризующихся различной консистенцией.

### Литература

1. Леонович, И.И. Механика земляного полотна / И.И. Леонович, Н.П. Вырко, – Минск: Наука и техника. 1975. – 232 с.
2. Гольдштейн, М.Н. Механические свойства грунтов (напряженно-деформационные и прочностные характеристики). – М: Стройиздат, 1979. – 304 с.

## **Классификация грунтов по морозному пучению с определением показателя пучинистости**

Бабаскин Ю.Г., Козловская Л.В.

Белорусский национальный технический университет

Разрушение дорожной конструкции в результате морозного пучения связано со следующими факторами: составом грунтов в зоне промерзания, влажностью грунта перед промерзанием и условием увлажнения, глубиной и скоростью промерзания

К пучинистым грунтам относят дисперсные грунты, поры которых заполнены водой. Если пора частично заполнена водой, то расширение жидкой составляющей, многокомпонентной системы грунта, при замерзании, происходит за счет воздушной составляющей поры, если поры заполнены полностью, то происходит увеличение объема грунта, которое создает определенное давление на конструкцию. При оттаивании воды набухший грунт уменьшается в объеме и происходит его осадка.

Чем больше в грунтах пылевато-глинистых частиц, которые связывают песчаные частицы и удерживают воду, тем более они склонны к пучению. Такими грунтами являются: пылеватые разновидности глины, суглинка, супеси и пески, а также крупнообломочные грунты с пылевато-глинистым заполнителем. Наиболее пучинистые грунты содержат пылеватых частиц размером 0,05...0,005 мм от 30 до 80 %. Увеличение глинистых частиц размером менее 0,005 мм приводит к уменьшению миграционной влаги в грунте.

Влияние влажности на морозное пучение определяется двумя независимыми условиями:

- 1) влажность перед началом промерзания превышает влажность, соответствующую пределу пучения;
- 2) влажность перед началом промерзания превышает влажность, соответствующую критической влажности, где влажность предела пучения и критическая составляют пределы, после которых начинается пучение.

Величина морозного пучения характеризуется относительной деформацией морозного пучения, которая представляет собой отношение абсолютной вертикальной деформации морозного пучения промерзающего грунта к мощности промерзшего слоя, определяется из выражения:

$$\varepsilon_{fh} = \frac{h_f}{d_i}$$

где  $h_f$  – вертикальная деформация грунта в результате промерзания, мм;  
 $d_f$  – фактическая толщина промерзания грунта, мм.

По ГОСТ 28622-2012 относительная деформация морозного пучения та для непучинистых грунтов  $\varepsilon_{fh} < 0,01$ ; для слабопучинистых  $0,01 < \varepsilon_{fh} < 0,04$ ; для среднепучинистых  $0,04 < \varepsilon_{fh} < 0,07$ ; для сильнопучинистых  $0,07 < \varepsilon_{fh} < 0,10$ ; для чрезмернопучинистых  $0,10 < \varepsilon_{fh}$ . К чрезмернопучинистым относят глинистые грунты

В лабораторных условиях для определения степени пучинистости грунта применяют прибор УПГ- МГ4.01/Н «Грунт». Вертикальную деформацию измеряют с точностью до 0,1 мм, а погрешность в измерении температуры термодатчиком составляет 0,20С. При проведении испытания прибор заполняют водой, а к образцу прикладывают вертикальное давление, равное давлению от собственного веса грунта на горизонте отбора пробы. Прибор помещают в морозильную камеру и выдерживают в течение первых суток при температуре  $(1 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ , а затем температуру понижают таким образом, чтобы температура на верхнем торце образца составляла минус  $(4 \pm 0,2)^\circ\text{C}$ . При промораживании образца грунта до глубины 100 мм образец грунта разрезают вдоль вертикальной оси и измеряют фактическую толщину промерзшего слоя.

Лабораторными исследованиями (Шелопаев Е.И.) установлена зависимость морозного пучения пылеватой супеси и пылеватого суглинка от влажности. Зависимость между относительным пучением и влажностью носит прямолинейный характер. При влажности грунта, достигающей максимальной молекулярной влагоемкости ( $W_M = 0,46 W_L$ ) пучение грунта не наблюдается. При влажности грунта менее оптимальной ( $W_{opt} = 0,62 W_L$ ) пучение не превышает 1 % и грунт относится к непучинистым. Следовательно, грунты с влажностью менее оптимальной практически морозоустойчивы. При относительной влажности  $(0,62 \dots 0,76 W_L)$  для пылеватых супесей и  $(0,62 \dots 0,72 W_L)$  для пылеватых суглинков морозное пучение будет соответствовать предельно допустимым значениям.

Прогнозирование вероятности проявления пучин на дорогах может быть произведена в следующем порядке:

- 1) определяется величина морозного пучения на приборе УПГ-МГ4.01/Н «Грунт»;
- 2) по формулам Пузакова Н.А. и Корсунского М.Б. определяют глубину промерзания грунта;
- 3) по карте изолиний определяют среднюю максимальную многолетнюю глубину промерзания;
- 4) определяют модульный коэффициент, на основании которого и коэффициента вариации определяют вероятность появления пучин заданной величины.

Предложенная методика прогнозирования пучинообразования позволяет определить величину пучения различной вероятности для любого заданного района.

### **Литература**

1. Шукле, Л. Реологические проблемы механики грунтов / Пер.с англ. Н.М. Маслова. – М.: Стройиздат, 1973. – 845 с.
2. Бабаскин, Ю.Г. Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог. – Мн.: БГПА, 2001. – 233 с.

УДК 625.71

## **Роль парамагнитных дефектов на поверхности минеральных компонентов дорожно-строительных конгломератов в формировании прочных межфазовых контактов**

Бондаренко С.Н., Васильева Е.И.

Белорусский национальный технический университет

*Дефектная структура минеральных заполнителей дорожно-строительных материалов является важным фактором в формировании конгломератных композиционных материалов с высоким комплексом эксплуатационных свойств. Определяющий вклад в формирование оптимальной структуры дорожных материалов конгломератного типа вносит состояние межфазовой границы и прочность связей формирующихся в зоне контакта частиц минеральных компонентов конгломератных систем. ЭПР мониторинг минеральных заполнителей на основе измельченного кварцевого песка и мелких отсевов дробления гранита позволяет уверенно фиксировать наличие характерных сигналов от парамагнитных центров и/или парамагнитных частиц, локализованных на дефектах структуры упомянутых материалов. Использование методики определения активности минеральных заполнителей с помощью прибора ИАЦ-04М даёт возможность сравнения показателей активности природных песков до и после их активации в режиме измельчения и ультразвуковой обработки. Нами была установлена связь активности и некоторых особенностей дефектной структуры минеральных заполнителей с прочностными характеристиками целевых дорожно-строительных конгломератов. Использование стандартных методик испытаний на прочность конгломератных образ-*

*цов из цементного раствора на изгиб и сжатии показало связь прочностных характеристик испытываемых стандартных балочек с концентрацией поверхностных парамагнитных дефектов, удельной поверхностью и сравнительными показателями активности минеральных заполнителей в дорожно-строительных конгломератах.*

### *Введение*

В последнее время значительно увеличился объем знаний о природе твердого состояния и существенно расширились области применения этих знаний в самых различных областях, в том числе и в дорожном строительстве.

Все возрастающие потребности в качественных дорожных материалах нового поколения стимулируют разработки в области получения исходных сырьевых компонентов, полупродуктов и методов синтеза композиционных веществ конгломератного строения, изучение физико-химических свойств и механизмов реакций с их участием и, в конечном итоге, создание дорожных композиционных материалов конгломератного типа с заранее заданными свойствами. Применяемые в дорожном строительстве твердые минеральные материалы имеют реальную структуру, которая отличается от строго упорядоченной (идеальной) структуры наличием разнообразных дефектов. Некоторые из этих дефектов являются неизбежными при получении полуфабрикатов и целевых дорожно-строительных материалов. Эти дефекты, которые являются существенным фактором, способным определять заданный комплекс эксплуатационных характеристик могут появляться или устраняться в процессе технологических воздействий на исходное сырье и при формировании структуры целевого дорожно-строительного материала.

Взаимодействие между компонентами дорожных строительных конгломератов реализуется в процессе создания дорожной конструкции при проведении технологических операций на стадии контактирования и взаимодействия активных поверхностных структур. В настоящее время, исследования особенностей формирования локальных связей на поверхности контактирующих структур композиционных конгломератов с учётом процессов дефектообразования позволяет получить информацию о механизмах взаимодействия компонентов в системе минеральный заполнитель – вяжущее. В этой системе протекают гетерофазные процессы, движущей силой которых является наличие градиентов химических потенциалов на границе контактирующих поверхностей и нескомпенсированной электронной плотности в местах локализации электронов, которые стабилизированы на поверхностных дефектах. Вышеупомянутые реакционно-активные структуры (дефекты) способны вступать между собой в различные реакции на границе

раздела фаз с образованием прочных связей между компонентами конгломератных материалов. Сцепление с фазой вяжущего компонента на контактной поверхности минеральных частиц дорожного конгломерата обеспечивается на молекулярном уровне формированием прочной связи на межфазовой границе. Предполагается, что эта связь будет тем прочнее, чем больше концентрация парамагнитных дефектов на поверхности этих частиц.

Изучение дефектной структуры исходных минеральных компонентов дорожных конгломератов

Анализ основных параметров линий поглощения полученных спектров ЭПР для изученных нами минералов, содержащих диоксид кремния, по ширине и положению в магнитном поле, свидетельствует о возможности присутствия в исследуемых образцах исходных и дисперсных порошков минеральных заполнителей свободных электронов, дырок, дислокаций и дефектов поверхности. Основные линии поглощения проявляются в пределах значений магнитного поля от 310 до 345 мТл, а  $g$ -факторы центров наиболее характерных линий поглощения находятся в пределах от  $g$ -фактора, равного 2,0017 до  $g$ -фактора, равного 2,0069. Был изучен характер зависимости интенсивности и других параметров сигнала ЭПР от мощности микроволнового излучения. Установлено, что с увеличением степени дисперсности частиц песка отмечается увеличение интенсивности сигнала от упомянутых парамагнитных центров. Это позволяет обоснованно связать наблюдаемые спектры ЭПР в исходном, обработанном ультразвуком, и механически измельченном кварцевом песке с собственными парамагнитными дефектами, локализованными, прежде всего, на поверхности зерен песка, содержащего диоксид кремния. Тонкой структуры спектра не наблюдается,  $g$ -фактор примерно соответствует  $g$ -фактору свободного электрона. Концентрация парамагнитных центров, ширина и форма сигнала ЭПР не меняются при длительном хранении при комнатной температуре. Спектр ЭПР порошка диспергированного кварцевого песка озникает, вероятно, вследствие разрыва связей Si—O, существования поверхностных атомов со свободными валентностями и нескомпенсированной электронной плотности на поверхностных дефектах [1–4].

Проведенные ЭПР-спектроскопические исследования структурных дефектов традиционных минеральных компонентов дорожно-строительных конгломератов позволили установить связь концентрации парамагнитных центров на поверхности частиц минерального компонента, содержащего диоксид кремния с условиями их измельчения и активации. Было сделано предположение о том, развитая поверхность зерен SiO<sub>2</sub>, принятая в качестве

эталоны, может служить модельным объектом для изучения процессов формирования прочных межфазовых связей в зоне контакта поверхностей компонентов дорожных конгломератов. Исследования показали, что увеличение удельной поверхности при диспергировании минеральных заполнителей и их активация при механической обработке хорошо коррелирует с увеличением реакционной активности компонентов и влияет на целевые прочностные характеристики образцов цементобетонных конгломератов, изготовленных по стандартной методике.

Для определения активности исходного и механоактивированного кварцевого песка использовали методику определения активности с помощью прибора ИАЦ-04М, а также стандартные методики испытаний на прочность балочек из цементного раствора при изгибе и сжатии.

Индикатором активности природного кварцевого песка в исходном и активированном после механического измельчения и обработки ультразвуком состоянии, помимо размера, удельной поверхности, может служить относительная концентрация поверхностных парамагнитных центров частиц заполнителя, содержащих диоксид кремния.

Для определения влияния изменения концентрации парамагнитных дефектов на поверхности частиц кварцевого песка на прочность балочек стандартных размеров с использованием портландцемента, в качестве мелкого заполнителя был выбран стандартный кварцевый песок, который подвергался ультразвуковой обработке различной продолжительности. Для проведения испытаний на прочность (изгиб и сжатие) изготавливалось 3 серии по 5 образцов, содержащих в качестве мелкого заполнителя исходный стандартный песок без обработки ультразвуком и стандартный песок, обработанный ультразвуком в течение 5 минут и 30 минут. Изготовленные образцы набирали прочность и в возрасте 7 суток последовательно испытывались на прочность на изгиб (таблица 1). Половинки балочек, которые прошли испытания прочности на изгиб, далее испытывались на прочность на сжатие.

Таблица 1. Результаты определения прочности на изгиб

	Образцы со стандартным песком	Образцы с песком 5-минутной обработки	Образцы с песком 30-минутной обработки
Средняя прочность, МПа	2,708	2,812	3,568

Как видно из таблицы 1, средняя прочность образцов на изгиб при 30-минутной обработке ультразвуком увеличивается на 30 %, а 5-минутная обработка дает прирост прочности  $6 \pm 1$  %.

Полученные после испытаний на изгиб половинки балочек дополнительно испытывались на сжатие (таблица 2).

Таблица 2. Результаты определения прочности на сжатие

Образец	Прочность, МПа
Образцы со стандартным песком	26,11
Образцы с песком 5-минутной обработки	28,10
Образцы с песком 30-минутной обработки	29,55

Изучена зависимость между величиной удельной поверхности активированного кварцевого песка и концентрацией фиксируемых методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) парамагнитных дефектов на поверхности, а также показано влияние этих факторов на формирование прочных контактов в композиционном конгломерате. С уменьшением размера частиц кварцевого песка отмечается существенное увеличение концентрации парамагнитных центров.

Представленные в таблице 2 результаты испытания на сжатие после 5-минутной обработки показывают прирост прочности 7 %, а после 30-минутной обработки – 11 % прирост прочности.

#### *Заключение*

Установлено, что при увеличении концентрации парамагнитных центров на 100 %, прочность на сжатие увеличивается на 40 %; при этом отмечается увеличение коэффициента водостойкости на 35 %. Для определения активности исходного и механоактивированного кварцевого песка использовали стандартные методики испытаний на прочность балочек из цементного раствора при изгибе и сжатии, а также методику определения активности с помощью прибора ИАЦ-04М [5–7].

Показана принципиальная возможность использования для диагностики реакционной активности минеральных компонентов дорожных конгломератов некоторых типов поверхностных парамагнитных дефектов, регистрируемых методами ЭПР-спектроскопии.

Таким образом, индикатором активности природного кварцевого песка в исходном и активированном в процессе обработки ультразвуком состоянии, помимо размера, удельной поверхности кварцевых частиц, служит относительная концентрация поверхностных парамагнитных центров.

## Литература

1. Казанский, В.Б. Изучение взаимодействия свободных радикалов с поверхностью твердого тела (силикагеля) по спектрам ЭПР / В.Б. Казанский [и др.] // Физика твердого тела. – 1963. – Т. 5. – Вып. 2. – С. 649–659.
2. Мамин, Г. В. ЭПР радиационно-индуцированных парамагнитных центров в аэрогеле / Г. В. Мамин // Письма в ЖЭТФ. – 2008. – Т. 88. – Вып. 4. – С. 281–285.
3. Бондаренко, С. Н. ЭПР-мониторинг дефектной структуры минеральных наполнителей / С. Н. Бондаренко, Э. Э. Русак // Материалы XV Международной научно-технической конференции. – Минск : БНТУ, 2017. – Т. 3. – С. 65.
4. Тенчуков, М. Б. ЭПР-мониторинг сухих аэрозолей с использованием сорбентов / М. Б. Тенчуков, И. П. Лютоев // Вестник института биологии Коми НЦ УрО РАН. – С. 21–23.
5. Бондаренко, С. Н. Физико-химические аспекты активации поверхности песка / С. Н. Бондаренко [и др.] // Материалы XV Международной научно-технической конференции. – Минск : БНТУ, 2017. – Т. 3. – С. 64.
6. Алесковский, В. Б. Химия твердых веществ / В. Б. Алесковский. – М. : Высшая школа, 1978. – 256 с.
7. Моррисон, С. Химическая физика поверхности твердого тела / С. Моррисон. – М., 1980. – 488 с.

УДК 528.94; 625.72

## **Инструментальное обеспечение мониторинга токсичных выбросов в атмосферу в районе пересечения автомобильных дорог**

Бондаренко С.Н., Вишняков Н.В.  
Белорусский национальный технический университет

*Мониторинг загрязнений - система, позволяющая дать оценку загрязнений и динамику изменения содержания загрязнений во времени. Непосредственное измерение концентрации неполного сгорания токсичных продуктов автомобильного топлива является наиболее важным для экологической оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха в зоне, прилегающей к транспортной развязке. Контроль за выбросами токсичных компонентов в атмосферу особенно эффективен в случае использования газовых датчи-*

ков. Современные приборы дистанционного зондирования загрязнения атмосферы от мобильных источников на дороге позволяют осуществлять мониторинг загрязнения атмосферного воздуха токсичными выбросами автомобильных двигателей в непосредственной близости от дорожного полотна транспортной развязки в режиме реального времени.

*Monitoring of pollutions is such a system which allows to give an assessment and the pollution contents change. Direct measurement of incomplete combustion toxic products concentration of automobile fuel is the most importance for ecological assessment of atmospheric air pollution level in zone adjacent to the highway. The control for toxic components emissions into the atmosphere is particularly effective in the case of using gas sensors. This modern remote-sensing instruments of atmospheric pollution from mobile sources on the road allow to carry out monitoring of pollution in atmospheric air by toxic blowouts of automobile engines in close proximity to roadbed in real time regime.*

Мониторинг атмосферного воздуха – это система наблюдений за его качеством, которая позволяет дать оценку и прогноз основных тенденций изменения качества воздуха в целях своевременного выявления и устранения негативных последствий природных и техногенных воздействий. Экспертный прогноз показателей токсичных выбросов автомобильного транспорта и контроль изменения качества воздушной среды в результате работы автомобильного транспорта дает возможность принятия организационных и технических решений по регулированию и управлению безопасностью транспортных потоков. Проведение этих мероприятий обеспечивает снижение уровня концентрации вредных ингредиентов в воздухе и улучшает качество экологической обстановки в зоне дорожного движения. Исходным показателем для такой экологической оценки и принятия соответствующих решений в данном случае являются концентрации массового выброса автомобильным транспортом загрязняющих веществ.

Оценка состояния атмосферного воздуха на автомагистралях и в прилегающей жилой застройке может быть проведена на основании определения в воздухе компонентов выхлопных газов (оксида углерода, углеводородов, оксидов азота, формальдегида, акролеина, соединений свинца).

Статистика показывает, что основной источник загрязнения воздушного бассейна г. Минска – автотранспорт, вклад которого в общий объем выбросов по городу составляет 85 %. Одним из критериев оценки экологической безопасности атмосферного воздуха, подверженного воздействию автомобильного транспорта в придорожной зоне, являются среднесуточные и максимальные разовые предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ. При экологической оценке уровня загрязнения воздушной

среды в районе автомобильных дорог наибольшую значимость имеет непосредственное измерение концентрации токсичных продуктов неполного сгорания автомобильного топлива. Особенно эффективен контроль за выбросами в атмосферу токсичных компонентов с использованием газовых сенсоров – современных датчиков на содержание оксида углерода (CO), углеводородов и продуктов их неполного сгорания ( $C$ ,  $C_xH_y$ ,  $C_xH_yO_z$ ), а также диоксида азота ( $NO_2$ ). Современные средства дистанционного зондирования атмосферных загрязнений от подвижных приземных источников позволяют проводить непрерывный мониторинг загрязнений атмосферного воздуха токсичными выбросами автомобильных двигателей (в непосредственной близости от дорожного полотна) в режиме реального времени.

Существует большое разнообразие современных датчиков для зондирования загрязнений атмосферного воздуха в основу работы которых положены различные принципы.

Эти датчики, особенно целесообразно использовать для контроля загрязнений воздуха в местах транспортных развязок и пересечений автомобильных дорог.

Следовые количества постоянных газов (оксид и диоксид углерода, оксид азота (I) и пары воды) можно определить в воздухе с помощью ультразвукового детектора, электрохимического детектора, в котором используют реакцию окисления CO на платиновом электроде, аргонового ионизационного детектора, а также с помощью масс-спектрометра, имеющего высокую чувствительность к оксидам углерода и азота.

Традиционно для анализа микропримесей оксида углерода используют датчики, принцип работы которых основан на регистрации разности теплопроводности компонентов анализируемой смеси отработанных газов, содержащих продукты неполного сгорания органического топлива.

Очень перспективен для анализа микропримесей некоторых выхлопных газов, особенно оксида углерода, пирозлектрический катарометр, пирозлектрическим элементом которого служит кристалл танталата лития. Этот детектор имеет чувствительность в 500 раз выше, чем у обычного катарометра, и способен обнаружить в воздухе  $5 \cdot 10^{-5}$  % (объемных) оксида углерода при относительной ошибке определения всего лишь  $\pm 5$  %.

Принцип действия оптико-акустического газоанализатора CO основан на измерении степени поглощения оксидом углерода (II) инфракрасного излучения. Газоанализатор такого типа представляет собой прибор непрерывного действия, который предназначен для определения содержания оксида углерода (II) в атмосферном воздухе.

На принципе лазерного возбуждения ИК-флуоресценции работает прибор для определения содержания оксида углерода в воздухе в интервале концентраций 0—2—10—3 %. Точность измерений  $\pm 1\%$ .

Для определения в воздухе оксидов, в том числе оксида углерода и азота, используют высокочувствительные газоанализаторы, работающие на принципе хемилюминесценции.

За рубежом хемилюминесцентные газоанализаторы выпускают фирмы «Horiga» (модель АРНА-0500, Япония), «Tosiba — Bekman» (модель 104, Япония), «КЕМ» (модели 642 и 652, США), «Termo-Electron» (модель 14 D8A, США) и др. В США, Японии и ряде других стран создана серия портативных газоанализаторов, работающих на принципе вольтамперометрии для определения в атмосфере и воздухе придорожной зоны оксидов азота и углерода (в том числе и CO). Определение газов и конкретно оксида углерода может проводиться в автоматическом режиме.

Для анализа CO можно эффективно использовать комбинацию методов обогащения пробы и последующей конверсии. Для обогащения воздуха оксидом углерода анализируемый воздух пропускается через колонку с молекулярными ситами, а затем обогащенный оксидом углерода воздух можно пропускать над никелевым катализатором, на котором CO в присутствии водорода превращается в метан. Метод конверсии до метана также используют для анализа смеси оксидов углерода.

При определении валовой концентрации наиболее токсичных автомобильных выбросов на малом кольцевом пересечении и на подъезде к этому пересечению на элементарных площадках длиной 0,01–0,02 целесообразно устанавливать датчики на оксид углерода (CO), на углеводороды и продукты их неполного сгорания (C, CH, CHO), а также на диоксид азота (NO<sub>2</sub>), регистрирующие загрязнение атмосферного воздуха компонентами отработанных газов: (см. рис. 1). После регистрации датчиком сигнала от упомянутых загрязняющих компонентов дальнейший расчет (и обработка управляющей информацией) производится по специальной компьютерной программе. В работе программы учитываются только пороговые (на уровне предельно допустимых) концентрации компонентов выбросов от точечных источников M<sub>i</sub>, которые будут регистрироваться только при наиболее неблагоприятных сочетаниях режимов работы двигателей автомобилей в течение определенного промежутка времени.

В последнее время, вследствие интенсификации автомобильного движения в воздушном бассейне наиболее загруженных районов г. Минска все чаще начали обнаруживать значительные концентрации CO. Оксид углерода, был первым газом, содержание которого в воздухе мест пересечения и развязок стали измерять автоматическими приборами и для регистрации которого были разработаны автоматические сигнальные устройства. При

длительном пребывании даже на открытом воздухе в непосредственной близости от работающих бензиновых двигателей всегда существует опасность отравления оксидом углерода. Особую опасность в этом отношении оксид углерода представляет в местах развязок и пересечения автомобильных дорог.

На рисунке 1 представлена схема мониторинга концентрации некоторых типов загрязнений выбросами от подвижных источников в местах развязок и пересечения автомобильных дорог с использованием датчиков концентрации отработанных газов. После регистрации датчиком сигнала от упомянутых загрязняющих компонентов дальнейший расчет производится по разработанной компьютерной программе. Вывод информации на ЭВМ осуществляется через интерфейс. В работе программы учитываются только пороговые (на уровне предельно допустимых) концентрации компонентов выбросов от точечных источников  $M_j$ , которые будут регистрироваться только при наиболее неблагоприятных сочетаниях режимов работы двигателей автомобилей в течение определенного промежутка времени.

Данная схема позволяет контролировать степень загрязнения атмосферного воздуха на пересечении с регулируемым движением и на малом кольцевом пересечении с саморегулируемым движением в зависимости от средних задержек на подъездах и определить пороговые уровни загрязнения атмосферного воздуха токсичными компонентами отработанных газов - оксидом углерода ( $CO$ ), углеводородами ( $C_xH_y$ ) и оксидом азота (в пересчете на диоксид азота)  $NO_2$ ) в режиме реального времени.



Рис. 1. Схема расположения датчиков отработанных газов от подвижных источников выброса (датчики отмечены точками)

## Литература

1. Вяхирев Д.А., Шушукова А.Ф. Руководство по газовой хроматографии. М.: Высш. школа, 1987. – 287 с.
2. Vamaura Hiro-yuki, Tamaki Jun, Moriya Koji, Miura Norio, Vamazoe Noboru // J. Electrochem. Soc. – 1996. – V.43. N 2. P.36–37.
3. Власов, В.М. Информационные технологии на автомобильном транспорте / В.М. Власов, А.Б. Николаев, А.В. Постолиит, В.М. Приходько. – М.: Наука, 2006. – 288 с.
4. Власов, В.М. Интеллектуальные транспортные системы в автомобильно-дорожном комплексе / В.М. Власов, В.М. Приходько, С.В. Жанказиев, А.М. Иванов. – М.: МАДИ. – М.: ООО «МЭЙЛЕР», 2011. – 487 с.

УДК 625.7

### **Использование интеллектуальных транспортных систем для повышения безопасности дорожного движения**

Бородич А.А., Мытько Л.Р.

Белорусский национальный технический университет

Концепция управления транспортом, основанная на применении средств механизации, автоматизации и автоматизированного управления исчерпала себя. Инновационный путь развития требует создания новых методов эксплуатации, управления и контроля. Современным подходом реструктуризации и модернизации автомобильных дорог должны стать качественно новые подходы, одним из которых является применение интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Применение интеллектуальных транспортных систем во многих странах диктуется современным техническим развитием общества, уровнем технологий и требованием качественного развития транспортных систем.

Современное управление транспортом - это научное направление, интегрирующее комплекс научных направлений: теорию управления, геоинформатику, пространственные знания, системный анализ, теорию транспортных систем, дистанционное зондирование, геодезическое обеспечение, информационное моделирование, топологический анализ и др. По мере развития теории и методов управления транспортом появляется возможность управления все более сложными системами.

Новые цели обусловлены необходимостью решения задач управления в условиях качественного роста интенсивности транспортных потоков, роста числа транспортных средств, требованием роста скоростного режима, требованием повышения безопасности движения с учетом появления новых угроз, сокращением времени принятия управленческих решений, принципиальной неспособностью человека к оперативному принятию решений вследствие роста сложности и объемов управленческой информации. Современная интеграция качественно различных методов управления в единый комплекс при возрастании сложности и информационных объемов возможна только при использовании интеллектуальных подходов.

Интеллектуальная транспортная система (ИТС, англ. *Intelligent transportation system*) — это интеллектуальная система, использующая инновационные разработки в моделировании транспортных систем и регулировании транспортных потоков, предоставляющая конечным потребителям большую информативность и безопасность, а также качественно повышающая уровень взаимодействия участников движения по сравнению с обычными транспортными системами.

Интеллектуальная Транспортная Система (ИТС) позволяет обеспечить:

- сокращение смертности на дорогах за счет повышении оперативности реагирования на ДТП;
- беспрепятственное движение спецтранспорта к месту ДТП или криминальной ситуации;
- оперативное, полное и достоверное доведение информации до специальных служб при возникновении криминальных или чрезвычайных ситуациях на транспорте;
- информирование водителей о нарушении ими правил дорожного движения и эксплуатации транспортного средства, а также о текущем и краткосрочном прогнозе состояния условий дорожного движения;
- автоматическую фиксацию фактов нарушения правил дорожного движения для выявления и наказания виновных лиц;
- повышение внимания водителей при управлении автомобилями в различных по напряженности условиях движения;
- создание условий для сокращения времени поездок пассажирами всеми видами наземного транспорта;
- увеличение пропускной способности дорог города за счет регулирования транспортных потоков и формирования предупредительной информации об условиях дорожного движения;
- возможность выбора пассажирами оптимального маршрута движения общественным транспортом от начальной до конечной точки с учетом маршрутов и расписаний движения общественного транспорта, а также дорожной ситуации и плотности транспортных потоков;

- оптимизацию маршрутов движения транспортных средств с учетом актуального состояния дорожного движения и миграции заторовых ситуаций;
- создание условий для своевременного и достоверного контроля выполнения заказов на осуществление транспортной работы предприятиями, осуществляющими пассажирские перевозки, эксплуатацию дорожно-уличной сети, вывоз твердых и жидких бытовых отходов, контроля расхода топлива, снижения страховых рисков, увеличения оборачиваемости ТС, снижения доли эксплуатационных издержек.

Одним из реализованных больших европейских проектов для менеджмента широкой городской области был мюнхенский проект, который был начат в 1991 году. Это был первый проект, который координировал транспорт в центре города с учётом планировки сети автомагистралей в окрестностях города. В зависимости от оценки состояния транспортных потоков, в городе активизируются элементы информационной и навигационной систем в окрестностях города. Управляющие алгоритмы оценивают уровень транспорта, оптимизируют работу СФ, определяют прогноз развития транспортной нагрузки и направляют транспортные средства из области, в которой создаются заторы.

При анализе проекта было констатировано, что начальные капиталовложения окупились через 2 года только благодаря уменьшению количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Количество наездов уменьшилось на 35 %, количество ДТП с ранениями – на 30 % и количество погибших – на 31 %.

Для основного управления транспортом могут быть достаточными данные от транспортных датчиков в транспортных узлах. Несмотря на это, для интегрированной телематической стратегии управления транспортом в городских сетях требуются более подробные данные о ситуации в сети.

Частной, но очень важной областью использования результатов анализа данных является и область установления (детектирования) мест возникновения дорожно-транспортных происшествий. Быстрое детектирование происшествия может начать процесс принятия необходимых мероприятий, включающих в себя стратегию управления транспортным потоком и информирование водителей перед началом движения и в процессе движения, а также и существенно быструю реакцию служб спасения. Кроме детектирования происшествий в рамках проекта, разработана и модель для прогнозирования дорожно-транспортных происшествий. Системы для информирования водителей с помощью бортовых блоков или управляемых дорожных знаков и дисплеев, расположенных вдоль дорог, имеют постоянно возрастающее значение для управления транспортными потоками на сетях дорог.

Информация о возможных проблемах значительно уменьшает заторы благодаря тому, что водитель может выбрать другие варианты пути движения или подходящую стоянку или парковку.

Интеллектуальные транспортные технологии различаются по применяемым технологиям: от простых систем автомобильной навигации, регулирования светофоров, систем регулирования грузоперевозок, различных систем оповестительных знаков (включая информационные табло), систем распознавания автомобильных номеров и систем регистрации скорости транспортных средств, до систем видеонаблюдения, а также до систем, интегрирующих информационные потоки и потоки обратной связи из большого количества различных источников, например из систем управления парковками, метеослужб, систем разведения мостов и прочих. Более того, в ИТС могут применяться технологии предсказания на основе моделирования и накопленной ранее информации.

Современные разработки в технологиях встраиваемых систем позволяют использовать операционные системы реального времени, а также более высокоуровневые приложения, дающие возможность применять разработки в области искусственного интеллекта. Рост мощностей процессоров, используемых во встраиваемых системах, а также повышение их совместимости с процессорами в персональных компьютерах, ведёт к расширению возможностей повторного использования кода и переносу более интеллектуальных сервисов с уровня ПК в уровень встраиваемой системы.

Широко применяются интеллектуальные транспортные системы на Тайване. Одним из компонентов интеллектуальных транспортных систем здесь является экспертная система управления движением на скоростных магистралях. Система функционирует в реальном режиме времени и вырабатывает управляющие воздействия при возникновении критических ситуаций, таких как заторы, дорожно-транспортные происшествия, ухудшение погодных условий и другие специфические ситуации. Экспертная система и модель управления в этих ситуациях позволяют определять эффективность вырабатываемых решений в критических дорожно-транспортных ситуациях. В реальном режиме времени на основе информации о существующей транспортной нагрузке система моделирует параметры дорожного движения и создаёт модуль оптимального динамического распределения транспортных потоков. Это позволяет разрабатывать рациональные стратегии управления дорожным движением на сети скоростных дорог.

## **Повышение устойчивости структуры дорожного дисперсно-армированного бетона**

Бусел А.В., Артимович В.С.  
ГП «БелдорНИИ»

*В докладе приведены основные способы повышения прочности бетона защитного слоя мостового полотна. Предложено техническое решение для повышения устойчивости структуры дисперсно-армированного бетона. Для достижения надежного сцепления металлической фибры с бетоном разработано специальное антикоррозионное покрытие.*

### *Введение*

Мостовые сооружения являются неотъемлемой частью автомобильных дорог. В последние годы на дорогах Беларуси наблюдается значительный рост транспортного потока, в том числе и транзитного, причем наряду с увеличением количества легковых автомобилей резко возросло и число грузовых со значительной общей массой и осевой нагрузкой. Преобладают грузовые автомобили общей массой более 21 т и нагрузкой на ось 10 т и выше. Контактные напряжения в бетоне мостового полотна от реальной динамической транспортной нагрузки значительно превышают нормативный уровень. Кроме того, при скорости транспортного средства более 90 км/час интервал наезда колеса трехосной тележки на одну и ту же точку составляет всего 0,05 с, т.е. в бетоне возникает наложение нагрузок. При действии часто повторяющихся высоких напряжений происходит накопление остаточных деформаций и разрушение в первую очередь бетона защитного слоя гидроизоляции мостового полотна в пределах колеи.

Это подтверждается диагностикой мостовых сооружений, которая показывает, что на каждом третьем сооружении гидроизоляция под защитным слоем находится в неудовлетворительном техническом состоянии. Повреждение гидроизоляции влечет за собой попадание влаги и химических реагентов непосредственно на несущие конструкции, что снижает долговечность мостовых сооружений до 30–40 лет, вместо расчетных 100 лет.

При проектировании конструкции мостов их рассчитывают на современные нагрузки: в виде двухосной тележки по 14 т на ось, работающей совместно с равномерно-распределенной нагрузкой интенсивностью 14 кН и толпой на тротуарах, а также в виде четырехосной тележки по 28 т на ось.

При таких нагрузках железобетонные пролетные строения могут прогибаться на пролетах 24 м до 6 см и на пролетах 33 м до 9 см. При этом в защитном слое возникают циклические напряжения сжатия и растяжения до 20 МПа [1]. Если используются преднапряженные пролетные строения, которые имеют строительный подъем, то в этом случае защитный слой работает на изгиб совместно с пролетным строением. При этом в нем могут возникать сжимающие напряжения до 14 МПа. При таких циклических нагрузках избежать трещин практически невозможно. Учитывая то, что согласно ТКП 45-3.03-232 толщина бетонного защитного слоя должна быть не менее 60 мм, но и не сильно большой по условиям нагружения несущих конструкций, необходимо обеспечить гибкость такого относительно тонкого слоя без нарушения его сплошности.

Трещины в бетоне защитного слоя являются серьезной проблемой. В них происходит попеременное замораживание и оттаивание воды, которая фильтрует через асфальтобетонное покрытие. Вода, увеличиваясь в объеме при размораживании, разрушает структуру бетона. Синергетический разрушающий эффект наблюдается при совместном действии растворов противогололедных реагентов и их замораживании-оттаивании. Это провоцирует дальнейшее раскрытие и развитие трещин.

Техническое решение задачи.

На сегодняшний день существует несколько решений, способствующих упрочнению тонкого слоя бетона. Самыми распространенными являются следующие варианты:

1. Армирование металлическими сетками, одно из самых распространенных решений. Существенным недостатком данного вида армирования является коррозия арматуры. Надежно защитить металлическую арматуру от коррозии не увеличивая существенно толщину защитного слоя, а следовательно и нагрузку на несущие балки, на данный момент не представляется возможным.

2. Армирование синтетическими геосетками [2]. Высокая стойкость к действию кислотных и щелочных сред не спасает полимерный материал сеток от старения. На данный момент этот недостаток не устранен. Кроме того большинство полимеров обладает пластичностью даже при небольших напряжениях.

3. Армирование стеклосеткой. Существенный недостаток данного вида армирования – разрушение при длительном нахождении в щелочной среде бетона [3, 4]. Долговечность такого типа армирования не высокая. В настоящее время появляются технологии, улучшающие качество этой арматуры, однако цена значительно увеличивается.

4. Дисперсное армирование. На данный момент дисперсное армирование существует в следующих вариантах:

- армирование полимерной фиброй. Дисперсное армирование полимерами повышает прочность бетона на растяжение и снижает вероятность образования трещин на всех уровнях его структуры, что способствует повышению его долговечности. Однако старение полимера приводит к нарастанию хрупкости волокон и соответствующему снижению надежности защитного слоя;

- армирование металлической фиброй. Преимуществами по отношению к другим видам армирования являются: способность материала препятствовать возникновению и распространению трещин, повышение предела трещиностойкости; увеличение прочности на удар. Проблемой данного вида армирования является коррозия.

Стальная фибра по своим показателям лучше всего подходит для армирования защитного слоя. При оптимальном процентном соотношении к бетону, фибра повышает не только прочность на растяжении при изгибе, но и придает бетонной матрице определенную пластичность, что повышает трещиностойкость. Основные требования, которые предъявляются к стальной фибре при ее использовании в сталефибробетоне, это способность противостоять действию химических реагентов и иметь сцепление с компонентами в составе бетонной матрицы.

Для достижения надежного сцепления с бетонной смесью фибру изготавливают различных форм и размеров. Известны различные виды стальных арматурных элементов (фибр) для дисперсного армирования бетона: отрезки металлического волокна различных форм; отрезки металлического волокна в виде плоского протяженного основания со сквозной перфорацией, снабженного анкерами из кристаллитов металла; отрезки проволоки с равномерно деформированными участками, имеющими выступы и впадины в виде волны в трехмерном измерении; проволочный тор эллипсоидного или сферического профиля с выпусками-анкерами в виде усов. На данный момент на Белорусском металлургическом заводе производят два вида стальной фибры: волновая и анкерная. Волновая фибра своей извилистой формой закрепляется в бетонной смеси. Анкерная фибра имеет как правило продолговатое «тело», а на конца располагаются отгибы, при помощи которых она закрепляется в бетоне.

В зарубежных аналогах встречаются и комбинированные формы. К примеру стальная фибра фрезерованная из сляба. Ее форма, серповидного сечения, имеет скручивание по продольной оси. А на концах имеются анкерные отгибы длиной до 2 мм. У пластины имеются два вида поверхности: с одной стороны она шероховатая, с другой она имеет гладкую поверхность.

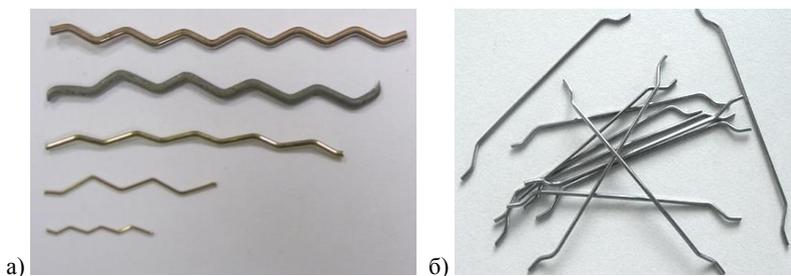


Рис. 1. а) волновая стальная фибра; б) анкерная стальная фибра



Рис. 2. Стальная фрезерованная фибра из сляба

Волновая фибра плохо себя зарекомендовала при испытаниях бетона на изгиб, поэтому для исследований была использована анкерная фибра, которая имеет концевые участки, обеспечивающие надежную анкеровку. Однако при этом прямолинейная средняя часть способна беспрепятственно растягиваться под нагрузкой. Это вызывает растрескивание бетона и раскрытие трещин на ширину равную произведению модуля упругости материала дисперсной арматуры на длину прямолинейной части. Поэтому для этой фибры необходима дополнительная шероховатость в прямолинейной части для более жесткого защемления в бетоне и передачи нагрузки на бетон по всей её длине.

Кроме того, для успешного применения в защитных слоях мостовых сооружений необходимо разработать практически приемлемую и экономически целесообразную технологию противокоррозионной обработки металлической фибры. В связи с этим было предложено обрабатывать фибру специальным составом способным вступать в физико-химическое взаимодействие как с металлом, так и с продуктом гидротации цемента. Этот материал наносится на арматурный элемент, тем самым придавая шерохова-

тость и антикоррозионную устойчивость. Для этого стальную фибру до закладки в бетонную смесь предварительно обезжиривают, затем обрабатывают коллоидным раствором на водной основе, содержащим ортофосфорную кислоту, фосфаты цинка и мелкодисперсную глину, после чего высушивают.

Сравнение фактуры поверхности обработанной фибры с необработанной, полученное при помощи микроскопа представлено на рисунках 3 и 4.

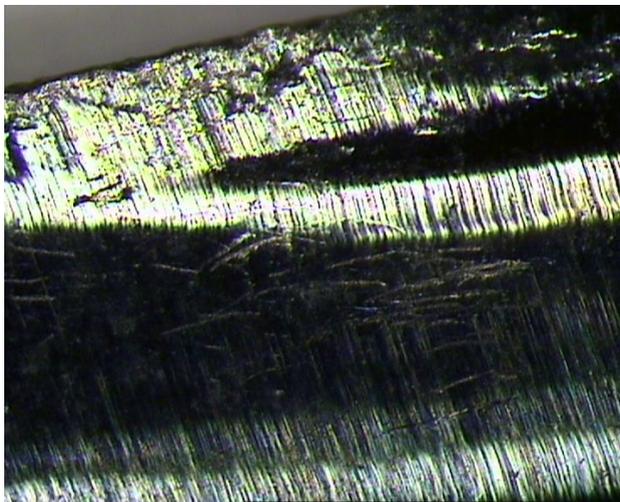


Рис. 3. Необработанная фибра (увеличением в 100 раз)



Рис. 4. Обработанная фибра (увеличение в 100 раз)

### *Экспериментальная часть*

Эффективность предложенного способа обработки фибры проверена на образцах из сталефибробетона следующего состава: песка – 5,5 кг, цемента марки ПЦ–500 – 1,8 кг, воды – 0,9 л (водоцементное соотношение В/Ц = 0,5), фибра – 0,235 кг. Образцы готовили в форме балок размером 40×40×160 мм. После формования образцы хранились 28 суток в камере нормального твердения, затем подвергались испытаниям на растяжение при изгибе в соответствии с ГОСТ 310.4–81. Для сравнительных испытаний готовили образцы четырех типов:

- 1) без фибры;
- 2) с необработанной фиброй;
- 3) с фиброй, обработанной фосфатом цинка без глины;
- 4) с фиброй, обработанной смесью фосфата цинка, ортофосфорной кислоты и глины.

Предел прочности образцов при изгибе вычисляли как среднее арифметическое значение двух наибольших результатов испытаний трех образцов. Получены следующие результаты испытаний пределов прочности на растяжение при изгибе  $\sigma$ :

- 1) образцы без фибры –  $\sigma = 5,3$  МПа;
- 2) образцы с необработанной фиброй –  $\sigma = 6,7$  МПа;
- 3) образцы с фиброй, обработанной фосфатом цинка без глины –  $\sigma = 6,9$  МПа;
- 4) образцы с фиброй, обработанной смесью фосфата цинка, ортофосфорной кислоты и глины –  $\sigma = 11,6$  МПа.

Как видно из полученных результатов, использование стальной фибры, обработанной смесью фосфата цинка, ортофосфорной кислоты и глины, позволяет увеличить предел прочности сталефибробетона более чем в 1,5 раза, по сравнению со сталефибробетоном с необработанной фиброй. Это объясняется лучшим защемлением фибры с цементным камнем и физико-механическим взаимодействием глины и фосфатов с продуктами гидратации цемента.

### *Заключение*

1. Дисперсное армирование защитного слоя мостового полотна для увеличения долговечности искусственных сооружений является перспективным техническим решением.

2. Применение антикоррозионной обработки металлической фибры в сочетании с повышением ее шероховатости и физико-механической активности по отношению к твердеющему цементу позволяет получить существенное увеличение прочности бетона при изгибе, а следовательно и его трещиностойкости.

3. Способ применения фибры, равно как и технология приготовления сталефибробетона, прост и не отличается от приготовления обычного бетона. Поставка стальной фрезерованной фибры в емкостях по 25 кг делает удобной дозировку её в мешалки.

4. В продолжение настоящих исследований стоит задача изучения коррозионной стойкости дисперсно-армированного бетона в растворах противогололедных реагентах при циклическом нагружении.

### **Литература**

1. Артимович, В. С. Исследование напряженно-деформированного состояния бетонного защитного слоя гидроизоляции мостового полотна / В. С. Артимович, А. В. Бусел // Автомобильные дороги и мосты. – 2015. – № 1. – С. 36–40.

2. Бусел А.В., Смыковский А.И., Чистова Т.А. Перспективы применения тонкослойных цементобетонных дорожных покрытий в условиях роста транспортных нагрузок. Информационный научнотехнический журнал «Технологии бетонов» №2 (19), 2008 г. 68–70 с.

3. Асланова М. С., Колесов Ю. И., Хазанов В. Е. и др. Стекланные волокна. Под ред. Аслановой М. С. М.: Химия. 1979 г. 256 с

4. Зак А.Ф., Физико-химические свойства стеклнного волокна. М.: Ростехиздат. 1962. – 224 с.

УДК 691.545

## **Использование карбонатсодержащих отходов для изготовления изделий строительного назначения**

Евсеева Е.А., Кречко Н.А., Шагойко Ю.В.  
Белорусский национальный технический университет

*В работе представлены результаты исследования физико-механических свойств композиционного материала на основе шлама химводоочистки, цемента и тонкомолотого песка, изготовленного методом полусухого прессования.*

В процессе снижения жесткости воды на стадии предварительной очистки на тепловых электроцентралях и в котельных образуются десятки тысяч тонн шлама. Это результат взаимодействия известкового молока с растворенными в воде карбонатами кальция, магния и железа. Химический

состав шлама достаточно стабилен и содержит следующие соединения (масс. %):  $\text{SiO}_2$  – 1,7 - 5,1;  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  - 5,0-7,5;  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – 3,2 - 9,8;  $\text{CaCO}_3$  – 63,1 - 71,2;  $\text{MgCO}_3$  – 4,0 - 6,1; органические вещества - 6,4 – 9,2. Следует отметить, что основным компонентом является карбонат кальция.

Универсального метода обработки и утилизации шлама химводоочистки (ХВО) в настоящее время не существует, однако предпринимаются попытки его использования в качестве сорбента для очистки сточных вод от нефтепродуктов. Это дает возможность последующей утилизации шлама путем совместного сжигания с топливом на ТЭС, т.к. теплота его сгорания (5480,4 ккал/кг) сравнима с теплотой сгорания каменных углей [1]. Высокая дисперсность (размеры частиц преимущественно до 20 мкм) и относительно стабильный состав отхода предполагает его использование в промышленности строительных материалов в качестве сырья, а также микронаполнителей и модифицирующих добавок [2].

Положительные результаты были получены при использовании шлама химводоочистки, который образуется на Мозырской ТЭЦ, в качестве добавки к цементу при получении мелкоштучных изделий строительного назначения методом полусухого прессования. Поскольку шлам не имеет вяжущих свойств, его влияние на прочность готового изделия должно определяться наличием достаточного количества коагуляционных контактов и равномерного распределения тонкодисперсного наполнителя в пустотах твердой фазы бетона. Это возможно достичь путем оптимизации гранулометрического состава и получения более плотной структуры цементного камня. При проведении исследований в качестве вяжущего использовался поргладцемент завода «Кричевцементошифер» марки ПЦ 500-Д0-Н, ГОСТ 10178 - 85, песок для строительных работ, ГОСТ 8736-2014, предварительно размолотый до размера частиц менее 40 мкм, и шлам химводоочистки, имеющий крупность твердой фазы преимущественно в пределах 3-40 мкм. Давление прессования изменялось с 25,5 до 127,5 МПа, влажность исходной смеси компонентов поддерживалась в пределах 8-9 масс.%. При изготовлении образцов варьировалось содержание шлама от 34 масс.% до 69 масс.%, песка от 17 масс.% до 52 масс.%. Доля цемента оставалась постоянной – 14 масс.%. Для обеспечения диффузии воды к поверхности гранул клинкера, процесс твердения осуществлялся под водой при температуре  $20 \pm 20\text{C}$  в течение 28 суток. Результаты испытаний образцов-цилиндров на сжатие представлены на рис. 1.

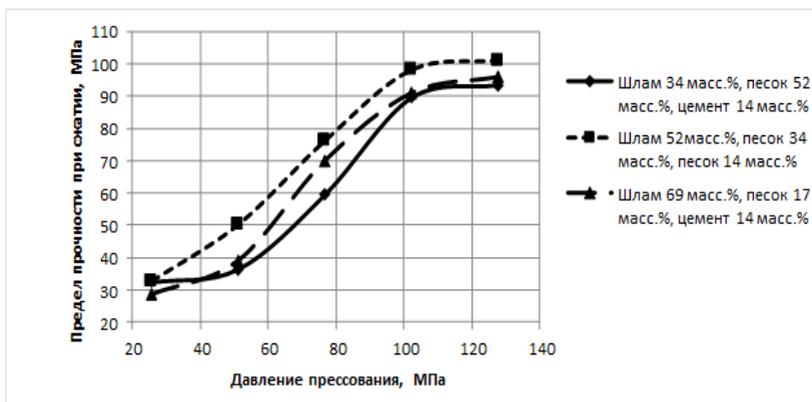


Рис. 1. Зависимость предела прочности при сжатии образцов в возрасте 28 суток от давления прессования

Согласно полученным данным, увеличение давления прессования от 50 до 100 МПа способствовало интенсивному росту прочности затвердевшего цементного камня. При дальнейшем повышении давления до 125 МПа происходило некоторое замедление роста, что свидетельствует о возможном исчерпании резерва порового пространства и возникновении внутрискруктурных напряжений при гидратации цемента. Наибольшую прочность (рис.1) и плотность при различном давлении прессования показали образцы с содержанием шлама 52 масс.%, песка 34 масс.% и цемента 14 масс.%. Это подтверждает предположение об оптимальном гранулометрическом и композиционном составе смеси.

Водостойкость и водонасыщение образцов напрямую зависела от плотности и достигала максимума при 1,90–1,98 г/см<sup>3</sup>.

Проведенные исследования показывают, что шламы химводоочистки возможно использовать для изготовления изделий строительного назначения. При этом, регулируя величину давления прессования и состав смеси возможно получать изделия с заданными свойствами.

### Литература

1. Бородай Е. Н. Новые возможности утилизации шламов химической водоподготовки на ТЭС / Е. Н. Бородай, Л. А. Николаева, А. Г. Лаптев // Вода: химия и экология. – 2009. – № 3. – С. 2 – 5.

2. <http://www.allbeton.ru/article/84/24html> Тараканов О. В., Пронина Т. В. Проблемы и направления использования минеральных шламов в производстве строительных материалов. 01.06.2008.

## **Использование отходов отчистки ёмкостей нефти и нефтепродуктов (нефтешлама) для устройства конструктивных слоёв дорожных одежд на автомобильных дорогах Республики Беларусь**

Жуковский Е.М.<sup>1</sup>, Добрынович Я.А.<sup>2</sup>, Куприянчик А.А.<sup>1</sup>  
Белорусский национальный технический университет<sup>1</sup>  
ОАО «Банк развития Республики Беларусь»<sup>2</sup>

*В статье рассмотрены возможности применения отходов отчистки ёмкостей нефти и нефтепродуктов (нефтешлама) для устройства конструктивных слоёв дорожных одежд на автомобильных дорогах Республики Беларусь. Приведены разновидности нефтешлама, образующиеся на нефтеперерабатывающих заводах и рассмотрены возможности их применения. Особое внимание уделено применению нефтешлама при устройстве слоев основания с использованием асфальтогранулята.*

Согласно современным требованиям природопользования, выполнение любой хозяйственной деятельности не должно приводить к необратимым нарушениям природной среды. Добыча, транспортировка, хранение и использование нефтепродуктов относятся к наиболее агрессивным отраслям по сумме техногенных факторов, оказывающих воздействие на окружающую среду. Последствиями подобного воздействия могут повлечь за собой экологические проблемы.

Одной из наиболее широких областей применения нефтешламов является дорожное строительство. Известно, что нефтешламы можно использовать для пропитки и поверхностной обработки минеральных пород с целью их стабилизации или гидроизоляции в асфальтобетонах.

Нефтяные шламы относятся к многотоннажным органико-минеральным отходам. Они представляют собой донные осадки механической очистки сточных вод, продукты зачистки резервуаров, а также шламы, собранные на установках флотационной и биологической очистки промстоков.

Основной причиной их образования является присутствие механических примесей, попадающих в систему нефтеотходов с плохо подготовленной к переработке нефтью, с потребляемой на технические нужды водой, в результате коррозии технологической аппаратуры, применении коагулянтов и флокулянтов.

Входящие в состав нефтешламов смолы, асфальтены, тяжелые ароматические и парафиновые углеводороды, окисляются на воздухе и твердеют,

образуя хороший гидроизоляционный слой, и обеспечивают прочность связи частиц минерального материала.

Нефтяные шламы на НПЗ бывают двух типов:

- постоянно образующиеся в процессе производства, в количестве примерно 0,007 т на 1 т перерабатываемой нефти;
- застаревшие, хранящиеся много лет в шламонакопителях, в количестве десятков тысяч тонн.

При хранении нефтешламы расслаиваются с образованием:

- первого (верхнего) слоя, состоящего из сырой нефти;
- второго слоя – стойкой эмульсии, включающей 40 % нефтепродуктов, 55 % воды и 5 % механических примесей;
- третьего слоя, содержащего воду, в которой 5–8 % нефти и 2–3 % механических примесей;
- четвертого слоя, состоящего из 50 % механических примесей, 20–25 % воды и 25 % органической части в виде отходов тяжелой фракции перегонки нефти.

Нефтешламы могут найти своё применение при выполнении ряда дорожно-строительных работ:

- активация минеральных материалов;
- приготовление органоминеральных смесей;
- стабилизация глинистых грунтов;
- обеспыливание гравийных и грунтовых дорог;
- устройство поверхностной обработки дорожных одежд переходного типа;
- стабилизация активной зоны земляного полотна.

Нефтешламы верхнего слоя в настоящее время успешно перерабатываются на нефтеперерабатывающих заводах.

Переработка нефтешламов второго слоя в следствии их состава затруднена и требует больших капиталовложений. Однако учитывая большое количество нефтепродуктов в их составе по групповому составу схожими с битумами применяемыми в дорожном строительстве можно обосновано предположить, что наиболее положительный результат при их применении будет при взаимодействии с материалами обработанными вяжущими, такими как черный щебень, асфальтогранулят и др.

Возможность применения нефтешламов была оценена лабораторно. Для этого был использован нефтешлам ОАО «Мозырский НПЗ», а также активный и неактивный асфальтогранулят одинакового гранулометрического состава. Влияние нефтешламов оценивалось по результатам испытаний на стандартное уплотнение. Исследовалось уплотнение по традиционной технологии (с водой), а также способ с использованием нефтешлама.

Для неактивного асфальтогранулята шлама оптимальным количеством воды является 5,5 % с максимальной плотностью 2,4 г/см<sup>3</sup>, с нефтешламом 3 % с максимальной плотностью 2,42 г/см<sup>3</sup>. При испытании активного асфальтогранулята оптимальным количеством воды является 1,2 % с максимальной плотностью 2,4 г/см<sup>3</sup>, с нефтешламом 1,11 % с максимальной плотностью 2,43 г/см<sup>3</sup>. Таким образом видно, что использование нефтешлама позволяет достичь лучшей уплотняемости асфальтогранулята. Кроме того, нефтешламы в следствии своего химического состава “омолаживает” битум и вызывает его временное размягчение в результате чего уплотненный с нефтешламом асфальтогранулят представляет собой связный материал в отличии от дисперсного, получаемого при уплотнении асфальтогранулята с водой.

### ***Заключение***

По условиям образования органо-минеральные шламы нефтепереработки представляют собой высокодисперсную смесь органических и минеральных веществ, выпадающих в осадок в процессе очистки сточных вод. Состав, свойства и условия образования шлама позволяют характеризовать его как техническое сырье общего функционального назначения для производства дорожно-строительных материалов и применения при строительстве автомобильных дорог. Объем шламов, накопленных на шламовых площадках и ежегодно пополняемых с очистных сооружений, исчисляется многими тысячами тонн, что позволяет классифицировать их как многотоннажное вторичное сырье, переработка которого необходима не только по экономическим, но главным образом, экологическим соображениям.

Использование нефтешламов при устройстве конструктивных слоев дорожных одежд в частности оснований позволяет улучшить физико-механические характеристики материалов, в особенности вторичных, содержащих органическое вяжущее и как следствие улучшить качество и долговечность автомобильных дорог в целом.

### **Литература**

1. Куприянич, А. А. Использование нефтяных шламов в дорожном строительстве / А. А. Куприянич, Е. М. Жуковский, Я. А. Добрынович // Проблемы и перспективы развития автомобильных дорог СНГ [Электронный ресурс]: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Леоновича Ивана Иосифовича / ред.: С. Н. Соболевская, Е. В. Богданова. – Минск: БНТУ, 2019. – С. 146–149.
2. Куприянич, А.А. Применение отходов нефтепереработки для стабилизации глинистых грунтов / А.А. Куприянич // Наука – образованию, про-

изводству, экономике : материалы 17-й международной научно-технической конференции (72-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ) / Белорусский национальный технический университет, Факультет транспортных коммуникаций ; редкол.: С. Е. Кравченко (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2019. – с. 22.

3. Жуковский, Е.М. Способы утилизации отходов нефтепереработки в дорожном строительстве / Е.М. Жуковский, А.А. Куприянчик // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 17-й международной научно-технической конференции (72-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ) / Белорусский национальный технический университет, Факультет транспортных коммуникаций; редкол.: С. Е. Кравченко (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2019. – с. 21.

УДК 625.765

## **Энергосберегающая технология приготовления асфальтобетонных смесей с использованием асфальтогранулята**

Игошкин Д.Г.  
ГП «БелдорНИИ»

Ежегодно в мире производят десятки миллионов тонн асфальтогранулята. Из них около одной трети используется при горячей регенерации асфальтобетона, около половины - при холодной регенерации, остальной - бракуется [1].

В странах Западной Европы широко применяется технология приготовления асфальтобетонных смесей с использованием асфальтогранулята в асфальтосмесительных установках [2]. При этом их объем достигает около 40 % от объема всех выпускаемых асфальтобетонных смесей.

Необходимость использования асфальтогранулята при производстве асфальтобетонных смесей вызвана как экологическими аспектами, так и высокой стоимостью и нехваткой исходных материалов. Фактически на основе технологии повторного использования асфальтогранулята в асфальтобетонных слоях можно достичь замкнутого цикла при котором потребность в дефицитных и дорогостоящих новых материалах сводится к минимуму, что очень актуально в существующих экономических условиях.

Технология повторного использования асфальтогранулята в асфальтобетонных слоях позволяет достичь замкнутого цикла при котором потребность в дефицитных и дорогостоящих новых материалах сводится к минимуму, что очень актуально в существующих экономических условиях.

Применение асфальтогранулята при приготовлении горячих асфальтобетонных смесей в асфальтосмесительных установках, позволяет:

- использовать весь снятый с дороги асфальтобетон;
- широко применять добавки каменных материалов, битума и пластификаторов при регенерации;
- получать асфальтобетонную смесь заданного качества и укладывать ее на участках дорог с соответствующей интенсивностью движения;
- экономить энергию и материальные ресурсы (по опыту строительства в США, стоимость ремонта уменьшается на 20–30 %).

Для приготовления горячих асфальтобетонных смесей с использованием асфальтогранулята могут использоваться как обычные асфальтосмесительные установки, дополненные оборудованием для хранения, транспортирования и дозирования старого асфальтобетона, так и специальные [3].

Асфальтосмесительные установки, работающие по классической башенной схеме, дополняются приемным бункером с питателем и конвейером.

В зависимости от принятой технологии, асфальтогранулят может подаваться конвейером в горячий элеватор, бункер горячих каменных материалов, весовой бункер или непосредственно в мешалку.

При такой технологии приготовления асфальтобетонной смеси нагрев асфальтогранулята происходит в смесителе косвенным путем, за счет энергии перегретых исходных каменных материалов. Поэтому для обеспечения требуемой температуры готовой асфальтобетонной смеси важно рассчитать температурный баланс материалов, поступающих в смеситель. Для обеспечения равномерного разогрева максимальный размер зерен асфальтогранулята не должен превышать 20 мм. В соответствии с СТБ 1705-2015 для приготовления асфальтобетонных смесей по СТБ 1033-2016 может применяться асфальтогранулят активный типов Аг 20 и Аг 10.

При загрузке асфальтогранулята в горячий элеватор его нагрев обеспечивается длительным контактом с горячими каменными материалами. Недостатком такой схемы является загрязнение ковшей, сит грохота и других элементов оборудования битумом. Кроме того, возможно неравномерное поступление в смеситель старого асфальтобетона, приводящее к колебаниям содержания битума в смеси.

При подаче асфальтобетона в бункер горячих каменных материалов или в весовой бункер гарантируется его точная дозировка. Однако при контакте асфальтогранулята с горячими каменными материалами возможно загряз-

нение бункера битумом, что также будет сказываться на точности дозирования материалов. Так как время контакта асфальтогранулята с горячими материалами в бункере невелико, то его нагрев будет продолжаться в мешалке, при перемешивании с нагретыми минеральными материалами.

При подаче асфальтогранулята непосредственно в мешалку, сложности, связанные с загрязнением элеватора и бункеров, отпадают. Однако и в этом случае разогрев холодного асфальтогранулята в смесителе происходит за счет нагретых каменных материалов.

Асфальтогранулят может добавляться в новую смесь в количестве до 20 % по массе, что позволяет восстановить свойства состарившегося битума и скорректировать гранулометрический состав. Часто этого бывает достаточно, для того чтобы рекомендовать асфальтобетонную смесь, приготовленную с использованием асфальтогранулята, для устройства верхних слоев покрытий.

Увеличение содержания асфальтогранулята в составе асфальтобетонной смеси свыше 20 % может привести:

- к снижению долговечности асфальтобетонного покрытия в результате высокого содержания состаренного битума;
- ускоренному износу конструктивных элементов сушильного барабана из-за необходимости значительного увеличения температуры нагрева каменных материалов для косвенного нагрева большой массы асфальтогранулята;
- возникновению «парового удара» в результате испарения воды при контакте большой массы холодного и влажного асфальтогранулята с горячими каменными материалами.

Как описывалось выше, нагрев асфальтогранулята при приготовлении асфальтобетонной смеси происходит в смесителе косвенным путем, за счет энергии перегретых исходных каменных материалов.

Материалы, входящие в состав смеси, имеют различную начальную температуру  $T$  (от 10 °С до 200 °С) и смешиваются в различных пропорциях. При этом происходят интенсивные процессы энергообмена между «горячими» и «холодными» материалами [4].

Поэтому для обеспечения требуемой температуры готовой асфальтобетонной смеси важно учитывать температурный баланс материалов, поступающих в смеситель.

Согласно результатам расчета [5], для «косвенного» нагрева относительно холодных минерального порошка и битума требуются значительные энергозатраты на «перегрев» каменных материалов (щебень, песок) в сушильном барабане.

Для приготовления асфальтобетонной смеси с температурой 150 °С необходимо нагреть каменные материалы до температуры 170 °С.

При введении в состав смеси асфальтогранулята требуемая температура нагрева каменных материалов еще более увеличивается. При введении в состав смеси 20 % асфальтогранулята необходимо нагреть каменные материалы до температуры 221 °С.

Необходимо отметить, что, исходя из условия обеспечения надежной работы сушильного барабана, максимальная температура нагрева каменных материалов не может быть выше 230–240 °С. Согласно результатам расчета [5] максимальное содержание асфальтогранулята в составе смеси не может превышать 20 % от массы.

Для увеличения содержания асфальтогранулята в составе смеси необходима модернизация АБЗ, позволяющая произвести предварительный нагрев асфальтогранулята на отдельной линии.

Как показывают результаты расчетов [6], введение в состав асфальтобетонной смеси до 20 % асфальтогранулята позволяет снизить затраты на исходные материалы, а следовательно и стоимость готовой продукции, на 11 %.

Однако экономические показатели не всегда объективно отражают эффективность разрабатываемой технологии.

В условиях существующих рыночных отношений стоимость работ определяется на договорной основе между заказчиком и исполнителем работ. Вариации ценовых показателей зависят от ряда конъюнктурных факторов, условий ценообразования и правил налогообложения, несвязанных непосредственно с рассматриваемым техническим решением.

Объективным критерием оценки эффективности различных технологий является анализ энергозатрат, необходимых для реализации принятых проектных решений. Затраты энергии в киловатт-часах или тоннах условного топлива не зависят от колебаний экономических факторов и объективно характеризуют техническую эффективность рассматриваемой технологии.

Для объективной оценки эффективности технологии использования асфальтогранулята в составе горячих асфальтобетонных смесей, приготовляемых на АБЗ, был проведен анализ необходимых энергозатрат на устройства асфальтобетонного покрытия по традиционной и рассматриваемой технологиям.

Энергозатраты при устройстве асфальтобетонных покрытий складываются из затрат на производство исходных материалов, транспортировку их к месту приготовления асфальтобетонных смесей, приготовление смесей, транспортировку и укладку смесей в покрытие.

Суммарная энергоемкость строительства 1 км однослойного покрытия автомобильной дороги третьей категории толщиной 5 см и шириной 8 метров составляет около 402,9 ГДж. [7]

Анализ энергозатрат на устройство асфальтобетонного покрытия показывает, что затраты на приготовление исходных материалов составляют около 19 %, транспортировка исходных материалов на АБЗ потребует еще около 15 %, на производственный процесс приготовления смеси затрачивается чуть больше половины от общих затрат энергии – 56 %, на транспортировку готовой смеси к месту укладки и устройство покрытия – около 10 %.

Проведенный анализ позволяет определить наиболее эффективные мероприятия по снижению энергозатрат при строительстве асфальтобетонных покрытий.

Непосредственно на приготовление и укладку асфальтобетонного покрытия расходуется около 66 % от общих энергозатрат. Снижение доли этих статей расхода трудновыполнимо, т.к. требует существенного изменения технологии, модернизацию или полную замену оборудования, разработку новых типов асфальтобетонных смесей и т.д.

На приготовление и транспортировку исходных материалов расходуется около трети общих энергозатрат. Эти энергозатраты можно сравнительно легко уменьшить, не внося существенных изменений в традиционную технологию приготовления и укладки, например, используя в качестве исходного сырья для приготовления асфальтобетонной смеси асфальтогранулят, полученный путем фрезеровки некачественного покрытия существующих автомобильных дорог.

При введении в состав смеси 20 % асфальтогранулята энергозатраты на устройство асфальтобетонного покрытия снижаются на 10 % [7]. Снижение общих энергозатрат происходит, в основном, за счет энергозатрат на приготовление исходных материалов и транспортировки их на АБЗ.

### ***Выводы***

1. Наиболее эффективным способом использования асфальтогранулята является применение его в составе асфальтобетонных смесей, приготовляемых в стационарных асфальтосмесительных установках. Асфальтогранулят может использоваться для приготовления плотных смесей марок II и III, пористых и высокопористых смесей по СТБ 1033-2016.

2. Для приготовления асфальтобетонных смесей необходимо использовать активный асфальтогранулят с максимальной крупностью зерен менее 20 мм.

3. Асфальтогранулят может подаваться конвейером в горячий элеватор, бункер горячих каменных материалов, весовой бункер или непосредственно в мешалку асфальтосмесительной установки. Содержание асфальтогранулята в количестве не более 20 % от массы асфальтобетонной смеси обеспечивает нормальный режим работы сушильного барабана.

4. Требуемые характеристики асфальтобетонной смеси обеспечиваются при содержании асфальтогранулята в смеси до 20 % по массе.

5. При введении в состав смеси 20 % асфальтогранулята энергозатраты на устройство асфальтобетонного покрытия снижаются на 10 %. Экономический эффект от использования асфальтогранулята составляет около 11 % от стоимости асфальтобетонной смеси.

### Литература

1. Г.С. Бахрак Как эффективнее использовать гранулят // Автомобильные дороги. – 2015. – № 6 – с. 65–69.

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

3. Л.Б.Гезенцевей, Н.В.Горельшев, А.М.Богуславский, И.В.Королев. Дорожный асфальтобетон – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1985. 350 с.

4. Ковалев Я.Н. Баховчук А.П., Воронова Н.П., Кравченко С.Е., Игошкин Д.Г. Теплотехнические расчеты при проектировании технологических процессов устройства асфальтобетонных покрытий // Строительная наука и техника. – 2007. – № 3. – С.79–85.

5. Игошкин, Д. Г. Эффективное применение асфальтогранулята при устройстве дорожных покрытий // Автомобильные дороги и мосты. - 2020. - № 1. – С. 73–81.

6. Д.Г.Игошкин «Эффективная технология снижения стоимости работ при устройстве асфальтобетонных покрытий». Сборник докладов международной научно-технической конференции 24-25 ноября 2016г. Автомобильные дороги: Безопасность и надежность» / Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, Государственное предприятие «БелдорНИИ». – Минск, 2016. – 48с.

7. Д. Г. Игошкин, Кравченко, С.Е. Воронова Н.П. Сравнительный анализ энергетического баланса устройства покрытий из горячих асфальтобетонных смесей по традиционной технологии и с использованием асфальтогранулята

8. // Автомобильные дороги и мосты. – Минск : БелдорНИИ, 2015. – № 2. – С. 39–46.

## **О необходимости учета теплофизических свойств при проектировании конструкций дорожных одежд и выборе материалов**

Кравченко С.Е., Реут Ж.В.

Белорусский национальный технический университет

*Учет теплопроводных свойств при проектировании конструкций дорожных одежд и выборе материалов для этих конструкций позволит оценить деформационную устойчивость конструкции в процессе эксплуатации автомобильных дорог, что будет способствовать обоснованному использованию ресурсосберегающих и энергосберегающих решений. В статье рассмотрено изменение теплопроводности составных компонентов асфальтобетонной смеси при температурных изменениях.*

При выборе дорожно-строительных материалов для строительства дорожных конструкций, в первую очередь, учитываются их физико-механические и прочностные характеристики, обеспечивающие необходимую физическую жесткость конструктивных слоев дорожной одежды в отдельности и дорожной конструкции в целом. Однако, принимая во внимание экстремальные погодно-климатические условия эксплуатации автомобильных дорог в нашей республике – средний диапазон температур воздуха от минус 25 до 35° С, чрезмерное накопление в дорожной конструкции влаги в весенней и осенний периоды, ее промерзание в зимний период совместно с попеременным оттаиванием-замерзанием во время оттепелей – целесообразно при расчете дорожных одежд учитывать и теплофизические свойства применяемых материалов, определяющих температурную жесткость конструктивных слоев.

Применительно к конструктивным слоям дорожной одежды их теплофизические свойства, определяющие их температурную жесткость, более аргументировано характеризуют коэффициентом температурного расширения.

Теплофизические свойства в наибольшей степени будут влиять на степень структурных изменений в конструктивных слоях непосредственно через интенсивность возникающих низкотемпературных растягивающих напряжений, которые появляются в верхнем слое от воздействия низких температур воздуха или при резких их перепадах и в нижних слоях, от интенсивности и характера передачи этих воздействий от верхнего слоя. Также, за счет разности низкотемпературных растягивающих напряжений

возникающих в конструктивных слоях дорожной одежды структурным изменениям будет подвергаться и контактный слой между смежными конструктивными слоями, что обусловлено разными их теплофизическими свойствами.

Можно предположить, что величина низкотемпературных растягивающих напряжений в конструктивных слоях дорожной одежды зависит от ряда факторов, в том числе, и от различия физико-механических, реологических и особенно теплофизических свойств материалов конструктивного слоя. Так из справочников известно: коэффициент теплопроводности гранита составляет 3,49, доломита – 2,91, цементобетона – 1,51 [1, 2]. При этом, механизм образования низкотемпературных трещин можно представить следующим: материал конструктивного слоя при охлаждении претерпевает термическую усадку которой противодействуют его структурные связи, реализуемые в форме растягивающих напряжений при достижении значений которых превышающих пороговое значения, предел прочности на растяжения, в слое начинается процесс трещинообразования [3].

Различия материалов по теплофизическим свойствам (щебень, асфальтогранулят, песок, битум и др.) приводит к значительным градиентам свойств, напряжений и деформаций по объему композита, полученного на их основе. При этом, наибольшее изменение теплофизических свойств в процессе эксплуатации характерно для органического вяжущего.

Для измерений теплофизических свойств материалов применяют измеритель теплопроводности, а коэффициент теплопроводности определяют по формуле:

$$\lambda = \frac{q \cdot \delta}{\Delta t},$$

где  $q$  – величина плотности теплового потока, измеряемая датчиком,

$\delta$  – толщина образца,

$\Delta t$  – разность температур на образце.

Графическая зависимость теплопроводности  $\lambda$  каменных материалов, входящих в состав асфальтобетонной смеси, от температуры показана на рисунке 1.

Проведенные исследования и полученные результаты свидетельствуют о том, что теплофизические свойства твердых компонентов асфальтобетонной смеси (природные и искусственные пески и минеральный порошок) слабо убывает в диапазоне температур 25°C – 75°C и не зависят от много-

кратного охлаждения, а вот теплофизические свойства (теплоемкость) битумов в значительной степени будут зависеть от процессов нагревания-охлаждения.

Экспериментальные значения для битумов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Зависимость теплопроводности битумов от температуры

Название образца	Температура, °С		
	25	50	75
Битум модифицированный	0,201	0,236	0,226
Битум БНД 90/130	0,210	0,215	0,199

Следовательно, битумы, подвергнутые глубокому охлаждению, увеличивают свою удельную теплоёмкость в 2 раза, что оказывает значение при использовании битумов в материалах конструктивных слоев дорожной одежды.

Следует отметить, что возникает необходимость в проведении дополнительных исследований для полноты понимания влияния теплофизических процессов в элементах дорожных конструкций. В частности, провести анализ результатов диагностических обследований по дефектности дорожного покрытия автомобильных дорог, эксплуатируемых в таких экстремальных условиях как низкие и высокие температуры воздуха, повышенная глубина промерзания и влагонакопление и т.д. Изучение существующих методик определения теплофизических свойств дорожно-строительных материалов и смесей на их основе позволит разработать методику определения теплофизических свойств конструктивных слоев дорожных одежд в целом, а экспериментально-лабораторные исследования теплофизических свойств смесей, применяемых для устройства конструктивных слоев дорожной одежды позволит определить зависимость теплофизических свойств этих смесей от их состава и структурно-механических характеристик. Установив изменение температурной зависимости по толщине дорожной одежды и с учетом свойств дорожно-строительных материалов и конструктивных слоев на их основе позволит разработать критерий оценки теплоустойчивости конструктивных слоев дорожной одежды и скорректировать методику расчета дорожных одежд в части теплофизических свойств дорожно-строительных материалов и конструктивных слоев на их основе и разработать рекомендации для нормативной базы регламентирующей дополнение к расчету дорожных одежд расчет на теплофизическую устойчивость их конструктивных слоев.

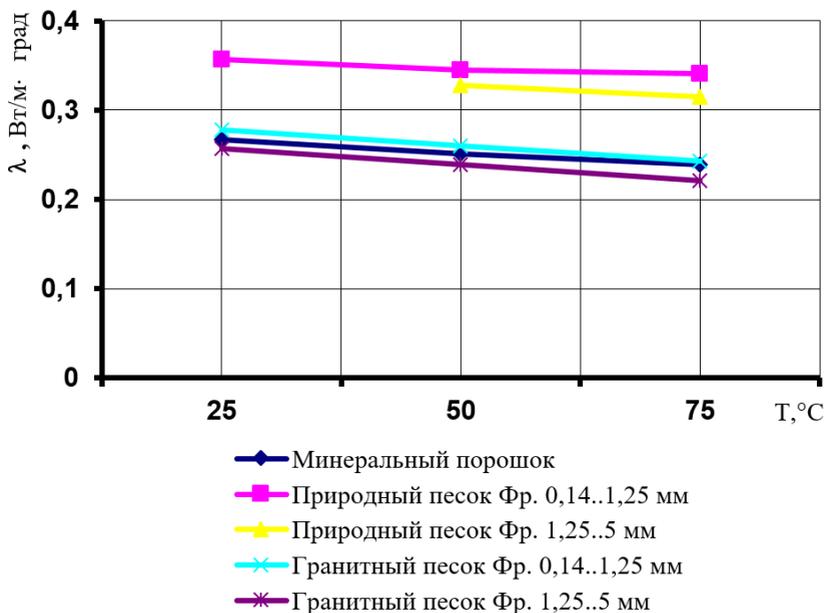


Рис. 1. Зависимость теплопроводности от температуры для каменных материалов

### Литература

1. Лыков А.В. Теоретические основы строительной теплофизики / А.В. Лыков. Мн. : Изд-во Акад. наук БССР, 1961. – 519 с.
2. Миснар А. Теплопроводность твердых тел, жидкостей, газов и их композиций / Пер. с фрвнц. М.Г. Беды [и др. Предисл. д-ра техн. Наук Э. Шпильрайна]. М. : Мир, 1968. – 464 с.
3. Платунов Е.С. Теплофизические измерения в монотонном режиме / Е.С. Платунов. М. : Энергия, Ленингр. отд-ние, 1973. – 143 с.

## **Особенности структурообразования вновь устроенных асфальтобетонных покрытий под воздействием транспортной нагрузки**

Жуковский Е.М.<sup>1</sup>, Кравченко С.Е.<sup>1</sup>, Помахо П.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>ГП «Белгипродор»

*Дорожный асфальтобетон относится к материалам, качественные характеристики которого зависят от множества факторов, изменяющихся во времени. Наиболее подвержен таким изменениям ключевой компонент дорожного асфальтобетона – битум.*

*Описаны реологические свойства битума, применяемого в Республике Беларусь для устройства верхнего слоя покрытия, а также определено его влияние на процессы структурообразования асфальтобетона.*

*Отмечается о необходимости введения ограничений на движение по вновь устроенному асфальтобетонному покрытию после завершения уплотнения. Это объясняется тем, что битумы после завершения уплотнения асфальтобетонных находятся в вязком состоянии и постепенно переходят в упруго-вязкое. Воздействие транспортной нагрузки вызывает нарушение структуры битума, вплоть до её разрушения. Структурообразование асфальтобетона прямо пропорционально зависит от структурообразования битумов.*

*Воздействие транспортной нагрузки на асфальтобетонное покрытие в период структурообразования приводит к снижению прочности асфальтобетона, а также к накоплению деформаций, в том числе пластических. Это приводит к ухудшению транспортно-эксплуатационного состояния дороги и снижению её долговечности.*

### *Введение*

Асфальтобетонные покрытия, которые широко распространены в Республике Беларусь и в мире, имеют много преимуществ перед остальными видами покрытий. К его положительным свойствам можно отнести такие как: достаточная механическая прочность, допускаемые упругие и пластические деформации, хорошее сцепление шин с покрытием, ровность, высокая демпфирующая способность, простота ремонта, а так же широкая механизация.

Однако зачастую в процессе эксплуатации покрытий устроенных их асфальтобетона возникает множество дефектов. Их природа различна. Дефекты могут быть вызваны качеством исходных материалов для приготовления асфальтобетонных смесей, ошибками при проектировании их состава, нарушениями технологии устройства покрытий асфальтобетонных покрытий и дорожных конструкций в целом, а так же воздействия различных видов нагрузок, в том числе не нормативных транспортных.

Асфальтобетоны, как и битумы, являются вязко-упруго-пластичными материалами, прочностные характеристики которых зависят от множества факторов, основными из которых является время и температура. Причем влияние оказывает не только время воздействия нагрузок, но так же и время прошедшее с момента устройства асфальтобетонного покрытия или применения битума.

Наибольшее влияние на итоговую прочность и долговечность асфальтобетонных покрытий оказывают процессы структурообразования асфальтобетона и, в частности, битумов. В настоящий момент широко изучены процессы структурообразования битумов в зависимости от его группового состава, а так же процессы структурообразования асфальтобетонов в зависимости от состава его минеральной части, температурных режимов и режимам уплотнения.

Кроме того, можно предположить, что на структурообразование асфальтобетона, и как результат на его прочность, будет оказывать влияние время начала движения транспорта и его интенсивность по вновь устроенному покрытию после завершения его уплотнения. Однако в Республике Беларусь не регламентированы сроки открытия движения по вновь устроенным покрытиям.

### ***Релаксация напряжений в дорожном асфальтобетоне***

Асфальтобетон является дисперсным материалом, который имеет коагуляционный тип структуры. В таком случае минеральные частицы разделены пленками битума, который является вязкоупругой жидкостью, что обуславливает зависимость прочности асфальтобетона, его модуля упругости и других характеристик в зависимости от скорости деформирования. Это объясняется релаксацией напряжений в жидкоподобной плёнке [1].

Временная зависимость прочности может быть обусловлена двумя случаями:

- время релаксации  $t_r$  значительно меньше времени действующего напряжения  $t$ . Тогда полностью осуществляются все процессы релаксации напряжений и система однородна по напряженности во всем объеме. Механические характеристики принимают минимальное значение. Материал в таком случае проявляет свойства вязкой жидкости.

- время релаксации  $t_r$  значительно больше времени действующего напряжения  $t$ . В таком случае напряжения в процессе деформации не успевают релаксироваться. Прочность и модуль упругости при этом являются максимальными. Материал в таком случае ведет себя как идеально упругий.

Если время релаксации  $t_r$  приближено ко времени действующего напряжения  $t$ , то материал в таком случае ведет себя как упруго-вязкий.

Проявление асфальтобетоном упругих или вязких свойств зависит от отношения между временем действия нагрузки и временем релаксации напряжений. Время релаксации асфальтобетона главным образом зависит от его вязкости.

Изменение вязкости асфальтобетона связано главным образом с присутствием в его составе битума и изменяется схожим образом [2].

### ***Вязкие свойства дорожных нефтяных битумов***

Под вязкостью понимают свойство жидкостей оказывать сопротивление необратимому перемещению одной их части относительно другой при сдвиге и других видах деформации.

Вязкость битума является основным механическим и реологическим свойством битума и характеризует внутреннее трение битума.

Битумы, состоящие из смеси высокомолекулярных соединений, таких как асфальтены, масла и смолы, представляет собой сложную дисперсную систему. Основное влияние на структуру битума влияет соотношение между входящими в его состав высокомолекулярных соединений.

Дисперсные системы подразделяются на коагуляционные и конденсационные структуры.

Коагуляционные структуры образуются молекулярным сцеплением беспорядочно расположенных коллоидных частиц. В местах контакта частиц имеются остаточные прослойки дисперсной системы толщиной от 3 до 5 молекулярных слоев, в результате которых у этих структур проявляется тиксотропия, ползучесть и небольшая прочность.

Конденсационные структуры имеют фазовые контакты, которые обеспечивают прочные связи между элементами структуры. В конденсационных структурах связи разрушаются необратимо, в отличие от коагуляционных структур. Поэтому данные структуры нетиксотропны.

Вязкость битума в первую очередь зависит от температуры. Причем с изменением температуры изменяются реологические состояния битума. Так при отрицательных температурах битум является наиболее вязким и находится в упруго-хрупком состоянии. С повышением температуры битум постепенно переходит в эластичное, упруго-пластическое, упруго-вязкое и вязкое состояние, что приводит к уменьшению времени релаксации и, как следствие, к возникновению пластических деформаций.

Границы реологических состояний зависят от группового состава нефтяных дорожных битумов. Битумы, которые применяются для верхнего слоя дорожного покрытия, в соответствии с СТБ 1062 должны иметь следующий групповой состав: асфальтены – 19–21 %, смолы – 32–34 %, масла – 45–49 %. Битум данного группового состава находится в упруго-хрупком состоянии при температурах до  $-20^{\circ}\text{C}$  и характеризуется высоким модулем упругости. В интервале температур от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  данный битум в упруго-пластическом состоянии, при котором имеет предел текучести и проявляет эластичные свойства. С увеличением температур до  $+70^{\circ}\text{C}$  битум переходит в упруго-вязкое состояние, при котором предел текучести отсутствует, а существует значительная разница между вязкостью нарушенной и не нарушенной структуры. При больших температурах битум находится в истинно вязком состоянии [4].

Структура применяемого в Республике Беларусь битума при изменении температуры переходит от твердообразной конденсационной структуре к структурированной жидкости, а после истинной жидкости, которая представляет собой суспензию асфальтенов.

Для определения влияния механических воздействий на вязкость битума марки БД 60/90 по СТБ 1062 был использован ротационный вискозиметр (вискозиметр Брукфильда). Проведение испытания практически полностью соответствует методике определения динамической вязкости, изложенной в СТБ 2188.

Для проведения испытания отбирают битум в количестве 0,5 л, который необходимо разогреть до температуры на  $80^{\circ}\text{C}$  выше температуры размягчения. Битум процеживают через сито с сеткой № 063.

Для измерения вязкости используют шпindel № 27. Для данного шпинделя количество битума для испытаний в ячейке должно составлять 10,7 мл. Перед проведением испытания битум термостатируют при температуре испытаний  $135^{\circ}\text{C}$  в течении 60–90 мин.

Битум испытывают на динамическую вязкость при разных скоростях вращения шпинделя, которые обеспечивают измерение вязкости в пределах от 10 до 90 % диапазона прибора. Причем вначале скорость постепенно увеличивается, а затем уменьшается до первоначальной.

График изменения динамической вязкости битума при проведении испытания с постоянной скоростью вращения шпинделя, равной 100 мин<sup>-1</sup> представлен на рисунке 1. По данному рисунку видно, что график зависимости динамической вязкости от времени имеет вид логарифмической зависимости и практически не изменяется после прошествии 13 мин после начала испытания. Это свидетельствует об отсутствии тиксотропных свойств исследуемого битума, что характерно для битумов данного группового состава.

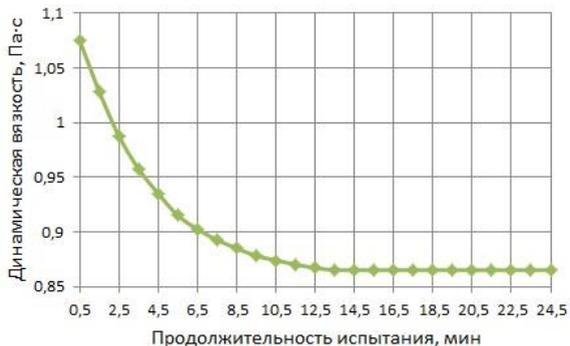


Рис. 1. Изменение динамической вязкости от времени

Результат измерения динамической вязкости представлен на рисунке 2. При проведении испытания единичное значение динамической вязкости принималось по прошествии 5 мин после изменения скорости сдвига.

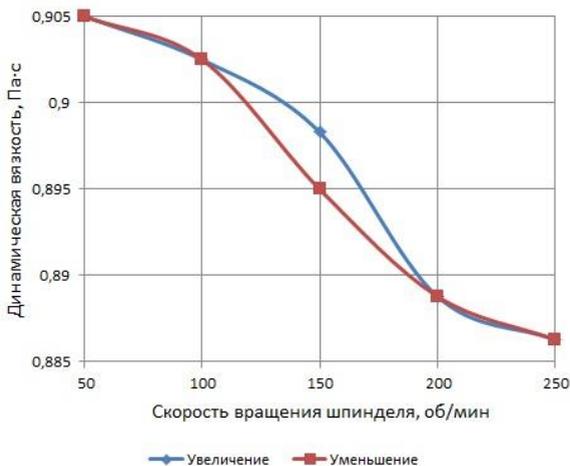


Рис. 2. Изменение динамической вязкости от скорости сдвига

По рисунку 2 видно, что с увеличением скорости вращения шпинделя динамическая вязкость уменьшается, а после дальнейшего снижения скорости начинает увеличиваться, однако, практически не достигая предыдущего значения. Это свидетельствует о необратимости процессов разрушения структуры битума под механическими воздействиями.

### *Влияние транспортной нагрузки на вновь устроенное асфальтобетонное покрытие*

Техническими нормативными правовыми актами Республики Беларусь, в частности СТБ 1033, установлены следующие температурные режимы устройства асфальтобетонных покрытий устраиваемых из смесей на вязких битумах: температура в асфальтоукладчике, которая соответствует началу уплотнения должна быть не менее 150 °С для асфальтобетонных смесей типа С, и не менее 120 °С для остальных типов. Уплотнение завершается при температурах не ниже 90 °С для типа С, и не менее 80 °С для остальных типов.

Исходя из температур завершения уплотнения, можно видеть, что при завершении уплотнения асфальтобетонных смесей, битум, содержащийся в них, будет находиться в вязком состоянии, после чего постепенно будет переходить в упруго-вязкое, оказывая такое же влияние на состояние асфальтобетона.

При открытии движения сразу же после завершения уплотнения асфальтобетонных смесей, транспортная нагрузка будет оказывать воздействие на асфальтобетон, тем самым вызывая пластические деформации, не нарушая на первоначальном этапе (до температуры покрытия равной 70 °С) структуры битума и асфальтобетона в целом. Это объясняется тем, что при данных температурах битум подчиняется ньютоновским законам течения жидкости, а давление, передаваемое транспортной нагрузкой, согласно закону Паскаля, будет передаваться во все его точки одинаково, тем самым вызывая миграции битума, и как результат утолщение битумных пленок, что приводит к снижению сопротивляемости асфальтобетона нагрузкам. Кроме того, это может привести к частичному разуплотнению вновь устроенного слоя.

Дальнейшее воздействие транспортной нагрузки, в особенности интенсивной, в период структурообразования асфальтобетона вызывает негативное влияние на его структуру по двум причинам, природа возникновения которых одинакова.

Воздействие транспорта вызывает возмущения колебаний покрытия, которое в итоге приводит к необратимому разрушению структуры битума и снижению его вязкости, и как следствие нарушения структурообразования асфальтобетона.

Кроме того, при распространении волн напряжений в упруго-вязких и вязко-пластичных средах происходит демпфирование: частичное превращение механической энергии в тепловую, тем самым увеличивая температуру покрытия и снижая его вязкость, что негативно сказывается на времени релаксации асфальтобетона. Так же это может привести к переходу би-

тума в вязкое состояние, что приводит к негативным последствиям, описанным выше.

В итоге воздействие транспортной нагрузки на вновь устроенное асфальтобетонное покрытие приводит к снижению его прочности, накоплению деформаций, в том числе пластических, что негативно сказывается на транспортно-эксплуатационном состоянии и долговечности покрытий.

Однако в документах регламентирующих устройство асфальтобетонных покрытий в Республике Беларусь [7–8] отсутствуют требования, регламентирующие открытие движения после завершения уплотнения. Кроме того, данные ограничения отсутствуют в Украине, США и Российской Федерации [9–11].

Для оценки воздействия транспортной нагрузки на вновь устроенное асфальтобетонное покрытие были изготовлены образцы типа А, соответствующие СТБ 1033 и испытаны на сжатие согласно СТБ 1115. Однако подготовка к испытанию имела особенности.

После извлечения образца из формы он устанавливался на виброплощадку, где на образец передают давление 0,03 МПа, тем самым моделируя воздействие транспортной нагрузки. Время вибрации увеличивалось для каждой серии образцов. После завершения вибрации, образцы сразу же испытывались на сжатие. График снижения прочности на сжатие от времени вибрации показан на рисунке 3.

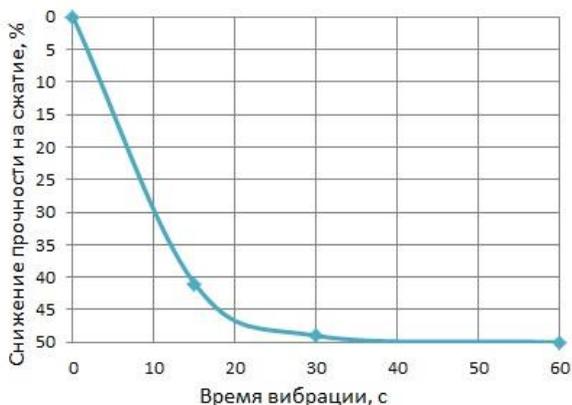


Рис. 3. Снижение прочности асфальтобетона от механического воздействия

По рисунку 3 видно, что воздействия, которые вызывают механические колебания, к которым и относится транспортная нагрузка, на вновь устроенный асфальтобетон, особенно продолжительные, приводят к снижению

прочности асфальтобетона практически вдвое. Это подтверждает теоретические предпосылки о снижении долговечности асфальтобетонных покрытий под воздействием транспортной нагрузки, описанные выше.

### **Заключение**

Специфические свойства асфальтобетона, а в большей степени битума, как его основного компонента показывают, что воздействие транспортной нагрузки на вновь устроенные асфальтобетонные покрытия может негативно сказываться на их прочности и дефектности, ухудшая транспортно-эксплуатационное состояние дороги и снижая в итоге долговечность.

Теоретические предпосылки подтверждаются экспериментальными данными. Видно, что битумы, применяемые в Республики Беларусь, не обладают тиксотропными свойствами, а разрушение их структуры практически необратимо. Длительное механическое воздействие (вибрация) может вызывать снижение прочности асфальтобетона до 50 %.

Таким образом, в настоящее время остро стоит проблема дальнейшего изучения данного вопроса с целью установления оптимальных сроков начала движения транспорта, в том числе и построечного, по вновь устроенному асфальтобетонному покрытию после завершения уплотнения. Учёт данных особенностей позволит снизить накопления деформаций на начальном этапе работы покрытия, что положительным образом будет сказываться на транспортно-эксплуатационном состоянии дороги, и как итог не приведет к снижению прочностных её показателей и долговечности.

### **Литература**

1. Ковалев, Я.Н. Физико-химические основы технологии строительных материалов : учебно-методическое пособие / Я. Н. Ковалев ; Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский национальный технический университет. – Минск : БНТУ, 2007. – 263 с.
2. Дорожный асфальтобетон / Л.Б. Гезенцев, Н.В. Горельшев, А.М. Богуславский, И.В. Королев; под ред. Л.Б. Гезенцева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Транспорт, 1985. – 350 с.
3. Битумы нефтяные для верхнего слоя дорожного покрытия. Технические условия: СТБ 1062-97. – Введ. 1997-07-01. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 1997.
4. Колбановская, А.С. Дорожные битумы / А.С. Колбановская, В.В. Михайлов. – М. : Транспорт, 1973. – 264 с.
5. Битумы и битумные вяжущие. Метод определения динамической вязкости: СТБ 2188-2011. – Введ. 2011-07-01. – Минск : Госстандарт, 2011.

6. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия: СТБ 1033-2016. – Введ. 2016-01-27. – Минск.: Госстандарт, 2016.

7. Автомобильные дороги. Правила устройства: ТКП 059-2012 (02191). – Введ. 2012-09-01. – Минск : Минтранс Республики Беларусь, 2012.

8. Автомобильные дороги. Правила устройства асфальтобетонных покрытий и защитных слоев: ТКП 094-2012 (02191). – Введ. 2012-10-01. – Минск : Минтранс Республики Беларусь, 2012

9. Автомобильные дороги: СНиП 3.06.03-85. – Введ. 1986-01-01. – Москва : ФГУП ЦПП, 2019.

10. Автомобільні дороги. Споруди транспорту. Частина I. Частина II.: ДБН В.2.3-4:2015 . – Чинні з 2016-04-01. – Київ, Мінрегіон України, 2015.

11. AC 150/5370-14B - Hot Mix Asphalt Paving Handbook 2000. American Association of State Highway and Transportation Officials, Federal Aviation Administration, Federal Highway Administration, National Asphalt Pavement Association, U.S. Army Corps of Engineers, American Public Works Association, National Association of Country Engineers. United States of America. 2013.

12. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Методы испытаний: СТБ 1115-2013. – Введ. 2013-10-31. – Минск.: Госстандарт, 2013.

13. Жуковский, Е.М., Кравченко, С.Е.. Влияние транспортной нагрузки на структурообразование вновь устроенных асфальтобетонных покрытий / Е.М. Жуковский, С.Е. Кравченко // Автомобильные дороги и мосты. 2020. № 1. с. 92–97.

УДК 625.7

## **Особенности конструирования одежд городских улиц и дорог**

Зленко Л.В.

Белорусский национальный технический университет

При конструировании дорожных одежд городских улиц и дорог необходимо учитывать особенности, связанные с условиями их строительства и эксплуатации, такие как ограниченная возможность изменения проектных отметок продольного профиля; необходимость временного сбора воды у

кромок проезжей части с последующим отводом ее через ливневую канализацию; необходимость в ряде случаев размещения под проезжей частью электротехнических, тепловых, водопроводных и других коммуникации; необходимость устройства сопряжений дорожной одежды с люками, трамвайными путями; расположение улицы или дороги в непосредственной близости от жилых построек; наличие участков, где наблюдаются частые разгоны и торможение транспортных средств на проезжей части, а также участков остановок общественного транспорта.

Покрытия городских дорог и улиц должны обладать повышенной износостойкостью, сдвигоустойчивостью, шероховатой поверхностью. В этой мере этим требованиям отвечают нежесткие одежды с усовершенствованными покрытиями. Покрытия и верхние слои оснований из асфальтобетонных смесей проектируются в соответствии с рекомендациями «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон». Чтобы удовлетворить требования к сдвигоустойчивости и летнее время и к трещиностойкости покрытий зимой, предпочтительно применять для приготовления асфальтобетонных смесей битумы марок: а) БНД (БН) - 130/200 и БНД (БН) - 90/130; б) БНД (БН) - 90/130, БНД (БН) - 60/90; в) БНД (БН) - 60/90.

При проектировании дорожных одежд городских улиц и дорог с асфальтобетонными покрытиями в верхнем слое основания необходимо применять только монолитные материалы типа крупнозернистых пористых и высокопористых асфальтобетонных смесей, тощего цементобетона марок 75-150, а также щебня, обработанного по методу пропитки цементно-песчаной смесью (раствором). Асфальтобетонные основания следует, как правило, предусматривать однослойными. Двухслойное асфальтобетонное основание нужно применять лишь при необходимости использования в нижнем слое песчаных и мелкозернистых смесей, которые обладают пониженной сдвигоустойчивостью, тогда общая толщина размещаемых над ними асфальтобетонных слоев повышенной сдвигоустойчивостью (покрытия с основанием из крупнозернистых асфальтобетонных смесей) не должна быть менее 12 см. Если отсутствует ливневая канализация, нужно предусматривать продольные и поперечные дренажи мелкого заложения, как элемент дорожной одежды. В условиях города при высоком уровне грунтовых вод (УГВ) следует применять конструкции дорожных одежд с теплоизоляционными слоями. Для остановок общественного транспорта в городах и населенных пунктах необходимо проектировать дорожные одежды с покрытиями и основаниями, обладающие повышенной сдвигоустойчивости при высоких положительных температурах. Основание следует устраивать, как правило, из пористых или высокопористых асфальтобетонных смесей на вязком би-

туме, из тощего бетона или грунта, укрепленного цементом. При применении материалов, содержащих цемент, необходимо предусматривать прослойки для предотвращения трещин. На участках, где трамвайные пути расположены не на обособленном земляном полотне, одежда внутри путей и между ними должна иметь такую же прочность, как у дорожной одежды, примыкающей к рельсовым путям.

### **Литература**

1. Лобанов, Е.М. Транспортная планировка городов». – М., 1990.
2. Бакутис, В.Э. Инженерная подготовка городских территорий. М.: Высшая школа, 1970. – 376 с.
3. Бакутис, В.Э., Нецветаев, Л.П. Городские водосточные сети. – М.: Высшая школа, 1970. – 90 с.
4. Инженерное благоустройство городских территорий. Программа и краткие методические указания / ВЗИСИ. - М.: Высшая школа, 1969. – 46 с.
5. Ицкович, М.Л. Инженерное обеспечение городской застройки. – М.: Высшая школа, 1972. – 160 с.
6. Клиорина, Г.И., Осин, В.А., Шумилов, М.С. Инженерная подготовка городских территорий. – М.: Высшая школа, 1984. – 270 с.

УДК 65.01

## **Электронная коммерция и реклама в сети Internet**

Минова О. Е.

Белорусский национальный технический университет

*Электронная коммерция с этой точки зрения - это ускорение большинства бизнес-процессов за счет их проведения электронным образом, так как информация передается напрямую к получателю, минуя стадию создания бумажной копии на каждом этапе.*

Термин «электронная коммерция» объединяет в себе множество различных технологий, в числе которых - EDI (Electronic Data Interchange – электронный обмен данными), электронная почта, Интернет, интранет (обмен информацией внутри компании), экстранет (обмен информацией с внешним миром). Таким образом, электронную коммерцию можно характеризовать как ведение бизнеса через Интернет.

Появление Интернета значительно удешевило ведение электронной коммерции за счет низкой себестоимости передачи информации и привело к возникновению ее качественно новых форм. Одной из таких форм стали системы уровня «бизнес – бизнес» (B2B) и «бизнес – потребитель» (B2C), где ключевым моментом является взаимодействие через Web-браузер, а EDI - технологии не используются или их применение носит вторичный характер.

Системы электронной коммерции позволяют покупателю не общаться с продавцом, не тратить время на хождение по магазинам, а также иметь более полную информацию о товарах. Продавец же может быстрее реагировать на изменение спроса, анализировать поведение покупателей, экономить средства на персонал, аренде помещений.

Главные преимущества для продавца состоят в расширении круга покупателей, в который сразу попадают те компании, которые не в состоянии из-за большой стоимости внедрить EDI, в возможности использовать информационные технологии для осуществления продаж конечным потребителям, то есть выйти на рынок «бизнес – потребитель», а также в устранении возможных посредников в торговле.

Электронный бизнес - любая деловая активность, использующая возможности глобальных информационных сетей для преобразования внутренних и внешних связей с целью создания прибыли.

Электронная коммерция является важнейшим составным элементом электронного бизнеса. Под электронной коммерцией подразумевают любые формы деловых сделок, при которых взаимодействие сторон осуществляется электронным способом вместо физического обмена или непосредственного физического контакта и в результате, которого право собственности или право пользования товаром передается от одного лица другому.

Электронную коммерцию можно разделить на следующие категории:

- бизнес-бизнес (B2B): данная категория включает в себя все уровни взаимодействия между компаниями;
- бизнес-потребитель (B2C): основу этой категории составляет электронная розничная торговля;
- бизнес-администрация (B2A): данная категория включает в себя взаимодействие бизнеса и администрации;
- потребитель-администрация (C2A): данная категория включает в себя взаимодействие государственных структур и потребителей;
- потребитель-потребитель (C2C): основу этой категории составляет возможность взаимодействия потребителей для обмена коммерческой информацией.

Одним из «измерений», характеризующих многомерный мир электронной коммерции, является тип потребителя продукции. Требования, вытекающие из задачи обслуживания частных («физических» - в отечественной терминологии) лиц, сильно отличаются от требований, возникающих при работе с корпоративными клиентами - фирмами и компаниями. Корпоративные клиенты – бизнес-партнеры – должны быть определены заблаговременно, расширение их круга – достаточно деликатный процесс. В то же время целесообразность увеличения числа частных клиентов не вызывает сомнений - чем больше, тем лучше (конечно, в разумных пределах). Так, электронный книжный магазин без каких-либо предварительных условий должен принимать заказы от любого, кто способен заплатить.

Каков же объем рынка для электронной коммерции сегодня и какие прогнозы можно сделать на ближайшее будущее? Несложный анализ позволяет понять, что доля современного рынка электронных продаж достаточно высока для общего объема розничного рынка и продолжает расти.

Какие же типы товаров продаются сегодня через Web? Заметную часть в этом списке занимают программные продукты и средства вычислительной техники. WWW основывается на компьютерных технологиях, и для полноценной работы с мультимедийными Web-разделами необходимы наиболее современные программные и технические средства. Более неожиданным представляется взлет других секторов рынка, особенно таких, как путешествия и финансовые услуги. Таблица 1 иллюстрирует ранжирование секторов рынка в соответствии с двумя различными критериями: объемом продаж в денежном выражении и количеством проданных экземпляров того или иного товара (или обслуженных клиентов).

Ключевые проблемы в области виртуальных продаж являются:

- **Нарушение авторских прав.** Касается данная проблема продажи медиа и текстовой информации. С ходом развития электронной коммерции постепенно усиливается и контроль над соблюдением авторских прав, который регламентируется наложением штрафов и даже привлечением к ответственности.

- **Соблюдение закона о рекламе.** Интернет реклама зачастую нарушает основные положения установленные законодательством, однако отследить данное явление в сети достаточно сложно.

- **Невыполнение партнерских соглашений и гарантийных обязательств.** Работа в удалённом режиме, где стороны не сталкиваются друг с другом лицом, нередко провоцирует на халатное отношение к сделке. В результате чего вы можете вложить деньги в ресурс, но не получить от него отдачу. Чтобы обеспечить безопасность электронной коммерции, платёжные системы все чаще требуют предоставления полной информации о физических и юридических лицах, участниках сделки.

• **Электронные денежные махинации.** Многие системы электронной коммерции довольно сложны и запутанны, что отталкивает потребителя и заставляет его искать новые пути, которые зачастую являются обманом.

• **Соккрытие налогов.** Рынок электронной коммерции — это большие возможности для каждого и торговля на аукционах для частных лиц, также может приносить немалую прибыль, которая облагается налогами на общих основаниях.

• **Технические сбои в работе системы.** Компьютерные технологии электронной коммерции также играют немалую роль. Их сбой может привести к ошибке в проведении сделки и даже потере средств. Для решения сведения к минимуму данной проблемы старайтесь избегать бесплатных хостингов и непроверенного программного обеспечения.

### Литература

1. Голик, В.С. Интернет-реклама или как делаются деньги в сети / В.С. Голик, А.И. Толкачев. – М.: Издательство деловой и учебной литературы, 2017. – 160 с.

2. Дорохова, М. А. Как заработать в Интернете / М.А. Дорохова. – М.: Дашков и Ко, 2016. – 190 с.

3. Карр, Николас Великий переход. Революция облачных технологий / Николас Карр. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2017. – 272 с.

4. Коэн, Дэвид Стартап в Сети. Мастер-классы успешных предпринимателей / Дэвид Коэн, Брэд Фелд. – М.: Альпина Паблишер, 2014. – 344 с.

УДК 625.855.31.066/.067

## Цементогранулят как альтернатива природному сырью

Реут Ж.В., Зиневич С.И., Ковалев Д.М.

Белорусский национальный технический университет

*Использование при выполнении дорожных строительно-ремонтных работ вторичного сырья позволяет значительно снизить затраты. Анализ возможности использования цементогранулята для дорожных работ рассмотрены в статье.*

Строительство любых объектов является материалоемким, что требует поиска решений по снижению затрат на строительство. Одним из них явля-

ется использование промышленных отходов как альтернативы дорогостоящему природному сырью. Причем эта практика позволяет не только снизить затраты на строительство и ремонт автомобильных дорог, а также уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

Одним из таких отходов является цементогранулят — продукт переработки различных дефектных, поврежденных, разбитых железобетонных изделий, строительного мусора, образовавшегося в процессе разрушения здания, разбором бетонных покрытий автомобильных дорог и взлётно-посадочных полос аэродрома.

Цементогранулят можно рассматривать как аналог щебня или альтернатива гравийным смесям при выполнении работ по строительству, реконструкции или ремонте автомобильных дорог, особенно местного значения.

Такого сырья, не переработанного строительного мусора, в Беларуси имеется в достаточном количестве на полигонах твердых бытовых отходов, где их перерабатывают в цементогранулят.

Достоинства цементогранулята как строительного материала заключаются в том, что он по своим физико-механическим характеристикам отличается от асфальтогранулята. И это прежде всего связано с наличием в асфальтогрануляте битума.

Цементогранулят при уплотнении способен саморасклиниваться, что происходит потому, что гранитный щебень, имеющий разнообразный гранулометрический состав, скреплен между собой цементным вяжущим.

Цементогранулят более экологичен, так как не выделяет вредных летучих масляных соединений при нагревании, в отличие от асфальтогранулята.

Поэтому цементогранулят является наиболее выгодным заменителем щебня и позволяет серьезно экономить в процессе строительства. Но самым важным преимуществом все же будет ресурсосбережение.

Каждое из направлений использования цементогранулята имеет свои преимущества перед аналогами, главным из которых является ресурсосбережение.

В данной статье приведен анализ гранулометрического состава смеси цементогранулята и рассмотрена возможность его использования в дорожном хозяйстве на примере материала полученного на территории полигона «Тростенецкий» (рис. 1).



Рис. 1. Цементгранулят, используемый при испытаниях

Зерновой состав цементгранулята и его модуль крупности. Для определения зернового состава цементгранулята применяют ситовой анализ согласно ГОСТ 8269.0. Среднюю пробу высушенного цементгранулята массой 2000 г, отобранной методом квартования, просеяли через сито с диаметром отверстий 40 мм. Из части пробы цементгранулята, прошедшего через сито номер 40 отбирали навеску массой 1000 г. Подготовленную навеску просеивают через набор сит следующих номеров (в мм): 0,071; 0,14; 0,315; 0,63; 1,25; 2,5; 5; 10; 15; 20; 30; 40. После просеивания получили зерновой состав, приведенный в таблице 1.

Модуль крупности ( $M_k$ ) без зерен размером крупнее 40 мм по формуле.

$$M_k = A_{40} + A_{30} + A_{20} + \dots + A_i \quad (1)$$

где  $A_i$  – полные остатки на данном сите, в процентах, определяемым по формуле:

$$A_i = (a_{40} + a_{30} + a_{20} + \dots + a_i) 100, \quad (2)$$

где  $a_{40} + a_{30} + \dots + a_i$  – частные остатки на всех ситах с большими размерами отверстий плюс остаток на данном сите, %.

Гранулометрические кривые приведены на рис. 2. и 3.

Таким образом, модуль крупности ( $M_k$ ) цементгранулята составляет  $M_k = 2,18$ . Сравнивая гранулометрические составы испытуемых смесей цементгранулята и его модуль крупности с требованиями нормативных документов, в частности с СТБ 2318-2013 «Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия» (табл. 2).

Таблица 1. Зерновой состав цементогранулята

Размер отверстий сит, мм	Частные остатки в процентах для		Полные остатки в процентах для	
	цементогранулята фракции до 20 мм	цементогранулята фракции до 40 мм	цементогранулята фракции до 20 мм	цементогранулята фракции до 40 мм
1	2	3	4	5
40	0,00	5,69	0,00	5,69
30	0,00	0,00	0,00	5,69
20	1,00	34,57	1,00	40,26
15	26,27	22,78	27,27	63,04
10	30,97	15,58	58,24	78,62
5	26,97	11,29	85,21	89,91
2,5	5,29	4,20	90,51	94,11
1,25	2,70	1,90	93,21	96,00
0,63	1,60	0,90	94,81	96,90
0,315	1,60	1,10	96,40	98,00
0,14	1,10	1,40	97,40	99,40
0,071	1,60	0,4	99,00	99,80
≤0,071	1,00	0,2	100	100

Таблица 2. Гранулометрический состав смесей С11 и С12 по СТБ 2318-2013

Номер смеси	Наибольший размер зерен Д, мм	Размер сит, мм							
		40	20	10	5	2,5	0,63	0,16	0,05
С11	20	0-5	0-20	18-40	32-64	42-80	60-80	83-95	95-100
С12	10	0	0-5	0-20	30-70	50-85	75-95	89-98	90-100

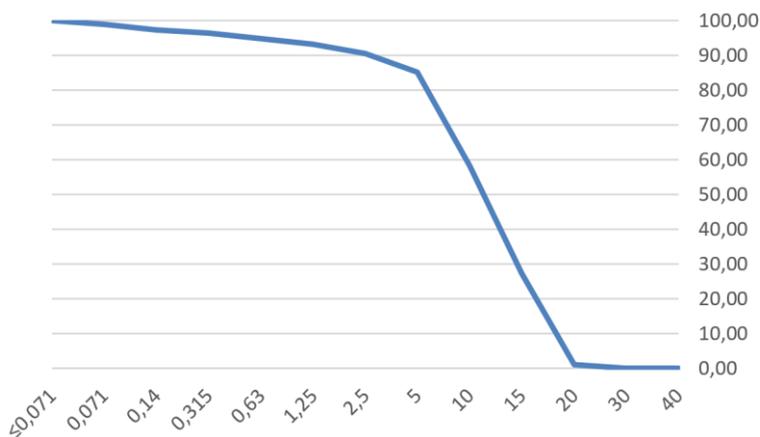


Рис. 2. Гранулометрическая кривая цементогранулята фракции до 20 мм

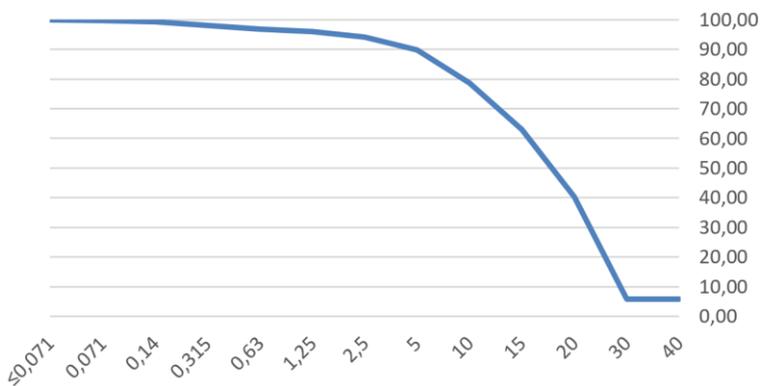


Рис. 3. Гранулометрическая кривая цементогранулята фракции до 40 мм

Сравнивая полученные при рассеве гранулометрические составы цементогранулята с требованиями стандарта СТБ 2318, можно сделать вывод, что фракция 0-40 по фракционному составу аналогична смесям с номером С11 и С12. Следовательно смеси с таким грансоставом можно использовать при устройстве слоев оснований дорожных одежд и для укрепления обочин автомобильных дорог при условии соблюдения иных требований стандарта.

Таким образом, использование цементогранулята, как ресурсосберегающего, в качестве материала для оснований автомобильных дорог или для укрепления обочин позволяет сократить затраты на строительные и ремонтные работы. А это особенно актуально, с нашей точки зрения, для местных автомобильных дорог в условиях недостаточного финансирования.

## Литература

1. СТБ 2318-2013 Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов.
2. Рекомендации по проектированию, изготовлению и применению экономичных составов бетона для устройства дорожных покрытий и оснований: ДМД 33200.2.084-2017: [утверждено Белорусским дорожным научно-исследовательским институтом "БелдорНИИ" 14.04.17: срок действия с 01.06.17 до 01.06.22].

УДК 624.8131

## Применение слабых грунтов в основании земляного полотна

Савуха А.В.

Белорусский национальный технический университет

Применение конструкций земляного полотна на слабых основаниях допускают на основе технико-экономического обоснования и сравнения вариантов, предусматривающих частичное или полное удаление слабых грунтов, или их использование в качестве основания насыпи с разработкой мероприятий по обеспечению ее устойчивости. Использование слабого грунта в качестве основания во многих случаях существенно снижает стоимость и трудоемкость работ. При обосновании также необходимо учитывать величину и длительность осадки слабой толщи при воздействии на нее веса насыпи.

К слабым грунтам относятся связные грунты, имеющие прочность на сдвиг в условиях природного залегания менее 0,075 МПа (при испытании прибором вращательного среза) или модуль осадки более 50 мм/м при нагрузке 0,25 МПа (модуль деформации ниже 5,0 МПа). При отсутствии данных испытаний к слабым грунтам следует относить торф и заторфованные грунты, илы, сапропели, глинистые грунты с коэффициентом консолидации более 0,5.

Прогноз устойчивости и осадки основания насыпи, а также её упругих колебаний следует осуществляется на основе расчётов. Крутизна откосов назначается на основе расчётов устойчивости или проверяется расчётом возможность применения типового поперечного профиля.

К таким расчетам относятся:

- установление величины общей осадки насыпи на слабом основании;

- статический расчет прочности дорожной одежды и земляного полотна;
- динамический расчет земляного полотна;
- расчет устойчивости слабого основания дорожной насыпи; – прогноз осадки во времени;
- расчет временной пригрузки;
- ускорение осадки путем частичного выторфовывания и путем устройства вертикальных дрен или дренажных прорезей.

Конструкция земляного полотна на слабых основаниях, её выбор зависит от типа слабого основания, наличия вида грунта и его мощности, относимых к слабым, высоты насыпи, типа дорожной одежды, сроков её устройства.

При мощности слабых оснований до 6 м и высоте насыпей до 3 м, в том числе состоящих из болотных грунтов, конструкцию земляного полотна можно разрабатывать на основе привязки типовых решений к заданным условиям. При наличии болот — с учётом их типа.

В случаях когда устойчивость и осадка обосновывается необходимостью полного или частичного удаления слабых грунтов перед сооружением насыпи, нижнюю часть насыпи ниже уровня поверхности слабого основания на 0,2-0,5 м следует предусматривать из дренирующих или крупнообломочных грунтов.

При сооружении насыпей с использованием в их основании слабых грунтов в целях повышения устойчивости, ускорения осадки и снижения влияния динамической нагрузки предусматриваются следующие конструктивно-технологические мероприятия:

- сооружение насыпи на слабом основании с расчётным режимом отсыпки;
- применение армированных элементов из тканых геосинтетических материалов для обеспечения устойчивости;
- применение разделительных прослоек из геосинтетических материалов для разделения отсыпаемых грунтов и грунтов слабого основания;
- устройство временной пригрузки для ускорения процесса консолидации грунтов слабого основания;
- вертикальные дрены из песка с целью ускорения осадки слабого основания;
- использование свайных элементов с целью создания устойчивых конструкций.

В некоторых случаях может осуществляться замена слабого грунта в основании насыпи. Замена слабого грунта в основании насыпи может осуществляться механическим или взрывным способом.

Одним из возможных технических вариантов при применении слабых грунтов в основании земляного полотна является его улучшение, путем введения добавок. Повышение качества местных укрепленных грунтов для создания эффективных дорожных одежд местных автомобильных дорог возможно путем введения в грунт, помимо вяжущего, гранулометрических добавок. Регулируя гранулометрический состав, т.е. количество песчаных, пылеватых и глинистых частиц, возможно направленно изменять физико-механические свойства укрепленных грунтов в зависимости от области их применения. Гранулометрические добавки применяются в целях придания грунтам более высоких физико-механических свойств. Для этого в песчаные грунты вводят глинистые добавки, а в глинистые — щебень, гравий или песок. Количество вводимых добавок определяют расчетом или по нормативам.

Оптимальную грунтовую смесь составляют, смешивая два или три грунта различного гранулометрического состава. В этой смеси должно быть определенное соотношение песчаных глинистых и пылеватых частиц.

Оптимальные по гранулометрическому составу грунтовые смеси должны иметь определенную пластичность. Для того чтобы более точно установить процент глинистых частиц в дорожной одежде, должен быть принят во внимание климат. В сыром климате, где дорога большую часть времени находится во влажном состоянии, содержание глинистых частиц должно быть ниже, в засушливой местности — больше. Из этого следует, что в условиях влажного климата в оптимальных смесях должно быть больше песчаных частиц, а количество глинистых 3–10 %. В сухом климате количество глинистых частиц может достигать 15 %

Особенно актуально улучшение гранулометрического состава для местных дорог. Грунты, содержащие мало глинистых частиц, являются рыхлыми и в сухую погоду оно легко разрушается колесами проезжающего транспорта. Грунты с большим содержанием глинистых частиц в дорожной одежде в сухую погоду устойчивы, но в сырую погоду, после намокания, легко прорезаются и сильно налипают на колеса, вследствие чего дорога становится труднопроходимой.

Грунтовые смеси составляют для конкретных климатических условий, т.е. определенного режима влажности. В природных условиях только супеси в какой-то мере имеют оптимальный гранулометрический состав. Грунтовые смеси и грунты после ввода гранулометрических добавок тщательно перемешивают, укладывают и уплотняют до оптимального значения.

Перспективной при разработке этого направления является поиск способов введения гранулометрических и вяжущих добавок в слабые грунты для

достижения лучших показателей прочности земляного полотна, а также наименьшими затратами.

Эффективность введения гранулометрических добавок в грунт может оцениваться экспериментальным путем после проведения испытаний в лаборатории и определении пористости, пластичности, капиллярности, устойчивости к усадке и сдвигу, сжимаемости.

Для улучшения эффекта при введении гранулометрических добавок возможно применение гидрофобизирующих жидкостей, а также комплексных добавок, в том числе из отходов промышленности

Применение оснований с улучшенными свойствами слабых грунтов может давать существенный экономический эффект.

### Литература

1. Безрук В.М. Укрепленные грунты (свойства и применение в дорожном и аэродромном строительстве). - М.: Транспорт, 1982. - 231 с.
2. Вырко Н.П. Дорожное грунтоведение с основами механики грунтов / Н.П. Вырко, И.И. Леонович. Минск: Вышэйш. шк., 1977. 224 с.
3. Бабаскин Ю.Г. Технология строительства дорог. Минск: Новое знание, 2014. — 534 с.
4. Горельшев Н.В. Технология и организация строительства автомобильных дорог М.: Транспорт, 1992. — 551 с.
5. Вдовин Е.А., Мавлиев Л.Ф. Повышение качества местных укрепленных грунтов путем регулирования гранулометрического состава // Известия КГАСУ, 2011, № 4.
6. Казарновский В.Д. Основы инженерной геологии, дорожного грунтоведения и механики грунтов / В.Д. Казарновский. М. : МАДИ, 2007. 284 с.
7. СТБ 1521-2005. Материалы, укрепленные неорганическими вяжущими, для покрытий и оснований автомобильных дорог. Технические условия.
8. СТБ 943-2007. Грунты. Классификация.

## **Определение коэффициента динамичности в зависимости от величины неровности дорожного покрытия**

Солодка М.Г.

Белорусский национальный технический университет

*Динамические процессы взаимодействия автомобиля и дороги в различной степени определяются множеством факторов, к которым также относятся неровность дорожных покрытий и параметры движущихся автомобилей. Определены наиболее значимые из них и математически связаны значения динамических нагрузок автомобиля через коэффициент динамичности с качеством дорожного покрытия и скоростью движения транспортных средств по нему.*

Взаимодействие транспортного средства и автомобильной дороги, требует глубокого анализа показателей динамического воздействия транспортного потока на конструкцию автомобильной дороги, а также учета степени влияния неровности дорожного покрытия на колебания конструкции транспортного средства.

Изучение увеличения динамического воздействия нагрузки и, как следствие, накопления неровностей, необходимо при расчетах проектирования и эксплуатации автомобильных дорог, например в расчетах материального ущерба при проезде тяжеловесного и крупногабаритного транспорта.

Процесс движения автомобиля по дороге сопровождается воздействием шины его колес на дорожное покрытие в области, представляющей по своей конфигурации овал различной формы, зависящей от типа и грузоподъемности транспортного средства.

Шина рассматривается как элемент подвески автомобиля частично гасящий динамические нагрузки, оказываемые на дорогу. При кратковременном взаимодействии (тысячные доли секунды при скоростях движения более 60...100 км/ч) шина может рассматриваться как почти абсолютно жесткое тело, не деформируемое элементом высоты неровности. Упругий характер взаимодействия шины с неровностью дорожного покрытия рекомендуется учитывать через изменение радиуса кривизны нежесткого колеса при его взаимодействии с высотой неровности. Изменение жесткости колеса увеличивает радиус кривизны колеса в зоне контакта автомобиля с дорогой. Соответственно, для колес с меньшей жесткостью коэффициент динамичности будет меньше и наоборот.

Исследования показали, что величины прогибов невелики и определяются десятными долями миллиметра, при этом, чем выше скорость движения, тем меньше деформируется дорожная одежда, причем откосы прогиба неровности дорожного покрытия можно рассматривать как прямолинейные.

Касательные и вертикальные воздействия от колес транспортных средств на дорожное покрытие при движении имеют динамический характер и переменны по величине, направлению и статистическим показателям.

Динамические нагрузки автомобиля на дорогу увеличиваются при движении по неровной поверхности дорожного покрытия и сопровождаются ударами и колебаниями колес и кузова автомобиля.

Коэффициент динамичности нагрузки – коэффициент отражающий увеличение нагрузки (деформации) при динамическом воздействии по сравнению со статическим.

Величина коэффициента динамичности зависит от массы и загруженности автомобиля: для грузовых транспортных средств. Увеличение скорости движения сопровождается вначале быстрым ростом коэффициента динамичности, затем рост этой величины замедляется. Так при высоких скоростях он практически не меняется.

При расчете нагрузки на дорожную конструкцию отечественных нормативных документах коэффициент динамичности принимается равным 1,3. При значении  $K_{дин}$  больше нормативного, 1,3, нагрузки считаются динамическими перегрузками.

Для участков автомобильных дорог с неудовлетворительным показателем ровности коэффициенты динамичности необходимо рассчитывать в зависимости от величины неровности дорожного покрытия, осевой нагрузки автомобиля и скорости его движения, т.к. их величины очень различаются. В качестве показателя расчетного коэффициента динамичности эксплуатируемых автомобильных дорог необходимо использовать значение максимального коэффициента динамичности при движении по планируемому участку со скоростью 85 км/ч.

Максимальный коэффициент динамичности связан с неровностью дорожного покрытия и не отражает уровень динамического воздействия транспортных средств на всем участке автомобильной дороги. На неровных участках максимальные коэффициенты динамичности для грузового автомобиля могут превышать 2,0. Для моделирования динамического воздействия автомобиля на дорожное покрытие используется иммитационная модель, учитывающая высоту неровностей, которые влияют на колебания автомобиля.

Процесс движения транспорта по автомобильным дорогам имеет случайный характер. Поэтому уровень повреждаемости автомобилей и, естественно, дорог, по которым они перемещаются, также подчиняется законам случайных процессов.

Рассмотрена последовательность установления влияния эксплуатационного состояния дороги на формирование динамических нагрузок между автомобилем и дорогой.

Целью расчета было установление значимости факторов, определяющих величины максимальных динамических нагрузок 2-осных автомобилей, коэффициента динамически и характера изменения динамической нагрузки в зависимости от эксплуатационного состояния автомобильной дороги (в частности, от неровности покрытий). Для этого необходимо было рассмотреть функциональную зависимость:

$$K_{\text{дин}} = f(IRI, V_a). \quad (1)$$

Обработывая экспериментальные данные, позволило получить следующую зависимость (2), отражающей зависимость величины  $K_{\text{дин}}$  динамической нагрузки для задней оси автомобиля от основных влияющих факторов:  $IRI(x_1)$ ,  $V_a(x_2)$ .

Функциональная зависимость (1) примет вид:

$$K_{\text{дин}} = 0,816 + 0,027 \cdot x_1 + 0,0033 \cdot x_2 + 0,00072 \cdot x_1 \cdot x_2, \quad (2)$$

где  $x_1 \in [1; 8]$ ,  $x_2 \in [60; 100]$ .

По результатам выполненных расчетов и их анализа можно сформулировать следующие выводы:

- использование функциональной зависимости (1) для оценки влияния нескольких внешних факторов на оптимизацию коэффициента динамичности позволяет получить упрощенное эффективное и адекватное описание взаимодействия элементов в системе «автомобиль – дорога»;

- при исследовании влияния неровностей дорожного покрытия на максимальный коэффициент динамичности, используя функциональную зависимость (2) по степени влияния определены – показатель ровности дорожного покрытия и скорость автомобиля.

## Литература

1. Солодкая, М. Г. Определение влияния эксплуатационного состояния автомобильных дорог на динамические нагрузки автомобиля / М.Г. Солодкая, Я. Н. Ковалев // Автомобильные дороги и мосты. – 2010. – № 2(6). – С. 110–115.
2. Солодкая, М. Г. Исследование некоторых закономерностей в системе «автомобиль – дорога» / М. Г. Солодкая // Наука и техника. – 2013. – № 2. – С. 40–43.
3. Тагаев, К. А. Повышение транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог при текущем ремонте и содержании: автореф. дис. канд. техн. наук : 08.00.05 / К.А. Тагаев ; Ташк. автомоб.-дор. институт.

УДК 691.168

### **Теоретические основы деструктивного воздействия погодно-климатических факторов на поверхностный слой асфальтобетона**

Ходан Е.П.<sup>1</sup>, Игошкин Д.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Государственное предприятие «БелдорНИИ»

*Важнейшим свойством асфальтобетона, предопределяющим долговечность этого материала, является устойчивость его структуры в условиях изменяющегося влажностного и температурного режимов. Подобно большинству других пористых строительных материалов, асфальтобетон разрушается главным образом при длительном или периодическом увлажнении, а также в результате попеременного замораживания и оттаивания. Помимо разрушающего действия воды при ее замерзании в порах, адсорбционные слои воды, понижая поверхностную энергию, облегчают образование новых поверхностей в асфальтобетоне при ее деформировании. Расклинивающее действие водных пленок, разъединяющих минеральные зерна и отслаивающих битумные слои, усиливает разрушающий эффект [1].*

При длительном увлажнении вода проникает в поры асфальтобетона, частично насыщает битум, проникает через дефектные места битумных слоев к поверхности минеральных зерен. Все это способствует отслаиванию би-

тумных пленок, особенно при недостаточной адгезии их к поверхности минеральных частиц. В итоге эти явления приводят к ослаблению структурных связей в асфальтобетоне, что облегчает его разрушение под действием транспортных средств.

Еще более разрушительно действие воды, замерзающей в порах асфальтобетона или в порах содержащегося в нем каменного материала. Замерзающая вода, увеличиваясь в объеме, вызывает большие напряжения в стенках пор. В результате этого могут возникать микротрещины, заполняющиеся при оттаивании водой. Помимо ее расклинивающего действия, усиливающегося под действием переменных нагрузок транспортных средств, замерзающая в микротрещинах вода способствует развитию процесса разрушения асфальтобетона.

Коррозионные разрушения асфальтобетонных покрытий обычно проявляются в виде усиленного выкрашивания асфальтобетона или минеральных частиц, приводящего к большому износу покрытия и к образованию значительного количества отдельных разрушенных участков (выбоин).

Опыт эксплуатации асфальтобетонных покрытий показывает, что они особенно интенсивно разрушаются от атмосферной коррозии в период длительного увлажнения, а также во время оттепелей, которым предшествовало значительное количество знакопеременных колебаний температур.

Подобные разрушения, часто наблюдаемые в весеннее время, связаны с недостаточной коррозионной устойчивостью (недостаточной водо- и морозостойкостью) асфальтобетона. Недостаточная коррозионная устойчивость является наиболее частой причиной преждевременного разрушения асфальтобетонных покрытий во многих районах страны, особенно в районах избыточного увлажнения и с частыми знакопеременными температурами.

Таким образом, применение асфальтобетонов, более устойчивых против атмосферной коррозии, является одним из важнейших факторов, способствующих удлинению сроков службы покрытий [2].

Известно, что водостойкость асфальтобетона зависит от адгезии битума с поверхностью каменного материала, вязкости, свойств поверхности каменного материала, а морозостойкость - от характера пор в асфальтобетоне [3].

Исследование длительной водостойкости (240 суток) [4] асфальтобетонных систем показало, что наиболее устойчивым к воздействию воды является асфальтовяжущее вещество. С увеличением крупности заполнителя в системе наблюдается значительный рост водонасыщения. Если в асфальтовяжущем после 240 суток выдерживания в воде водонасыщение возрастает на 1 % – 1,5 %, то в асфальтобетоне – от 3 % до 5 %. При длительном контакте с водой большую роль играет диффузия воды сквозь битумную

пленку. Особенно это проявляется в асфальтобетонных смесях на битумах пониженной вязкости, имеющих низкую адгезионную способность.

Влияние водного фактора на прочность и деформационные свойства асфальтобетона проявляется значительно. При длительном или кратковременном, но часто повторяющемся контакте асфальтовых материалов и битумов с водной средой изменяется их структура, что наиболее отчетливо проявляется в изменении их структурно-механических свойств - прочности, вязкости, пластичности и т. п. Как правило, эти показатели технических свойств ухудшаются, так как вода является сильнодействующим агрессивным фактором. Ухудшение показателей структурно-механических свойств является прямым отражением процесса разрушения структуры асфальтового материала. Разрушение структуры происходит тем быстрее, чем интенсивнее диффузия.

Проникновение воды в асфальтобетон и битум практически трудно предотвратить, но можно затормозить проникновение, уменьшить количество и ослабить эффект воздействия воды на материал. Длительный контакт дорожных покрытий с водой, отмечается в весенний и осенний периоды. Сохранение равновесного состояния воды на наружной поверхности покрытий возможно при краевом угле смачивания, большем  $90^\circ$ .

Проникновение воды в асфальтовый бетон при длительном контакте с водной средой замедляется различными мероприятиями — уплотнением, очисткой покрытия от насосов и пр. Но полностью оно не предотвращается и начинается с гидрофилизации поверхности.

Следует отметить, что явление гидрофилизации отмечается даже у материалов гидрофобных — расплавленного воска, парафина, нафталина и др. Повышение смачиваемости происходит при длительном контакте битумов с водой. Н. К. Адам приходит к выводу, что «привыкание» обусловлено застреванием молекул воды в поверхностных слоях и повышением в связи с этим адгезии между поверхностью и водой. В последующий период происходит объемная диффузия воды. Проникновению воды в асфальтовый бетон способствует беспрепятственное распространение молекул вследствие теплового движения (энтропийный фактор) и внутреннего смачивания (энергетический фактор).

Неоднократно наблюдалось усиление диффузии воды в битум при периодически менявшихся температурах водной среды. При этом интенсивность процесса диффузии выражалась периодическим спадом и подъемом («пиками»), что отражает сложный путь молекул воды внутри битума, в том числе с движением их в направлениях, обратных диффузии внутрь. Усредненная зависимость между количеством продиффундированной воды и продолжительностью процесса согласуется с законом Фика и графически

выражается кривой с более или менее постепенным подъемом до равновесного состояния. Диффузия воды находится в зависимости от состава битума; по мере увеличения содержания асфальтенов количество протиффундировавшей воды понижается. Процесс диффузии воды в битум связан также с содержанием асфальтогеновых кислот, водорастворимых соединений и с химической природой битумов. При постоянном количестве водорастворимых веществ и при одинаковой химической природе количество свободных асфальтогеновых кислот и других полярных групп, внесенных в виде поверхностно-активных добавок, но полностью не израсходованных в процессе химического адсорбирования, оказывают основное влияние на повышение количества и интенсивности диффузионного проникновения воды в битумы и битумо-минеральные материалы.

Процесс диффузии также усиливается с увеличением водорастворимых веществ в битумах. Со временем диффундируемая вода способна частично или полностью вымывать их из битума, придавая при низких температурах битуму кавернозную или пористую текстуру.

Предложены различные методы определения степени понижения прочности асфальтовых материалов в водонасыщенном состоянии.

Одним из них является снижение пределов прочности образцов асфальтового бетона при испытании их на растяжение после многократного насыщения водой и последующего высушивания. Снижение прочности происходит вследствие того, что вода проникает через тонкую битумную пленку и в той или иной степени отесняет ее от поверхности минеральных материалов с нарушением сцепления на границе раздела этих компонентов монолита.

Отрицательное влияние водной среды усиливается при циклическом насыщении и высушивании, асфальтового материала, особенно в период первых циклов. Наблюдалось снижение прочностных показателей на 50 % и более после пятикратного циклического воздействия водно-тепловых факторов; при последующих циклах интенсивность несколько снижалась [5].

При длительном воздействии воды на асфальтобетон происходит увеличение остаточной пористости, водопоглощения (открытой пористости), снижение прочности и всех структурно-механических показателей. Более интенсивно по сравнению с водопоглощением в пресной воде эти изменения протекают в растворе хлорида натрия и еще более интенсивно в растворе нитрата кальция (наиболее агрессивной для асфальтобетона является нитратная среда).

Динамика этих изменений не одинакова у различных составов асфальтобетонных смесей. В различных агрессивных растворах щебенитые и песчаный асфальтобетоны ведут себя по разному. Так в воде и в 5 % растворе

NaCl всех сравниваемых щебенистых составов водопоглощение увеличивается примерно одинаково до значений 5,5 % (т.е. в 2,5 раза от начального значения). Более интенсивно пористость увеличивается в 5 % растворе нитрата кальция - нитрата магния - мочевины НКММ и у песчаного асфальтобетона достигает величины 6,2 % (в 3,6 раза от первоначального).

Показатель водопоглощения, определенный по стандартной методике, также увеличивается. Через 28 суток испытания максимальные значения 2,1 % получены у мелкозернистого асфальтобетона на известняковом щебне в 5 % растворе НКММ. Это еще раз подтверждает вывод о том, что более агрессивной для асфальтобетона является нитратная среда.

При положительных температурах прочность всех оцениваемых серий образцов снижается в среднем на 20 % - 30 %. Наиболее интенсивно это происходит в 5 %-ом растворе нитрата кальция (коэффициент длительной водостойкости на 28 сутки составил 0,70-0,75).

Иная тенденция наблюдается при испытаниях при нулевой температуре. В начальный период, примерно до 10–18 суток водопоглощения предел прочности при 0 °С растет на 10 %–15 %, причем интенсивнее в воде, а затем, уменьшается примерно до исходных значений. Это видимо, связано с увеличением жесткости битума в контактной зоне без заметного разрушения микроконтактной структуры асфальтобетона при этом температурном режиме испытания. Можно предположить, что в процессе водопоглощения и определении механических свойств при температуре испытания 0 °С, контактный (пленочный) и объемный битум в асфальтовом бетоне сохраняют еще достаточно пластических свойств.

Длительное воздействие воды и агрессивных растворов в первую очередь разрушают поверхностный слой испытываемых образцов. При этом коэффициент водостойкости поверхностного слоя достигает при воздействии воды значений – 0,42–0,60, раствора NaCl – 0,28–0,33, а НКММ – 0,32 [6].

Доказано, что совместное действие попеременного замораживания-оттаивания в присутствии химически агрессивной среды ускоряет деструктивные процессы, происходящие в асфальтобетоне. Процессы увеличения пористости и снижения прочности протекают динамичнее. Увеличение остаточной пористости разных асфальтобетонов в разных агрессивных средах достигает значений 5 %–8 %. Максимальную остаточную пористость показали составы мелкозернистой асфальтобетонной смеси на известняковом щебне и песчаной асфальтобетонной смеси. Это объясняется тем, что после нарушения сплошности пленки битума агрессивная среда начинает химически взаимодействовать с тонко- и грубодисперсными каркасными частицами минеральной части асфальтобетонных смесей (известняковый щебень, известняковый минеральный порошок).

Растворимые продукты химических реакций агрессивного раствора с карбонатом кальция вымываются из структуры (макро- и микро-) асфальтобетона, что способствует снижению плотности и, соответственно, увеличению остаточной пористости.

Факт разрушения структуры асфальтобетона подтверждается и увеличением открытой пористости материала - показатель водонасыщения растет. Увеличение водонасыщения тем больше, чем больше щебня в составе асфальтобетона. Это вызвано увеличением остаточной пористости.

С увеличением пористости происходит разрушение структуры материала. Это проявляется в образовании каверн, отслаивании пленки битума с поверхности каменного материала. При этом происходит и потеря прочности. Так предел прочности при сжатии после первых 50 циклов попеременного замораживания-оттаивания снижается на относительно незначительную величину (до 5 %–10 %), а при дальнейшем испытании на морозостойкость происходит более заметное снижение механических характеристик (до 40 %–50 %). Незначительное снижение прочности на первых этапах объясняет описанный ранее механизм, а именно что в начальный период испытания на морозостойкость структурные разрушения материала происходят, в основном, в поверхностном слое, а в дальнейшем, с увеличением числа циклов попеременного замораживания и оттаивания, происходят более глубокие необратимые деструктивные изменения в испытуемых образцах. Их позволяют количественно оценить стандартные методы, которые характеризуют в первую очередь объемные свойства всего образца из асфальтового бетона.

Максимальное снижение прочности при положительных температурах наблюдается у мелкозернистой асфальтобетонной смеси на известняковом щебне и у песчаной асфальтобетонной смеси, т.е. у смесей с большим содержанием карбоната кальция (в частицах щебня и минерального порошка). Это также подтверждает представленные ранее выводы о том, что эта горная порода при попеременном замораживании-оттаивании в присутствии противогололедных реагентов (после разрушения пленки битума химически активно взаимодействует с агрессивной средой, после чего растворимые продукты этих реакций легко вымываются из макро- и микроструктуры асфальтобетона. Это почти вдвое снижает прочность материала. При отрицательных температурах испытания наименее стойким после испытания на морозостойкость в агрессивных растворах является мелкозернистый асфальтобетон на известняковом щебне. Можно предположить, что после разрушения битумной пленки (микрорасщепленной структуры) в известняковый щебень агрессивный раствор проникает на большую глубину, и процессы разрушения макроструктуры протекают быстрее. Наиболее агрессивной по

отношению к асфальтовому бетону с химической точки зрения является 5 %-ный раствор нитрата кальция - нитрата магния - мочевины НКММ [6].

Вода в порах асфальтобетона при положительных температурах находится под нормальным атмосферным давлением. По мере понижения температуры ниже 0 °С вследствие кристаллизации льда возникает гидравлическое давление воды, оставшейся в жидком виде. Чем ниже температура замораживания, тем большее количество воды переходит в лед и тем большее создается гидравлическое давление. Картина резко меняется, если в порах наряду с водой имеется воздух. Обладая большой сжимаемостью, воздух будет гасить возникающее гидравлическое давление. Теоретически вероятность возникновения гидростатического давления и переохлаждения воды в порах асфальтобетона зависит от диаметра поры, температуры замораживания и количества воды в поре. Но ввиду неравномерности распределения диаметра пор и воды в материале, некоторые поры могут быть полнее заполнены и могут возникать местные гидравлические давления, которые с течением времени будут гаситься за счет отжатия воды из этих зон.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что на водо- и морозоустойчивость асфальтобетона большое влияние оказывают: плотность, однородность структуры и водопроницаемость асфальтобетона, а также характер имеющихся в нем пор; характер адгезии битума к поверхности минеральных зерен, водо- и морозостойкость используемых минеральных материалов, интенсивность процессов старения асфальтобетона.

### Литература

1. Асфальтовые смеси, материалы, подбор смесей и строительство автомобильных дорог. Научно-исследовательский и образовательный фонд Национальной Ассоциации по Асфальтовому Покрытию Lanham, Maryland, 2009.
2. Швагирева О. А. Исследование влияния противогололедных реагентов на изменение структуры и свойств асфальтобетона: автореферат, дисс. канд. техн. наук / О. А. Швагирева. М.: МАДИ, 1999. – 20 с.
3. Гезенцвей Л. Б. Дорожный асфальтобетон / Л.Б. Гезенцвей, Н.В. Горельшев, А. М. Богуславский, И.В. Королев: М.: Транспорт, 1985 г.
4. Фоменко Г. Р. Исследование структурно-механических свойств асфальтобетонов на битумах различной вязкости: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук - Харьков, 1980. – 210 с.
5. Рыбьев, И. А. Асфальтовые бетоны: Учебное пособие для строительных и автомобильно-дорожных вузов / И. А. Рыбьев, д-р техн. наук проф. – М.: Высшая школа», 1969. – 398 с.
6. Котлярский Э. В., Воейко О. А. Долговечность дорожных асфальтобетонных покрытий и факторы, способствующие разрушению структуры

асфальтобетона в процессе эксплуатации / Э. В. Котлярский, О. А. Воейко. Московский автомобильно-дорожный институт (Гос. технический университет). – М.: Техполиграфцентр, 2007. – 136 с.

УДК 625.855.3

## **Исследование влияния изменения физико-механических свойств на формирование структуры и доуплотнения свежееуложенного асфальтобетона**

Ходан Е.П., Кравченко С.Е.

Белорусский национальный технический университет

*Практика строительства дорог с асфальтобетонным покрытием показывает, что преждевременное открытие движения по участкам со свежееуложенными асфальтобетонными слоями может стать причиной появления остаточных деформаций в форме колеи. До настоящего времени неизвестно при каких температурах можно открывать движение по свежееуложенным слоям, чтобы с достаточной надёжностью предотвратить появление преждевременных деформаций. Эта проблема имеет большое значение, так как с одной стороны должны соблюдаться интересы заказчика: открытие движения без длительных задержек, а с другой стороны подрядчик заинтересован в том, чтобы разрешить движение в тот момент времени, когда не существует опасности преждевременного возникновения остаточных деформаций [1]. Эта проблема может быть решена только тогда, когда будут определены величины соответствующих температур, при которых можно открывать движение транспорта (или после какого промежутка времени), чтобы избежать опасности преждевременного возникновения остаточных деформаций.*

Причинами возникновения остаточных деформаций в свежееуложенных асфальтобетонных слоях на стадии охлаждения специалисты считают:

- 1) структурообразование в тиксотропном битуме;
- 2) пониженное давление воздуха в закрытых порах уплотненных асфальтобетонов при их охлаждении.

Согласно первой гипотезе, вязкость битума при одной и той же температуре испытания зависит не только от самой температуры, но и от того, изменяется ли эта температура, снижаясь с более высокого уровня, или, повышаясь с более низкого уровня.

Вторая гипотеза учитывает то обстоятельство, что при уплотнении свежесжатых асфальтобетонных слоев образуются закрытые поверхностные пустоты, в которых только из-за охлаждения возникает пониженное давление воздуха, которое дополнительно усиливается за счёт термически обусловленной объёмной контракции вяжущего и вызванным этим увеличением объёма закрытых пустот. Под воздействием этих процессов, подчиняющихся закону Бойля-Мариотта, асфальт испытывает предварительное напряжение, направленное на уменьшение общего объёма, которое может зависеть не только от температуры, но также от температурного перепада. Если на это предварительное напряжение накладываются сжимающие напряжения, вызванные транспортными нагрузками, то это может привести к деформациям, которые больше, чем те, которые могли бы появиться при постоянной температуре и постоянной транспортной нагрузке, если после повторного нагревания асфальтобетона воздух находится в закрытых пустотах под пониженным давлением.

*Исследование влияния температурных режимов на прочностные свойства асфальтобетона*

Для исследования влияния температурных режимов на прочностные свойства были изготовлены образцы асфальтобетона типа Б в соответствии с СТБ 1115 [2]. Часть образцов испытывалась сразу после изготовления, с условием, что температура образцов не снижалась ниже температуры проведения испытаний. Оставшиеся образцы испытывались по тем же методам испытаниям, но после выдерживания не менее 24 часов при температуре воздуха 20 °С ±2 °С.

Таблица 1. Результаты определения предела прочности при сжатии (среднее значение)

Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, МПа	
Испытание непосредственно после изготовления	Испытание после 24 часов
1,52	1,54

Результаты испытаний, приведенные в таблице 1 показывают, что время, прошедшее от изготовления до испытания образцов, не оказывает существенного влияния на значение показателя предела прочности при сжатии асфальтобетона.

*Исследование долговечности асфальтобетона*

Расчетный срок службы по критерию устойчивости к пластическим деформациям  $T_{пласт}$  определяют в соответствии с [3] по формуле

$$T_{пласт} = (K_{усл} \cdot H_{кр}) / (H_1 \cdot I_{расч} \cdot T_{50}),$$

где  $K_{\text{усл}}$  – коэффициент условий движения; для стесненных условий движения (мосты, путепроводы, тоннели) принимают 1,0, в остальных случаях – 1,3;

$H_{\text{кр}}$  – критическая деформация (допустимая глубина колеи); для расчетов принимают 0,01 м;

$H_1$  – величина пластической деформации (глубина колеи), м, после одного цикла воздействия колесной нагрузки при температуре 50 °С;

Ирасч – интенсивность движения по полосе расчетных автомобилей, авт./ч; определяют по результатам наблюдений за конкретным участком автомобильной дороги;

$T_{50}$  – количество часов в году с температурой покрытия 50 °С и выше, ч/год; определяется по данным метеостанций в каждом конкретном регионе; при отсутствии данных рекомендуется принять 190 ч/год.

Величина пластической деформации  $H_1$  определяется на цилиндрических образцах диаметром 100 мм, изготовленных в лабораторных условиях в соответствии с СТБ 1115.

Асфальтобетонные образцы подвергаются колесной циклической нагрузке при температуре 50 °С в установке циклического нагружения.

Колесо установки совершает возвратно-поступательное движение по испытуемой поверхности – один цикл нагружения. После завершения 1000, 2000, 4000, 6000, 8000, 10 000, 15 000 и 20 000 циклов нагружений измеряется глубина колеи в каждом образце.

Пластическую деформацию асфальтобетона после одного цикла нагружения  $H_1$ , м, определяют по формуле

$$H_1 = \frac{h_2 - h_1}{N_2 - N_1} * 0,01,$$

где  $N_1$  – минимальное количество циклов нагружений, принимаемое при расчете, равное 4000;

$N_2$  – максимальное количество циклов нагружений, принимаемое при расчете, равное 20 000;

$h_1$  – деформация образца после минимального количества циклов нагружений, мм;

$h_2$  – деформация образца после максимального количества циклов нагружений, мм.

Результаты испытаний, приведенные в таблице 2 и на рисунке 1 показывают, что время, прошедшее от изготовления до испытания образцов, оказывает существенное влияние на долговечность асфальтобетона.

*Испытание асфальтобетонных образцов на устойчивость к динамической ползучести проводилось в соответствии с EN 12697-24 [4]*

Сущность методики заключается в оценке изменения высоты асфальтобетонного образца под воздействием импульсной нагрузки, действующей параллельно его вертикальной оси, при температуре 40 °С, и последующем анализе соотношения упругой и пластической деформаций, деформации упругого последействия и определения коэффициентов аппроксимирующих функций максимальной деформации при циклической нагрузке и упругой составляющей деформации образца.

Таблица 2. Результаты определения расчетного срока службы по критерию устойчивости к пластическим деформациям

Условие проведения испытания	Деформация за 1 проход колеса, $1 \cdot 10^{-8}$ м	Расчетный срок службы, лет
Испытание непосредственно после изготовления	5,6	4,9
Испытание после 24 часов	5,1	5,4

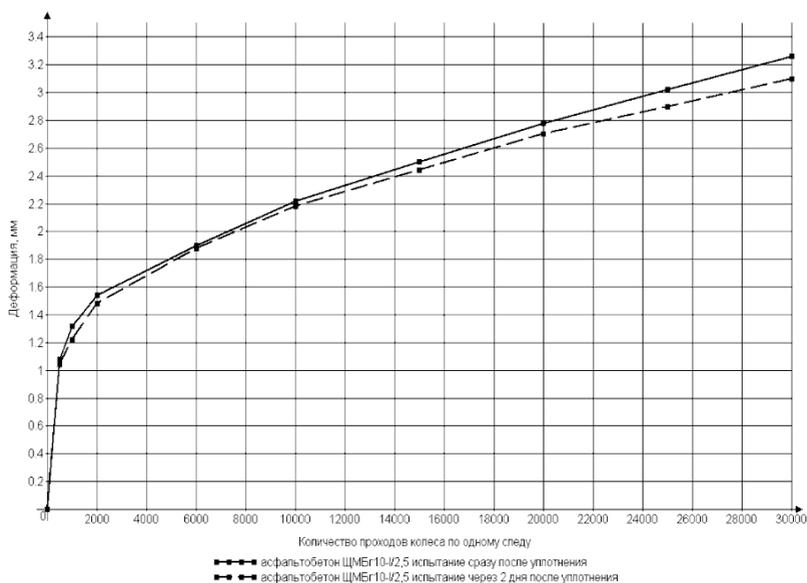


Рис. 1. Результаты испытаний

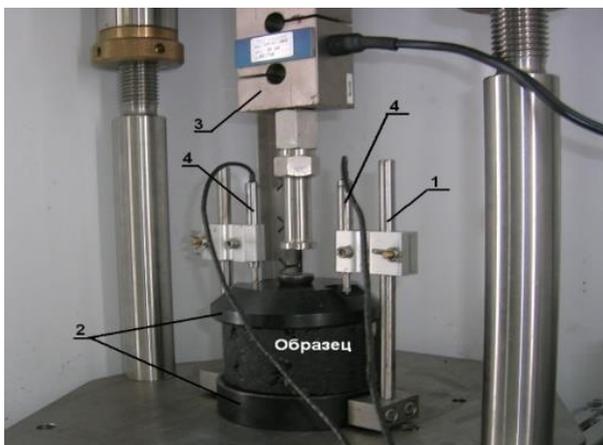


Рис. 2. Схема размещения образца в испытательном комплексе CRT NU 14, производитель Cooper Technology, Великобритания:  
 1 – испытательная рама; 2 – нагрузочные пластины; 3 – прибор периодического импульсного нагружения; 4 – датчики деформации

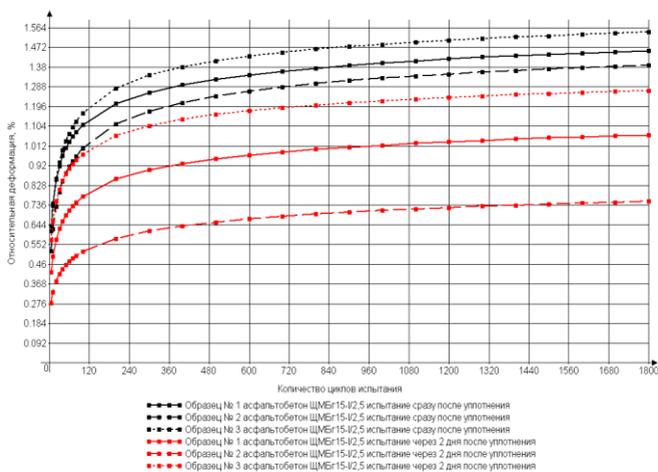


Рис. 3. Результаты определения динамической ползучести асфальтобетона

При проведении испытаний использовался испытательный комплекс Cooper Technology (рисунок 2), Система измерения деформации обеспечивает измерение вертикальной деформации в минимальном диапазоне 5 мм

с точностью  $\pm 0,1\%$  в измеряемом интервале. Результаты испытания асфальтобетонных образцов на устойчивость к динамической ползучести приведены на рисунке 3.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы: время, прошедшее от изготовления до испытания образцов, не оказывает существенного влияния на значение показателя предела прочности при сжатии асфальтобетона, но влияет на долговечность, устойчивость к динамической ползучести и доуплотнение асфальтобетона.

### **Литература**

1. Ходан, Е. П. О необходимости учета времени открытия движения по вновь устроенному асфальтобетонному покрытию / Е. П. Ходан, С. Е. Кравченко // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 16-й Международной научно-технической конференции. – Минск : БНТУ, 2018. – Т. 3. – С. 39.
2. СТБ 1115-2013. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Методы испытаний.
3. Рыбьев, И. А. Асфальтовые бетоны: Учебное пособие для строительных и автомобильно-дорожных вузов / И. А. Рыбьев, д-р техн. наук проф. – М.: Высшая школа», 1969. – 398 с.
4. EN 12697-24 Битумные смеси – Методы тестирования для асфальта горячей смеси – Часть 24: Усталостная прочность.

УДК 625.76

## **Использование комплексной передвижной диагностической дорожной лаборатории «ТРАССА» в учебном процессе при подготовке инженеров-дорожников**

Ходан Е.П., Соболевская С.Н.  
Белорусский национальный технический университет

«Теория без практики – мертва,  
практика без теории – слепа»  
А.В. Суворов

*Теория и практика в обучении - две неразрывно связанные стороны единого процесса познания. Пробуждение интереса студентов достигается путём внедрения в учебный процесс практико-ориентированного обучения.*

Проблема качества подготовки специалистов и их дальнейшего успешного трудоустройства делает актуальной ориентацию высших учебных заведений на способность их выпускников к практической реализации сформированных компетенций и ставит вопрос о целесообразности разработки механизма взаимодействия вузов и потенциальных работодателей [1].

На факультете транспортных коммуникаций активно проводится работа по внедрению практико-ориентированного обучения студентов.

Практико-ориентированное обучение – это вид обучения, преимущественной целью которого является формирование у студентов профессиональных компетенций практической работы, которые востребованы сегодня работодателями, а также формирования понимания того, где, как и для чего полученные компетенции применяются на практике.

Преподавание дисциплины «Диагностика автомобильных дорог» ставит цель изучить систему оценки и прогнозирования технического и эксплуатационного состояния автомобильных дорог и принятия управленческих решений.

В результате освоения дисциплины «Диагностика автомобильных дорог» студент должен уметь:

- оценивать техническое состояние автомобильных дорог;
- решать задачи по определению транспортно-эксплуатационных характеристик;
- проводить эксперименты в лабораторных и в дорожных условиях по оценке прочности, ровности, шероховатости, сцепных и светотехнических качеств дороги;
- определять виды дефектов и причины их возникновения;
- устанавливать степень дефектности и проектировать работы по повышению качества дорог;
- на основании данных дорожно-испытательных станций прогнозировать состояние дорог и выбирать адекватные меры по повышению безопасности движения и эффективности работы автомобильного транспорта.

В учебный процесс внедрена и успешно используется при проведении лабораторных и практических работ комплексная дорожная лаборатория КП 514СМП «Трасса» ООО «Спецдортехника» (рисунок 1), предназначенная для диагностики, паспортизации, контроля транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог.



Рис. 1. Комплексная дорожная лаборатория КП 514СМП «Трасса»

Данная лаборатория обеспечивает измерение основных геометрических параметров дорог (план трассы, продольный и поперечные профили), прочности дорожных одежд, сцепных качеств, ровности покрытия, интенсивности и состава движения, определения наличия и состояния конструктивных элементов дороги. Устанавливается на шасси базового автомобиля ГАЗ-3221.

Является аналогом таких лабораторий, как AMAC (Vectra, Франция), ARAN (Fugro, Канада), Road Surfase Vehicle (GREENWOOD Engineering, Дания), Hawkeye 2000 (ARRB, Австралия).

С помощью передвижной дорожной лаборатории измеряются:

- поперечная ровность;
- геометрические параметры (продольные и поперечные уклоны, радиусы кривых в плане и профиле, высотные отметки, видимость в профиле, пройденный путь);
- географические координаты;
- коэффициент сцепления и показатель ровности дорожного покрытия, с помощью динамометрического прицепа ПКРС-2У;
- продольная ровность, ровность по международной системе IRI;
- прочность дорожных одежд установкой динамического нагружения ДИНА;
- фиксируются параметры инженерного обустройства;

- выполняется панорамная видеосъемка с формированием банка видеоданных;
- определяются интенсивность и состав движения.



Рис. 2. Проведение лабораторных работ на опытном участке

Результаты измерений с помощью программы-конвертера экспортируются в автоматизированный банк дорожных данных «Титул-2005». Программный комплекс, входящий в состав АБДД «Титул-2005», позволяет производить оценку транспортно-эксплуатационного состояния автодорог, в том числе условий безопасности движения, планирование ремонтов, расчет средств на содержание дорог, оценку эффективности работы дорожных эксплуатационных предприятий [2].

Одной из задач мониторинга автомобильных дорог является выявление дефектов дорожного покрытия. Данная информация лежит в основе объективной оценки состояния дорог, прогнозирования его изменения и планирования ремонтных работ.

Модуль «**Электронный полевой журнал**» (рисунок 3) является составной частью программно-измерительного комплекса «**Дорога – 2011**», установленного на передвижной диагностической лаборатории.

Данная программа предназначена для фиксации объектов инженерного оборудования и обустройства дороги, объектов сервиса и автотранспортной службы, элементов придорожной полосы и полосы отвода.

Для фиксации объектов используется специализированная клавиатура, которая значительно упрощает работу, снижает риск ошибки оператора при фиксации объектов и характеристик автодороги.

В основу клавиатуры для фиксации характерных точек выбрана одна из надежных и долговечных клавиатур фирмы Preh (Германия). Данная клавиатура проста и удобна в использовании.

Ввод объектов в программу осуществляется по нажатию одной клавиши или простейшей комбинации нескольких клавиш. Все клавиши специализированной клавиатуры подписаны и имеют наглядное изображение характерного объекта или участка.



Рис. 3. Система «Электронный полевой журнал»

Модуль **«Видеодефектовка покрытия»** (рисунок 4) является составной частью программно-измерительного комплекса **«Дорога – 2011»**, установленного на передвижной диагностической лаборатории. Данная программа позволяет:

- производить видеосъемку покрытия автомобильной дороги линейной камерой с шириной захвата полосы 3,75 м и фиксацией дефектов размеров от 1 мм;
- выявлять дефекты дорожного покрытия (трещины, выбоины, просадки, проломы дорожной одежды и др.) и их геометрические характеристики (площадь, длина и др.);
- группировать дефекты по характерным участкам, с возможностью объединения соседних и исключения технологически коротких участков;
- выполнять оценку состояния покрытия и формировать отчетные документы в виде дефектной ведомости.



Рис. 4. Система фиксации дефектов дорожной одежды

Мы давно осознали, что практикоориентированность — важнейшее направление развития всей системы высшего образования. Для экономики важно, чтобы специалист сразу после студенческой скамьи мог активно влиться в работу и решать производственные задачи.

### Литература

1. Вяткина И. В. Возможности использования инновационных технологий в учебном процессе университета / И. В. Вяткина, С. В. Вьюгина // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». Том 1. – 2018. – С.247–288.
2. <http://sdtech.ru/store/lab/trassa/trassa.html>.

УДК 625.7

## **Информационное моделирование объектов транспортной инфраструктуры: о необходимости внедрения BIM-технологий в учебном процессе**

Шишко Н.И.

Белорусский национальный технический университет

*Информационное моделирование сооружений (BIM) – процесс коллективного создания и использования информации о сооружении, формирующей основу для всех решений на протяжении жизненного цикла объекта*

*(от планирования до проектирования, от выпуска рабочей документации до строительства, от эксплуатации до реконструкции или сноса).*

*В основе BIM лежит трехмерная информационная модель, на базе которой организована работа всех создателей и участников жизненного цикла объекта: инвестора, заказчика, проектировщика, подрядчика, эксплуатирующей организации и потребителей.*

*Важным аспектом в учебном процессе по подготовке специалистов строительной сферы является знакомство с BIM-технологиями на раннем этапе обучения специальных дисциплин и системное внедрение BIM-процессов.*

Иногда BIM-технология воспринимается всего лишь как 3D-модель для визуализации проекта и создания проектной документации. Но 3D-модель – это только «вершина айсберга».

Основа технологии BIM – это процессы, способы совместной работы с информацией об объекте строительства. Процессы регулируют работу с BIM-моделью, которая состоит из интеллектуальных объектов и параметрических взаимосвязей. Для каждого этапа работы над проектом прописан уровень детализации BIM-модели. Это позволяет принимать управленческие решения, имея всю необходимую информацию и при этом не перегружать информационную модель, а также своевременно принимать решения по устранению несоответствий.

Учебное заведение, имеющее в учебном процессе дисциплины специальности, основанные на BIM-технологии, с успехом способно подготовить специалистов высшей квалификации, которые будут понимать важность грамотного и рационального использования информации об объекте, специалистов, которые могут видеть необходимость взаимодействия всех структур, участвующих на каждом этапе жизненного цикла объекта.

Программное обеспечение – всего лишь 20 % BIM-технологии, основная составляющая информационного моделирования – это люди, управляющие информацией, процессы их взаимодействия и инструменты решения поставленных задач.

При подготовке специалистов для этапов планирования и предпроектных решений, а также проектирования объектов необходимо уделять внимание следующим аспектам формирования профессиональных навыков: создание концепт-модели будущего объекта, переходящей без потери данных на следующую стадию; многовариантное проектирование; получение технико-экономического обоснования; размещение объекта строительства в существующую инфраструктуру; представление проекта на рассмотрение; оценка стоимости вариантов; качественное проектирование согласно уста-

новленным срокам; создание информационной модели; коллективная работа территориально отдаленных коллективов; координация всех разделов; получение рабочей документации; однозначное понимание, кто и каким образом изменил данные; отсутствие дублирующихся данных.

Этапы подготовки к строительству и строительству, а также эксплуатация имеют специфические особенности, с которыми необходимо знакомить в учебном процессе на примере перспективных информационных моделей: взаимодействие проектного отдела со строительными организациями; подготовка организации и управления строительством; сроки-4D – календарный и сетевой график производства работ; стоимость – 5D-укрупненный расчет стоимости строительства; расчет потребности в материалах; организация и управление строительством; осуществление строительного надзора; отслеживание динамики выполнения работ; сравнение плана и факта; контроль отклонений (совмещение облака точек с моделью); своевременная сдача объекта; быстрый поиск информации по объекту строительства; достоверная информация; связь с системами эксплуатации.

У студентов должно быть четкое понимание что данные добавляются в информационную 3D-модель на протяжении всего жизненного цикла сооружения. Они необходимы для планирования бизнеса, проектирования, закупки материалов, координации работы на различных участках проекта, логистики, монтажных работ и сборки, строительства, передачи в эксплуатацию.

ВМ-технология позволяет объединить информацию, которой уже владеет организация, с новыми знаниями, которые появляются у нее. Она обеспечивает обмен данными между существующими системами и ВМ-моделью. Информационная модель становится поставщиком данных для системы закупок, системы календарного планирования, системы управления проектами, внутренней ERP-системы (Enterprise Resource Planning – «планирование ресурсов предприятия» – это класс систем для управления производством, трудовыми ресурсами, финансами и активами, ориентированных на оптимизацию ресурсов предприятия.) и других систем предприятия.

Особую роль играет определение уровня детализации ВМ-модели на каждом этапе жизненного цикла что является одним из ключевых элементов внедрения технологии ВМ. Проблемой может стать как нехватка информации, так и ее избыток. Модель должна содержать ровно тот объем данных, который позволит принимать необходимые и заранее определенные управленческие решения именно в тот момент, в который это необходимо. Квалифицированный специалист должен понимать кто и в какой момент закла-

дывает информацию в BIM-модель или получает ее, каким образом информация перемещается с одного этапа проекта на другой. Именно в этом состоит основа успешного применения BIM-процессов.

Вопрос коллективной работы при использовании BIM-технологии очень важен. Собственно, только при налаженных процессах совместной работы и управления данными можно в полной мере использовать преимущества BIM-модели – в первую очередь иметь шанс в любой момент получать любую находящуюся в модели информацию.

Важна для совместной работы в рамках BIM-процесса и возможность отслеживать актуальность проектной документации, которая включает в себя не только чертежи или модели, но и технические задания, выполненные в текстовых редакторах, а также любую другую проектную информацию, не поддерживаемую САПР.

В большинстве компаний технология совместной работы строится на основе файловой системы. Такая система имеет ряд недостатков, даже если и позволяет подключать к единой платформе большое количество «внешних» участников. В отличие от специализированных решений, файловая система не решает вопрос управления инженерными данными, не умеет избавлять пользователей от рутинных операций, небезопасна, требует большого внимания со стороны системного администратора и имеет целый ряд других значимых недостатков.

Продукты Autodesk®, предназначенные для совместной работы и управления данными, дополняют и усиливают возможности BIM, предоставляют пользователям более полную, точную, связанную цифровую информацию в любое время и в любом месте на протяжении всего жизненного цикла проекта. За эти задачи отвечают следующие продукты из линейки Autodesk®: Autodesk Vault (PDM-система (Product Data Management System), ключевое решение для совместной работы); Navisworks (решение для проверки архитектурно-строительных проектов и координации между различными разделами проекта); Buzzsaw (Облачное сервисное программное обеспечение (SaaS) для совместной работы географически распределенных групп); Revit Server (решение для работы над единой информационной моделью по глобальной сети).

Переход на технологию BIM – это процесс, который занимает некоторое время в зависимости от масштабности проекта и сложности объектов. Результаты и отдача от внедрения будут нарастать постепенно. Важно двигаться по пути внедрения, понимая основные этапы и правильным образом формируя ожидания всех участников проекта.

Выделяются три основные уровня зрелости BIM.

**УРОВЕНЬ № 1 – От САПР к BIM:** закладывается фундамент для внедрения BIM. Создаются основы управления проектами, формируются BIM-

стандарты. Внедряются процедуры взаимодействия с упором на обмен данными и их совместимость, проводится базовый анализ на основе модели: визуализация, поиск коллизий, 2D- и 3D-расчеты.

УРОВЕНЬ № 2 – Продвинутый BIM: по мере внедрения BIM повышается качество взаимодействия, интеграции данных и инженерных расчетов. Стандарты моделирования распространяются на новые типы проектов, внедряется прогрессивная технология управления инженерными данными, интегрированная в коллективный производственный процесс. Больше внимания уделяется совместному использованию информации. Проводятся новые виды расчетов и анализа.

УРОВЕНЬ № 3 – Интегрированный BIM: формируется интегрированная среда для всех специалистов, которая обеспечивает эффективное выполнение проектов, проведение инженерных расчетов и возможность управления эксплуатацией объектов. Высокий уровень управления с упором на качество и удобство эксплуатации. Модели и BIM-стандарты стабильны и могут применяться повсеместно с высокой эффективностью и выгодой. Совместная работа выходит на более высокий уровень, на основе модели предлагаются расширенные сервисы, повышается ее доступность. Открываются возможности более широкого анализа экологичности проекта, его жизненного цикла, организации строительных работ.

### Литература

1. Более эффективное проектирование и строительство с помощью BIM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autodesk.ru/bim>. – Дата доступа: 14.10.2020.

УДК 625.74

### **Теоретические предпосылки оценки эффективности работы удерживающих устройств на автомобильных дорогах общего пользования**

Шишко Н.И., Адашкевич В.И.

*Основной целью, с точки зрения безопасной и эффективной работы удерживающих устройств, являются следующие положения: при наезде в салон автомобиля не должны попадать детали ограждения, а также автомобиль, при наезде на ограждение, не должен опрокидываться через*

*ограждение или разворачиваться после наезда на конструктивные элементы удерживающего устройства, в том числе не должен происходить прорыв ограждения.*

В практике оценки эффективности работы дорожного ограждения существуют следующие критерии и параметры, сочетание показателей которых дает оценку эффективности работы удерживающих устройств [1]:

- Acceleration severity index (ASI) – индекс опасности ускорения: безразмерная величина, скалярная функция времени, выражающая измерение опасности хода автомобиля для человека, находящегося в транспортном средстве;

- Theoretical head impact velocity (THIV) - воздействие ударного ускорения на теоретическую голову: понятие, выработанное для оценки опасности удара для пассажиров транспортных средств, столкнувшихся с дорожными ограничительными системами;

- Post-impact head deceleration (PHD) – замедление скорости движения головы после удара: максимальное значение полученного ускорения, вычисленное из промежутка 10 мс, измеряемое в кратных единицах  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

- Occupant impact velocity (OIV) – скорость пассажиров при ударе;

- Occupant ridedown acceleration (ORA) – ускорение пассажиров после удара;

- Vehicle cockpit deformation index (VCDI) – индекс деформации кабины транспортного средства;

- Vehicle interior deformation index VIDI – индекс внутренней деформации транспортного средства.

Удерживающие устройства должны удовлетворять требованиям по уровню удержания, опасности удара и деформативности удерживающей системы, которые обеспечиваются рациональной конструкцией дорожного ограждения и правильностью его расположения в поперечном сечении автомобильной дороги [3].

При ударных испытаниях существует ряд критериев для транспортных средств, которые включают несколько уровней рабочих характеристик, допускающих выбор системы удержания, подходящих для условий дорожного движения и геометрических характеристик рассматриваемого участка автомобильной дороги [2]. Критерии для транспортных средств приведены в таблице 1.

Уровни удержания защитных барьеров должны удовлетворять требованиям при проведении испытаний в соответствии с критериями для транспортных средств при ударных испытаниях (таблица 2).

Таблица 1. Критерии для транспортных средств при ударных испытаниях

Испытание	Скорость в момент удара, км/ч	Угол удара градусы	Общая масса транспортного средства, кг	Тип транспортного средства
ТВ 11	100	20	900	Легковой автомобиль
ТВ 21	80	8	1300	Легковой автомобиль
ТВ 22	80	15	1300	Легковой автомобиль
ТВ 31	80	20	1500	
ТВ 32	110	20	1500	
ТВ 41	70	8	10000	Автомобиль с моноблочной рамой для перевозки тяжелых грузов (HGV)
ТВ 42	70	15	10000	
ТВ 51	70	20	13000	Автобус
ТВ 61	80	20	16000	Автомобиль с моноблочной рамой для перевозки тяжелых грузов (HGV)
ТВ 71	65	20	30000	
ТВ 81	65	20	38000	Автомобиль с шарнирно-сочлененной рамой для перевозки тяжелых грузов (HGV)

Уровни удержания под малым углом предназначены для использования только для временных защитных устройств. Испытание временных защитных устройств можно также проводить для уровней удержания повышенной степени.

Конструкция удерживающего устройства, успешно прошедшая испытание при данном уровне удержания, признается отвечающей условиям испытания более низкого уровня, за тем исключением, что N1 и N2 не включают T3.

Так как для проведения испытаний удерживающих устройств очень высокой степени удержания и их усовершенствования в различных странах используются значительно отличающиеся друг от друга типы тяжелых грузовых автомобилей, оба испытания ТВ 71 и ТВ 81 включаются в классификацию уровней удержания. Соответственно уровни удержания H4a и H4b не рассматриваются как эквивалентные, между ними нет иерархической связи.

Оценка удерживающей системы для транспортных средств в рамках уровней удержания T3, N2, N1, N2, N3, H4a, H4b требует проведения двух различных испытаний: испытание в соответствии с максимальным уровнем удержания для данной конкретной системы и дополнительно испытание с использованием легкового автомобиля (900 кг) для подтверждения того, что

достижение максимального уровня удержания для более тяжелой группы автомобилей также согласуется с безопасностью для легкового автомобиля.

Индексы оценки опасности соударения транспортного средства с удерживающей конструкцией в отношении пассажиров транспортного средства ASI, THIV и PHD должны удовлетворять требованиям, отвечающим за минимизацию последствий соударения.

Таблица 2. Уровни удержания

Уровни удержания	Испытание на приемку
Удержание под малым углом T1 T2 T3	ТВ 21 ТВ 22 ТВ 41 и ТВ 21
Нормальное удержание N1 N2	ТВ 31 ТВ 32 и ТВ 11
Удержание повышенной степени H1 H2 H3	ТВ 42 и ТВ 11 ТВ 51 и ТВ 11 ТВ 61 и ТВ 11
Очень высокая степень удержания H4a H4b	ТВ 71 и ТВ 11 ТВ 81 и ТВ 11

Технические классы А, В и С определены из совокупности значений индексов (таблица 3).

Таблица 3. Уровни опасности удара

Уровень опасности удара	Значения индекса	
А	$ASI \leq 1,0$	THIV $\leq 33$ км/ч PHD $\leq 20$ g
В	$1,0 < ASI \leq 1,4$	
С	$1,4 < ASI \leq 1,9$	

Уровень опасности удара А предоставляет более значительный уровень безопасности для пассажиров отклонившегося от пути транспортного средства, чем уровень В, а уровень В – чем уровень С (рис.1).

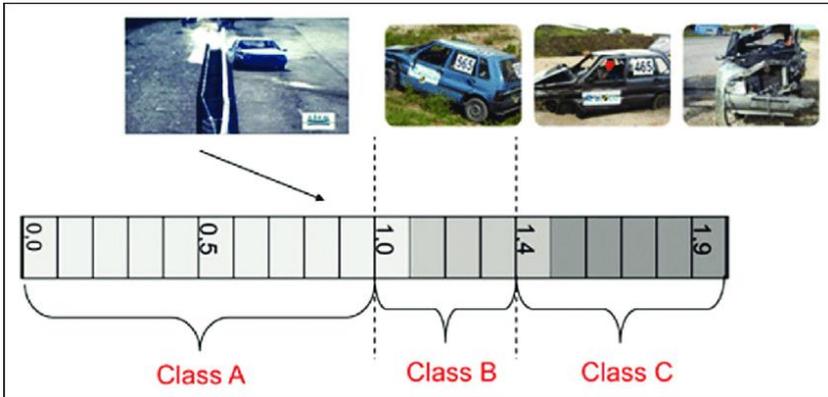


Рис. 1. Уровни опасности удара

Во многом тяжесть последствия от соударения с удерживающим устройством зависит от кинетической энергии удара и теоретического значения средней силы взаимодействия, что определяется массой транспортного средства, скоростью наезда и углом, под которым произошло столкновение с ограждением различной степени удержания.

Кинетическая энергия удара рассчитывается исходя из средней силы из кинематики, а также из условия кинетического баланса.

С точки зрения кинематики при столкновении с удерживающим устройством перпендикулярный барьеру центр тяжести транспортного средства должен отклониться от своего исходного положения, а скорость соударения учитывает угол наезда на удерживающую конструкцию:

$$v_n = v \cdot \sin \alpha \quad (1)$$

Если смещение и среднее ускорение центра тяжести транспортного средства изменяются в направлении, перпендикулярном барьеру, тогда среднее ускорение в первой фазе соударения принимается:

$$\bar{a}_n = \frac{v_n^2}{2 \cdot s_n} \quad (2)$$

Таким образом, средняя сила, действующая на массу транспортного средства в течении этой фазы соударения равна:

$$\bar{F} = M \bar{a}_n = \frac{M v_n^2}{2 \cdot s_n} \quad (3)$$

Значение средней силы из уравнения энергетического баланса определяется с учетом кинетической энергии транспортного средства в первой фазе соударения:

$$T = \frac{M \cdot V_n^2}{2} \quad (4)$$

В течении первой фазы кинетическая энергия транспортного средства должна быть сбалансирована поперечной силой, действующей на центр тяжести транспортного средства:

$$\frac{M \cdot V_n^2}{2} = \bar{F} \cdot S_n \quad (5)$$

Откуда:

$$\bar{F} = \frac{M \cdot V_n^2}{2 \cdot S_n} \quad (6)$$

Средняя сила соударения как функция смещения деформированного удерживающего устройства определяется исходя из величины смещения, на которое перемещается центр масс транспортного средства (рис.2).

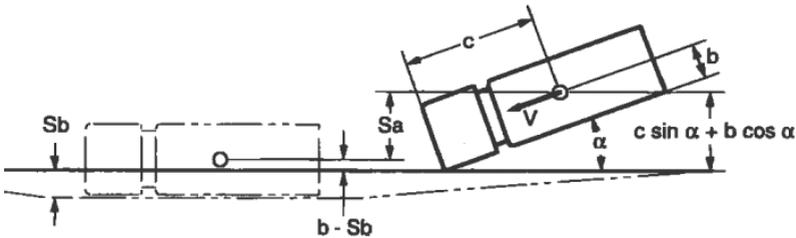


Рис. 2. Смещение центра тяжести (центра масс) при соударении

Расстояние смещения определяется из выражения в зависимости от максимального динамического прогиба стороны удерживающего устройства, обращенной к проезжей части, однако более точно эта величина должна определяться как сумма прогибов барьера и величины смятия транспортного средства:

$$S_n = c \cdot \sin \alpha + b \cdot (\cos \alpha - 1) + S_b \quad (7)$$

Объединяя предыдущие выражения, средняя сила определяется из выражения:

$$\bar{F} = \frac{M \cdot (v \cdot \sin \alpha)^2}{2[c \cdot \sin \alpha + b \cdot (\cos \alpha - 1) + S_b]} \quad (8)$$

Средняя сила определяет величину взаимодействия между транспортным средством и удерживающим устройством во время соударения, данная величина является первичной при оценке общей силы, воздействующей на конструкцию удерживающего устройства, и напрямую влияет на тяжесть последствий при соударении.

Сила соударения, усредненная относительно поперечного смещения центра масс, принимается равной:

$$\bar{F} = \frac{1}{S_n} \int_0^{S_n} F(S) dS \quad (9)$$

В таблице 3 приведены значения кинетической энергии, определенные относительно установленных классов рабочих характеристик удерживающих устройств, а также средние силы соударения, рассчитанные для некоторых значений смещения барьерного ограждения (динамического прогиба).

Таблица 3. Значения кинетической энергии и средней силы для установленных уровней удержания в зависимости от динамического прогиба

Уровень удержания	Кинетическая энергия, кДж	Прогиб поверхности, обращенной к движению, м					
		0,1	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0
		Средняя сила, кН					
T1	6,2	16,8	9,3	5,8	4,2	3,3	2,7
T2	21,5	36,5	24,2	16,7	12,7	10,3	8,6
T3	36,6	46,7	33,8	24,7	19,4	16,0	13,6
N1	43,3	59,2	42,0	30,3	23,7	19,4	16,5
N2	81,9	112,0	79,4	57,2	44,7	36,7	31,1
H1	126,6	93,6	76,6	61,7	51,6	44,4	38,9
H2	287,5	133,0	116,8	100,4	88,1	78,5	70,8
H3	462,1	266,4	227,1	189,8	163,0	142,9	127,1
H4a	572,0	311,3	267,6	225,4	194,7	171,4	153,1
H4b	724,6	269,1	242,1	213,6	191,1	172,8	157,8

## Литература

1. Системы дорожных ограждений. Часть 1. Термины и общие требования к методам испытаний: СТБ EN 1317-1-2009. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 68 с.
2. Системы дорожных ограждений. Часть 2. Барьеры безопасности. Классификация по рабочим характеристикам, приемка по ударным испытаниям и методы испытаний: СТБ EN 1317-2-2009. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 30 с.
3. Effect of various W-beam guardrail post spacings and rail heights on safety performance. First Published November 11, 2015 Mode of access: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1687814015615544>. – Date of access: 15.10.2020.

УДК 625.73

## Перспективные схемы устройства вертикального дренирования слабых грунтов

Шишко Н.И., Гатальский Р.К.

Белорусский национальный технический университет

*Современные подходы к проектированию транспортных объектов, а также перспективные технологии возведения с использованием широкого спектра дорожно-строительной техники различного назначения позволяют использовать в качестве строительной площадки или основания практически любые имеющиеся геолого-гидрологические условия, в том числе площади с залеганием слабых грунтов.*

Транспортное строительство в силу своих особенностей: значительная линейная протяженность объектов, зачастую сталкивается с задачами учета различных часто изменяющихся геолого-гидрологических условий на строительной площадке объекта. Залегание слабых грунтов, имеющих прочность на сдвиг в условиях природного залегания менее 0,075 МПа или модуль осадки более 50 мм/м при нагрузке 0,25 МПа, может оказывать существенное влияние на сроки строительства. К слабым грунтам относят торф и заторфованные грунты, илы, сапропели, глинистые грунты с коэффициентом консистенции более 0,5, а также техногенные отложения.

Земляное полотно автомобильных дорог и транспортных объектов на слабых грунтах следует проектировать в комплексе с дорожной одеждой с

учетом общих требований, а также дополнительных требований, обусловленных особенностями слабых грунтов:

устойчивости – не допускается возможность выпора (или выдавливания) слабого грунта из-под насыпи в период ее эксплуатации;

стабильности – не допускается устройство дорожной одежды до завершения консолидации слабого грунта в основании насыпи;

прочности – упругие прогибы и колебания дорожной одежды и насыпи, вызываемые действием транспортной нагрузки, не должны превышать значений, допустимых для принятого типа покрытия.

Возведение земляного полотна транспортных объектов при наличии участков залегания со слабыми грунтами требует специализированного расчета режима возведения для реальной оценки сроков строительства с учетом консолидации слабых грунтов.

Зачастую время консолидации слабых оснований в силу физико-механических характеристик и свойств этих грунтов существенно может затягивать сроки строительства и сдачи объектов в эксплуатацию. В таком случае необходимо предусматривать мероприятия по ускорению процесса консолидации и повышению устойчивости слабых оснований.

Перспективным направлением, решающим задачи по использованию слабых грунтов, является применение вертикального дренирования слабой толщи.

Ускорение консолидации основания вертикальными дренами или дренажными прорезями происходит за счет значительного сокращения пути фильтрации воды, отжимаемой из грунтовой массы при уплотнении весом насыпи. Вертикальные дренаи позволяют ускорить осадку по сравнению с плавающей насыпью в десятки раз.

Вертикальные дренаи или дренажные прорези быстро снимают напор, возникающий в порах водонасыщенного грунта после приложения внешней нагрузки. Поэтому сопротивление сдвигу основания с дренами возрастает значительно быстрее, чем без дренирования.

Вертикальные дренаи или дренажные прорези изменяют общую упругость массы болотного грунта, поэтому упругие просадки на поверхности земляного полотна с вертикальными дренами примерно в 3 раза ниже, чем без дренаи.

Вертикальные дренаи устраивают в слабых водонасыщенных грунтах с целью ускорения консолидации основания за счет сокращения пути фильтрации воды, отжимаемой из слабой толщи при консолидации. Вертикальные дренаи способствуют ускорению уплотнения слабого грунта с соответствующим повышением его сопротивляемости сдвигу, поэтому их можно устраивать также в целях повышения устойчивости основания.

Вертикальные дрены эффективны в водонасыщенных органических и минеральных сильносжимаемых грунтах мощностью не менее 4 м с коэффициентом фильтрации не менее  $1 \cdot 10^{-4}$  м/сут. Устраивать вертикальные дрены в плотных глинистых грунтах, а также в малоразложившемся неуплотненном слое торфа нецелесообразно. Эффективность дрен повышается в случаях, когда дренируемая толща имеет более высокую горизонтальную проницаемость, например вследствие наличия прослоек дренирующего грунта.

Вертикальные дрены выполняют в виде скважин, заполняемых песком. Диаметр скважин должен быть от 40 до 60 см с учетом технических параметров применяемого оборудования. Для заполнения вертикальных дрен применяют песок с коэффициентом фильтрации не менее 6 м/сут.

Эффективность вертикальных дрен значительно повышается при добавке к материалу заполнения 5–18 % (по массе) извести. При применении вертикальных дрен насыпь или ее нижнюю часть толщиной не менее 50 см следует устраивать из дренирующих грунтов с коэффициентом фильтрации не менее 3 м/сут.

В зависимости от водопроницаемости грунта и требуемого срока стабилизации осадки расстояние между дренами изменяется от 2 до 4,5 м.

Упрощенной разновидностью вертикального дренирования являются продольные дренажные прорезы. Их устройство целесообразно при мощности слабого слоя до 4 м и возможности сохранения в слабом грунте вертикальных откосов в течение времени, необходимого для заполнения прорезы дренирующим грунтом.

Расстояние между дренажными прорезями ориентировочно назначают в пределах 1,5–3 м и проверяют расчетом. Ширина прорезей назначается в зависимости от параметров рабочего органа применяемого оборудования и составляет обычно 0,6–1 м.

Для заполнения прорезей используют песок, с коэффициентом фильтрации не менее 3 м/сут.

Технологическая схема устройства вертикального дренирования принимается исходя из имеющихся геолого-гидрологических условий по длине строительной площадки, а также в зависимости от изменчивости ее на близлежащих участках [1].

Предварительная оценка влияния вертикальных дрен (дренажных прорезей) на срок стабилизации осадки определяется из выражения:

$$t_{др} = \frac{t_{стр} \left(\frac{l}{2}\right)^2}{H_{\phi}^2} \quad (1)$$

где  $t_{стр}$  – сроки строительства, в сут;

$l$  – расстояние между дренами (прорезями), в м;

$H_{\phi}$  – расчетный путь фильтрации воды, отжимаемой из уплотняемого слоя при отсутствии дрен, принимаемый равным фактической мощности слабой толщи (при ее одностороннем дренировании) или половине этой мощности (при двухстороннем дренировании).

Для проверки правильности назначенных расстояний между дренами или прорезями рассчитывается степень консолидации основания:

$$U_{общ} = 100 - 0,01 \cdot (100 - U_r) \cdot (100 - U_v) \quad (2)$$

где  $U_r, U_v$  – коэффициенты консолидации при выжимании воды в горизонтальном и вертикальном направлении соответственно, определяются графическим способом в зависимости от соотношения геометрических размеров дренирования, а также относительно мощности залегания слабых грунтов (при проектировании дренажных прорезей) и факторов времени отжатия поровой воды в горизонтальном и вертикальном направлении  $K_{\phi}^{cp \text{ в3в}}$ .

Факторы времени рассчитываются по следующим формулам:

$$T_{гор} = \frac{K_{\phi}^{cp \text{ в3в}} \cdot (1+e_o)}{\Delta a \cdot l^2} \cdot t_{стр} \quad (3)$$

$$T_{верт} = \frac{K_{\phi}^{cp \text{ в3в}} \cdot (1+e_o)}{\Delta a \cdot H_{\phi}^2} \cdot t_{стр} \quad (4)$$

где  $K_{\phi}^{cp \text{ в3в}}$  – средневзвешенное значение коэффициента фильтрации слабой толщи, определяемое в зависимости от фильтрационных свойств каждого слоя слабого торфяного основания, м/сут определяется исходя из значения степени разложения торфа ( $R$ , %) в зависимости от величины нагрузки на слабое основание от веса возводимой насыпи  $P_{расч}$  (в МПа) в соответствии с таблицей 1;

$e_o$  – средневзвешенная пористость торфяной толщи, в %;

$H$  – мощность слабого основания, м;

$\Delta a$  – параметр консолидационной кривой;

$l$  – назначенное расстояние между дренами, м;

$H_{\phi}$  – расчетный путь фильтрации воды, отжимаемой из уплотняемого слоя при отсутствии дрен, принимаемый равным фактической мощности слабой толщи (при ее одностороннем дренировании) или половине этой мощности (при двухстороннем дренировании), м;

$t_{стр}$  – срок строительства, в сутках.

Таблица 1. Значения коэффициента фильтрации  $K_f$  различных видов торфа в зависимости от нагрузки  $P_{расч}$

Вид торфа по степени разложения $R$ , %	Коэффициент фильтрации $K_f$ , м/сут при нагрузках $P_{расч}$ , МПа			
	0,025	0,050	0,075	0,100
Степень разложения < 25	$1,00 \cdot 10^{-2}$	$2,00 \cdot 10^{-2}$	$3,00 \cdot 10^{-2}$	$4,00 \cdot 10^{-2}$
Степень разложения 25 - 40	$0,15 \cdot 10^{-2}$	$0,45 \cdot 10^{-2}$	$0,75 \cdot 10^{-2}$	$1,00 \cdot 10^{-2}$
Степень разложения > 40	$0,01 \cdot 10^{-2}$	$0,06 \cdot 10^{-2}$	$0,11 \cdot 10^{-2}$	$0,15 \cdot 10^{-2}$

Полученное значение  $U_{общ}$  сопоставляется со значением требуемой степени консолидации слабого основания, позволяющей последующее возведение дорожной одежды  $U$  (таблица 2).

Таблица 2. Степень консолидации  $U$

Расчетная осадка сжатия $S_{сж}$ , см	Требуемая степень консолидации $U$ для типа дорожной одежды			
	капитального	облегченного	переходного	низшего
До 30 включ.	0,90	0,85	0,80	0,75
Св. 30 вкл. 100	0,95	0,90	0,85	0,80
Св. 100 вкл. 170	0,96	0,92	0,87	0,82
Св. 170	0,98	0,95	0,90	0,85

Если отклонение не превышает 5 % принятое расстояние между дренами и диаметр дрен (расстояние между дренажными прорезями и их ширина) закладываются в проект.

Вертикальное дренирование широко применяется во многих странах мира (Швеция, Япония, Франция, Англия, США, Италия, Финляндия и др.). В целях обеспечения надежности эксплуатации сооружений с использованием вертикальных дрен были построены международные аэропорты в Сингапуре и Ираке, высотные здания в Хельсинки, морской порт Сибари (Италия), защитные дамбы в Японии.

В настоящий момент получили развитие новые методы устройства песчаных дрен. К ним относятся заглубление с применением открытой трубы, при помощи бурения сплошным или спиральным буром, намывом и др. Кроме того, разработан целый ряд конструкций вертикальных дрен. Сюда входят традиционные круглого сечения песчаные дрены, песчаные щели, песчаные дрены предварительного изготовления типа «sandwicks» и боль-

шая группа плоских дрен с фильтрами из различных материалов (картонные, пластмассовые, нетканые и др.) и сердечниками различной формы при наличии соответствующих технологий монтажа [2].

Одной из наиболее перспективных свайных технологий на сегодняшний день является устройство песчаных дрен в геосинтетической оболочке. Данная технология позволяет возводить насыпи автомобильных и железных дорог, грунтовые платформы и площадки (в том числе в гидротехническом строительстве и портовых сооружениях) на слабых и очень слабых основаниях, в том числе обводнённых.

Применение такого рода свай в оболочке из геоматериала особенное эффективно в грунтах, обладающих структурной прочностью, т.к. позволяет ограничить напряжение в грунте величиной структурной прочности, резко уменьшить осадку и повысить устойчивость основания насыпи. При определенном расстоянии между песчаными сваями (порядка трех-четырех метров), сваи образуют сплошной массив армированного уплотненного грунта. Улучшение прочностных и деформационных характеристик грунта в теле сваи и зоне уплотнения приводит к увеличению несущей способности основания, что позволяет передать на модифицированные грунтовые основания большие удельные нагрузки.

Геооболочки производятся из полимерных волокон. В песчаной дрене они играют не только роль разделяющей прослойки между грунтом основания и минеральным заполнителем сваи, но и выполняют армирующую функцию. При заполнении дренирующим грунтом сваи одновременно выполняют функцию вертикальных дрен. В конечном счете, нагрузка передаётся на нижележащий несущий слой минерального дна.

В зависимости от несущей способности грунтов основания, текстильно-песчаные сваи могут быть установлены, как способом вибропогружения обсадной трубы, так и способом выемки, с помощью шнека, грунта основания под обсадную трубу.

Метод применения песчаных свай относительно дешев, прост в осуществлении, не требует сложного оборудования. Этот метод может применяться везде, где есть песок. При этом качественные требования к песку могут быть довольно ограниченными.

Вертикальное дренирование слабых оснований способно значительно повысить несущую способность основания, сократить сроки строительства и как следствие увеличить темпы дорожно-строительных работ на территориях, ранее считавшихся непригодными.

## Литература

1. Проектирование земляного полотна автомобильной дороги на слабом основании [Электронный ресурс]: методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Изыскания и проектирование автомобильных дорог» для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» / Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Автомобильные дороги»; сост.: Н.И. Шишко, Р.К. Гатальский. – Минск: БНТУ, 2019.
2. Применение вертикальных дрен при уплотнении слабых водонасыщенных грунтов / А.А. Кисляков, В. П. Грахов, Ю.Г. Кислякова / Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – №1(23). – С.124–126.

УДК 625.72

### **Применение технологии информационного моделирования КРЕДО в учебно-образовательном процессе**

Шохалевич Т.М, Каредин В.С., Шишко Н.И.  
Белорусский национальный технический университет

*Рассмотрена актуальность применения систем автоматизированного проектирования в учебно-образовательном процессе, в частности, программный комплекс КРЕДО. Предложена технология информационного моделирования (ВИМ/ТИМ) в рамках учебно-образовательного процесса кафедры «Автомобильные дороги». Выполнен анализ линейки программных продуктов КРЕДО с целью расширения перспективных возможностей их применения при подготовке молодых специалистов, успешно владеющими современными технологиями проектирования автомобильных дорог в условиях нового строительства, реконструкции и ремонта.*

Активное развитие систем автоматизированного проектирования и изменение ряда требований стандартов, как республиканских, так и международных в области линейного строительства в первую очередь затрагивает сферу образования, так как, требует подготовки высококвалифицированных и образованных специалистов. Для обеспечения реализации этих требований необходимо выработать новые эффективные механизмы и методы обучения, позволяющие создать необходимый баланс между теоретическим знаниями и способностью реализации их на практике [1]. Выполнение по-

ставленных целей возможно при обеспечении гибкой и вариативной системы высшего образования, оснащении инновационными учебно-практическими материалами и образовательными программами, мотивации обучающихся к получению знаний, вовлечении в образовательный процесс многообразных средств информатизации, как в учреждении образования, так и дома, формирование образовательной среды на базе «облачных» технологий.

С целью внедрения технологии BIM/TIM (технология информационного моделирования) при строительстве объектов за счет средств республиканского бюджета Министерством архитектуры и строительства к 2022 году планируется создание единой цифровой платформы, подготовка нормативной документации, запуск и реализация нескольких пилотных проектов. Полноценный переход к новым технологиям требует подготовки квалифицированных специалистов в сфере информационного моделирования как для строительной отрасли, так и для области линейного строительства [2].

Кафедра «Автомобильные дороги» факультета транспортных коммуникаций БНТУ проводит обучение будущих специалистов в сотрудничестве с компанией «КРЕДО-ДИАЛОГ». Компания «КРЕДО-ДИАЛОГ» входит в число ведущих разработчиков отечественного инженерного ПО для производства инженерных изысканий, проектирования объектов транспортного строительства и ПГС.

Сотрудничество кафедры «Автомобильные дороги» факультета транспортных коммуникаций Белорусского национального технического университета с компанией «КРЕДО-ДИАЛОГ» продолжается с 2001 года и основано на налаженной совместной работе кафедры «Проектирование дорог» и разработчика программного обеспечения по внедрению передовых технологий проектирования в учебный процесс высшего учебного заведения. С 2013 года взаимодействие стало более активным, в связи с созданием на базе компании филиала профилирующей кафедры «Проектирование дорог» факультета транспортных коммуникаций БНТУ. Такое взаимодействие обеспечивает обучающий процесс современными технологиями «КРЕДО» и позволяет использовать опыт и знания специалистов компании в образовательной деятельности университета.

Подготовка специалистов с навыками информационного моделирования в линейном строительстве, потребовало от кафедры «Автомобильные дороги» изменить подход и саму методику организации учебного процесса, который сегодня включает в себя: лекционную часть, рассматривающую теоретические аспекты ТИМ (для наглядности применяется мультимедийное оборудование, позволяющее продемонстрировать функциональные воз-

возможности ПО); лабораторные занятия, основывающиеся на выполнении индивидуальных заданий студентами по проектированию полноценных информационных моделей дорог. Предусмотрена возможность удаленного доступа к системам КРЕДО для выполнения индивидуальных заданий, курсовых работ и дипломного проектирования. Обучение студентов становится доступнее, интереснее и эффективнее.

На сегодняшний день комплекс КРЕДО состоит более чем из 20 связанных программных модулей для решения различных задач. Все они объединены в единую технологическую цепочку обработки информации – от производства инженерных изысканий и проектирования до последующей эксплуатации объекта. Каждая из систем комплекса позволяет не только автоматизировать обработку информации в различных областях (инженерно-геодезические, инженерно-геологические изыскания, проектирование и другие), но и сформировать единое информационное пространство, описывающее исходное состояние территории (модели рельефа, ситуации, геологического строения) и проектные решения создаваемого объекта [3].

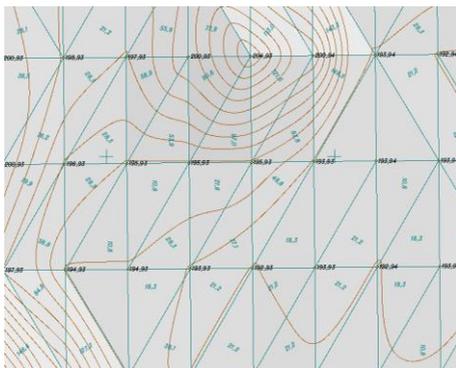


Рис. 1. Цифровая модель рельефа по on-line данным геоинформационных систем (Google Maps)

Первый этап изучения системного комплекса КРЕДО проходит в рамках дисциплины «Сетевые технологии и базы данных». Разработана учебная программа, в соответствии с которой студентов второго курса знакомят в том числе и с задачами инженерных изысканий. На лабораторных занятиях в системе КРЕДО ДОРОГИ изучают основные подходы по созданию цифровых моделей местности инженерного назначения. Работа ведется с растровыми подложками различных форматов и по on-line данным геоинформационных систем (Google Maps, Bing Maps). Итоговым результатом является получение цифровой информационной модели местности с формированием площадных и линейных объектов ситуации.

Дальнейшее обучение автоматизированному проектированию дорог проводится на 3 и 4 курсах в системе КРЕДО ДОРОГИ с изучением возможностей дополнительных систем и модулей, таких как, ГРИС (расчет пропускной способности труб и малых мостов), КРЕДО РАДОН (расчет конструкции дорожных одежд), КРЕДО СЪЕЗДЫ, КРЕДО ОРГАНИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ (обустройство), КРЕДО ЗНАК (знаки индивидуального проектирования).

Освоение учебной дисциплины «САПР автомобильных дорог» в соответствии с образовательным стандартом ОСВО 1-70 03 01-2013 должно формировать у выпускника следующие компетенции:

ПК-3. Обеспечивать разработку, сопоставление и выбор наиболее оптимального варианта автомобильной дороги с проведением технико-экономического обоснования;

ПК-5. Знать построение математических моделей пространственных расчетов транспортных сооружений, применять методы строительной механики и механики для расчетов, в том числе с использованием численных методов и проведением автоматизированных расчетов.

Таблица 1. Распределение аудиторных часов по дисциплине САПР автомобильных дорог

Очная форма получения высшего образования					
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Практические занятия, ч.	Форма текущей аттестации
3	6	18	34	-	зачет
4	7	16	32	-	зачет
4	8	16	16	-	зачет
Заочная форма получения высшего образования					
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Практические занятия, ч.	Форма текущей аттестации
4	8	4	10	-	зачет
5	9	2	10	2	зачет
5	10	4	14	-	зачет

ПК-6. Выполнять конструктивные расчеты элементов автомобильных дорог и транспортных сооружений с учетом нормативных документов.

Согласно учебному плану на изучение учебной дисциплины отведено:

- для очной формы получения высшего образования всего 229 ч., из них аудиторных 132 часа;

- для заочной формы получения высшего образования 229 ч., в том числе аудиторных 46 часов.

Распределение аудиторных часов по курсам, семестрам и видам занятий для очной и заочной форм образования приведено ниже.

Проектирование автомобильной дороги и освоение дополнительных задач ведут поэтапно, в соответствии с намеченной учебной программой. В рамках изучения BIM-технологий и освоения программы КРЕДО ДОРОГИ перед обучающимися поставлена итоговая задача по созданию полноценной сводной информационной 3D-модели дороги с необходимым инженерным обустройством.

На начальном этапе проектирования студенты 3 курса выполняют трассирование двух альтернативных вариантов дороги, на основе полученной в предыдущем семестре цифровой модели местности инженерного назначения, созданной по данным картографического материала или on-line данных ГИС. Изучаются возможности программы по обеспечению плавности трассы и безопасного движения автомобиля с переменной скоростью, так называемых, самопосягающих дорог. Такая возможность реализована в системе при помощи переходных кривых по типу VGV\_Kurve. Применение шаблонов всех технических категорий дорог, обеспечивают быстроту, точность и легкость воспроизведения геометрии дорожного полотна [4].

Далее выполняют проектирование продольного профиля оси трассы двумя способами: при помощи метода интерактивного проектирования и оптимизацией. В новой версии КРЕДО ДОРОГИ производится расчет сплайн-оптимизации с заданной необходимой плавностью продольного профиля. При этом учитываются требования степени соответствия параметров автомобильной дороги нормативным значениям. Проектирование земляного полотна дороги (заложение откосов, кюветы, полки и т.п.) выполняется на основе шаблонов поперечников, которые хранятся в библиотеке разделяемых ресурсов. Анализируя параметры высоты насыпи или глубины выемки, программой автоматически создаются характерные поперечные профили. Моделирование виражей выполняют с учетом особенностей создания и редактирования интервалов конструкции виража. Для анализа выполненного расчета используют графики расчетной скорости, кривизны, центробежного ускорения, коэффициента поперечной силы.



Рис. 2. Участок развязки в окне 3D- вид с разработкой проекта ОДД

С технологией работы в программах ГРИС, РАДОН, модулем СЪЕЗДЫ студенты знакомятся в 7 семестре. На лабораторных занятиях рассматриваются общие и индивидуальные задания по проектированию горизонтальной и вертикальной планировки простых и канализованных съездов, автобусных остановок, стоянок и других элементов генерального плана дороги; устройство инженерных коммуникаций; выполняют расчет и формирование ведомостей объемов земляных работ, углов поворота прямых и кривых, элементов плана трассы; формирование и печать чертежей плана, продольного и поперечных профилей земляного полотна.

Изучение новейших технологий проектирования ремонта и реконструкции автомобильных дорог, а также площадных объектов строительства предусмотрено в 8 семестре. Проектирование ремонтных мероприятий участка автомобильной дороги предусмотрено с частичным сохранением существующего направления и проложением оси трассы по новому направлению с частичным использованием старого. Формирование интервалов с различными типами ремонта и устройством новой дорожной одежды система выполняет автоматизировано по заданным условиям, проводя анализ поперечников, в результате которого формируются интервалы с различными типами ремонта.

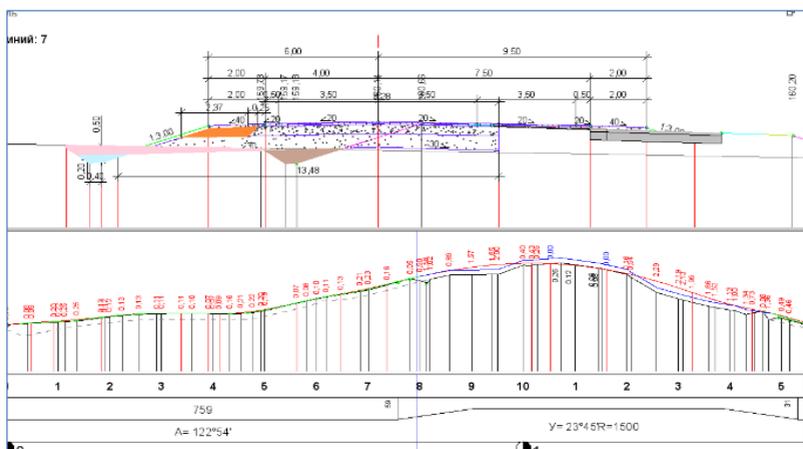


Рис. 3. Окно Профиль монотрассы. Формирование поперечника с различными типами ремонта

Передача данных из профиля в план по выравнивающим слоям, видам фрезерования существующего покрытия, разборки покрытия и основания существующей дорожной одежды в системе КРЕДО ДОРОГИ реализовано

путем создания картограммы работ. Формирование по расчетам общей ведомости объемов работ и ведомостей по сетке квадратов; выполнение оценки по транспортно-эксплуатационным показателям (график коэффициентов аварийности) - конечный результат освоения дисциплины «САПР автомобильных дорог».



Рис. 4. Фрагмент транспортной развязки в окне 3D-модель

Выполнение дипломного проекта в системе КРЕДО ДОРОГИ становится не только итогом работы по повышению качества подготовки специалистов-дорожников, но и укрепляет связи с организациями-заказчиками молодых специалистов. При разработке проекта студент-дипломник применяет полученные знания и умения и подтверждает сформированные компетенции.

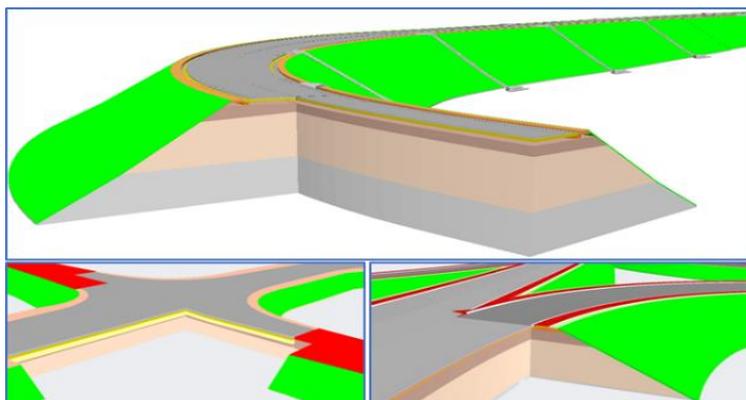


Рис. 5. Создание трехмерных тел по слоям дорожной одежды и земляного полотна дороги транспортной развязки

Оценивая высокую результативность работы в комплексе КРЕДО, постоянное совершенствование и выпуск новых актуальных программных

продуктов, расширяется перечень используемых программ при выполнении некоторых разделов курсовых работ по дисциплинам «Изыскания и проектирование автомобильных дорог», «Организация и безопасность дорожного движения», «Улицы населенных пунктов», «Специальные вопросы проектирования дорог». Планируется внедрение новых программ таких как, ТРУБЫ и ПРАЗЕМ.

Отвечая национальным интересам и потребностям экономики страны, а также, учитывая глобальные изменения в мировом порядке, высшая школа вырабатывает новые механизмы и формы обучения, позволяющие создать необходимый баланс между теоретическим знаниями и способностью реализации их на практике. С учетом возросших требований пользователей к интерфейсу современных программ, графическому наполнению, удобству функционала использование системы КРЕДО позволяет объединить вышеперечисленное и реализовать на практике усилия образовательного и производственного процессов, тем самым повышая качество подготовки специалистов в дорожной отрасли.



Рис. 6. Визуализация проектного решения

Совместные усилия компании «КРЕДО-ДИАЛОГ» и кафедры «Автомобильные дороги» позволяют оптимизировать и наиболее эффективно использовать средства, выделяемые на развитие науки и инноваций, а также значительно повышают привлекательность профессии проектировщика-дорожника, конкурентоспособность факультета в образовательном пространстве и всего университета в целом.

### Литература

1. Концептуальные подходы к развитию системы образования республики Беларусь до 2020 года и на перспективу до 2030 года утверждено Приказ Министра образования Республики Беларусь 29.11.2017 № 742 <http://mp.minsk.edu.by/ru/main.aspx?guid=88011>

2. BIM-технологии будут внедрены в сфере строительства в Беларуси к 2022 году | 25.05.2018/ <https://pronalogi.by/news/bimtekhnologii-budut-vnedreny-v-sfere-stroitelstva-v-belarusi-k-2022-godu/>

3. Технологии информационного моделирования на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строительства и недвижимости (ПТК) <http://webportalsrv.gost.ru/portal/TKSUGGEST/TK2006.nsf/84eb0d5919ea20bac325653100289c4a/a0732ef6e6a213e04325824e0044e978?OpenDocument>

4. КРЕДО ДОРОГИ программа по проектированию автомобильных дорог в условиях нового строительства, реконструкции и ремонта с реализацией концепции информационного моделирования (ТИМ/ВІМ). [Электронный ресурс]. – Режим доступа : – <https://credo-dialogue.ru/produkty/korobochnye-produkty/379-credo-dorogi-naznachenie.html> – Дата доступа : 16.10.2020



**Секция  
«Мосты и тоннели»**

## **Основные направления повышения качества ремонтных работ при восстановлении защитного слоя железобетонных конструкций**

Ляhevич Г. Д., Савина Е. Н.

Белорусский национальный технический университет

*В статье представлены примеры дефектов, возникающих в мостах в процессе их эксплуатации и основные факторы, влияющие на качество проведения ремонта.*

Железобетонные конструкции в процессе эксплуатации под действием агрессивных реагентов, подвержены деструктивным изменениям, а часто и разрушению. Ниже на рисунках 1 и 2 приведены дефекты разрезных ребристых плит пролетных строений, эксплуатируемых на автомобильных дорогах Республики Беларусь.



Рис. 1. Разрушение бетона и коррозия арматуры ребристой плиты пролетного строения



Рис. 2. Пластовая коррозия арматуры ребристой плиты пролетного строения

Данные дефекты значительно снижают несущую способность конструкций и могут привести к необходимости их частичной или полной замены. В результате вопрос своевременного и полного проведения ремонтно-восстановительных работ приобретает особую актуальность.

Ниже представлены основные параметры, влияющие на послеремонтные характеристики железобетонных конструкций:

1. Проведение ремонтно-восстановительных работ в соответствии с нормативно-технической базой;
2. Характеристики ремонтного состава, наличие технических условий, сертификатов качества и др. документации;
3. Квалификация работников.

Как видно, качественное улучшение представленных параметров возможно по двум направлениям.

Прочность ремонтного состава должна быть не ниже прочности ремонтируемой конструкции, повышенные гидрофобные и кольматирующие свойства, хорошую прочность сцепления со старой поверхностью. Марка по морозостойкости должна соответствовать морозостойкости бетона основной конструкции. Учитывая площади проведения ремонтных работ, применение полимерных материалов, имеющих по этим показателям высокие значения, ограничено стоимостью. В этой ситуации можно найти выход в разработке ремонтных бетонов со специальными добавками, которые имеют нормативную адгезию и прочность.

Таблица 1. Основные качественные характеристики ремонтных составов

Основные свойства ремонтных составов	На что направлено действие
Защитные свойства	Защита конструкции от воздействия агрессивных реагентов
Способность длительное время сохранять надежный адгезионный контакт с отремонтированной поверхностью	Прочность сцепления с восстановленной поверхностью
Включение в работу конструкции	Способность воспринимать силовые нагрузки совместно с основной восстановленной конструкцией
Экологичность	1. Снижение воздействия на экологию исходного сырья, как вторичного продукта промышленного производства 2. Отсутствие негативного воздействия на экологию готовых изделий

Повысить способность ремонтного бетона длительное время сохранять надежный контакт и одновременно включаться в совместную работу с отремонтированной несущей конструкцией по восприятию силовой нагрузки можно за счет увеличения прочности сцепления. В идеале ее величина должна быть не ниже прочности бетона на растяжение. Основные параметры, влияющие на прочность сцепления, представлены в таблице 2.

Таблица 2. Основные факторы, влияющие на прочность сцепления ремонтного состава

Функция	Факторы	Пути достижения
Прочность сцепления	Увеличение количества и качества, образующихся кристаллизационных и коагуляционных контактов	Диспергация структуры ремонтного состава. Увеличение площади контакта ремонтного состава и ремонтируемой поверхности. Снижение напряжений в тонком слое ремонтного состава на начальном этапе набора прочности.

### Литература

1. «Материалы для ремонта бетонных и железобетонных конструкций автомобильных дорог». Технические условия. – СТБ 1464.

## Структура и свойства ремонтных составов

Ляхевич Г.Д., Кулан А.В.

Белорусский национальный технический университет

*В статье представлены классификация дефектов и приведены общие требования к ремонтным материалам.*

Транспортная сеть Республики Беларусь насчитывает свыше 7000 тысяч мостов и путепроводов, около 100 тысяч водопропускных труб и других сооружений изготовленных преимущественно из железобетонных конструкций. В процессе эксплуатации на них воздействуют агрессивные внешние природные и эксплуатационные факторы, приводящие к деструктивным изменениям, которые можно условно разделить пять степеней повреждений бетона (таблица 1).

Таблица 1. Степени повреждений бетона

Степень	Признаки повреждений
1	загрязнения на поверхности, усадочные трещины и раковины, незначительная карбонизация, высокая прочность
2	шелушащаяся поверхность с усадочными трещинами и небольшими сколами, снижение прочности на 10–15 %, малая степень карбонизации, визуально наблюдаемые выколы
3	трещины размером до 0,2 мм, отдельные сколы, снижение прочности на 15–20 %, сильная карбонизация, визуально наблюдаются сплошные выколы
4	трещины размером более 0,2 мм, многочисленные сколы, оголение арматуры, снижение прочности на 20 %, сильная карбонизация, наличие сталактитов
5	непрочно закрепленный заполнитель, открытая арматура, глубокие сколы, пустоты, полная потеря прочности в отдельных местах

На рисунке 1 приведены типичные дефекты бетонных мостовых конструкций. На рисунке отчетливо видно полное разрушение защитного слоя ребристых плит пролетного строения и коррозия арматуры. Дефект появился и прогрессировал из-за своевременного непринятия мер по восстановлению геометрии конструкции и защите арматуры.



Рис. 1. Разрушение бетона и коррозия арматуры

Ежегодно на ремонтно-восстановительные работы тратятся значительные материальные ресурсы. Расходы на данные цели практически сопоставимы с расходами на изготовление конструкций, а учитывая затраты времени на восстановление конструкции, и сопутствующие потери времени и топлива на объезд транспорта, они увеличиваются еще больше. В связи с этим актуальна разработка и внедрение новых ремонтных материалов, которые должны обеспечивать восстановление потребительских свойств сооружения в целом. В тоже время комплекс свойств ремонтных материалов должен обеспечивать максимально универсальное их применение. Наиболее целесообразно применение ремонтных составов для конструкций, которые в процессе ремонта можно не демонтировать.

Сложные физико-химические процессы формирования структуры ремонтного материала, методики оценки их свойств, применительно к практике мостостроения, являются предметом данной статьи.

Приведенные повреждения бетона обусловлены как несилловыми, так и силловыми факторами, действующими на конструкции.

К несилловым можно отнести погодные и климатические факторы и эксплуатационные реагенты, возникающие при сезонной обработке поверхности сооружений и при эксплуатации транспорта.

К силовым нагрузкам можно отнести знакопеременные эксплуатационные и нагрузки, вызванные температурными деформациями. Эксплуатационные нагрузки вызывают динамические колебания конструкций, что повышает значимость подбора материала конструкции и ремонтного состава.

Несовпадение температурно-деформационных характеристик ремонтного материала и бетона конструкции оказывает негативное влияние на напряженно-деформированное состояние в зоне их контакта, вызывая преждевременное разрушение восстановленного участка.

При проведении ремонтных работ основной задачей является сохранение, а при возможности и увеличение эксплуатационного ресурса работы мостов и путепроводов. Применение качественных материалов и технологий значительно продлевает срок безотказной эксплуатации.

Основными параметрами, которым должен удовлетворять ремонтный материал в соответствии с п. 4.2 «Показатели требований качества» СТБ 1464 «Материалы для ремонта бетонных и железобетонных конструкций автомобильных дорог», являются следующие:

п.п. 4.2.5 «Класс прочности материалов должен быть не ниже класса прочности бетона ремонтируемых конструкций».

п.п. 4.2.8 «Марка материалов по морозостойкости».

п.п. 4.2.9 «Марка по водонепроницаемости».

п.п. 4.2.10 «Прочность сцепления с бетоном материалов».

п.п. 4.2.11 «Удельная эффективная активность естественных радионуклидов».

Основные требования к ремонтному материалу: равнопрочность с ремонтируемой конструкцией, гидрофобность и водонепроницаемость, хорошую прочность сцепления с поверхностью. Его морозостойкость должна быть сопоставима с морозостойкостью бетона конструкции. Учитывая площади проведения ремонтных работ, применение полимерных материалов, имеющих по этим показателям высокие значения, ограничено стоимостью. В этой ситуации можно найти выход в разработке ремонтных бетонов со специальными добавками, которые имеют нормативную адгезию и прочность.

Обеспечить выполнение вышеперечисленных требований к ремонтным бетонам можно, действуя на каждый параметр, как в отдельности, так и комплексе.

1. Органическая масса, адсорбированная на цементных зернах, создает сетчатую пленку, которая снижает скорость набора прочности, что особенно важно на начальном этапе. В результате в тонком защитном слое конструкции снижается количество усадочных трещин.

2. Органические компоненты и бентонит являются пептизаторами флокулов цементных зерен, способствуя их диспергации и оптимизации порового

пространства цементного камня, в котором, как следствие, образуются дополнительные контакты. При этом введение добавки ОГ с водой затворения не дает эффекта пептизации, так как в момент затворения на цементных зернах нет гидрофобной пленки.

3. На стадии кристаллизации органические компоненты и бентонит замедляют переход коагуляционных контактов в кристаллизационные. А так как действие коагуляционных контактов основано на Ван-дер-Ваальсовых связях, цементная система приобретает тиксотропные свойства. В отличие от коагуляционных, кристаллизационные контакты более прочные, но при их разрыве (разрушении), система не восстанавливается.

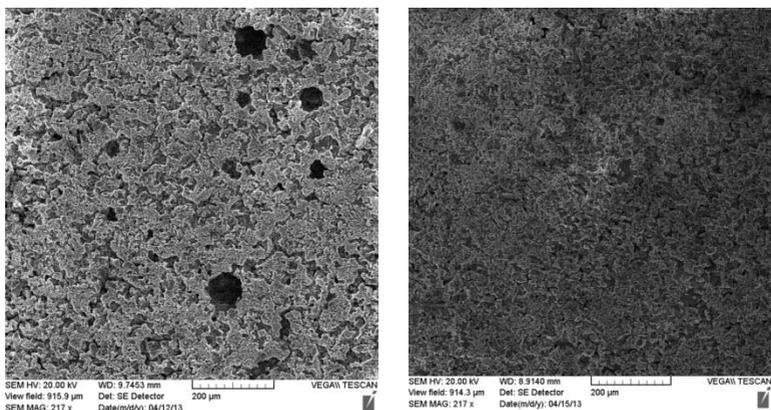
Действие факторов представлено в таблице 2.

Таблица 2. Факторы, воздействующие на ремонтную смесь

Факторы	
Конструктивные	Деструктивные
<p>Диспергация цементных зерен – способствует образованию дополнительных контактов между цементными зернами.</p> <p>Первоначальное замедление скорости набора прочности – снижает трещинообразование на начальном этапе.</p> <p>Тиксотропия – способствует самозаживлению структуры ремонтного состава.</p> <p>Снижение водопоглощения, повышение прочности сцепления и водонепроницаемости – улучшает эксплуатационные характеристики ремонтного состава</p>	<p>Усадка и образование усадочных трещин.</p> <p>Силовые воздействия вызывают касательные напряжения на стыке конструкция – ремонтный состав.</p> <p>Перепад температур вызывает касательные напряжения на стыке конструкция – ремонтный состав.</p> <p>Агрессивные реагенты вызывают коррозию бетона и арматуры</p>

Долговечность работы защитного ремонтного слоя во многом зависит от того, как долго он сможет выполнять свои функции и не произойдет его разрушение. Данное условие можно обеспечить увеличением площади контакта и повышением количества связей между новым и старым бетоном на единицу площади взаимодействия бетонных элементов.

Этим требованиям соответствуют образцы цементного камня с добавкой ОГ, имеющие равномерную структуру с мелкими порами не превышающими 5 мкм.



а – образец без добавки                      б - образец с добавкой (4,0 %)  
 Рис. 2. Микроструктура цементного камня (увеличение  $\times 217$ )

Поры существенно влияют на равномерность распределения напряжений и деформаций в бетоне, являясь концентраторами напряжения.

Органическая масса гидрофобизирует цементный камень, а высокодисперсные частицы гидрофобного бентонита уплотняют структуру.

Для сравнения влияния размера пор на напряженно-деформированное состояние цементного камня условно принимаем, что в любом его сечении изменяется размер сечения пор без изменения суммарной площади цементного камня ( $S_1=S_2$ ). Следовательно, в упрощенном виде расчетная схема после диспергации имеет более равномерную структуру пор, что способствует распределению напряжений, как по горизонтальным, так и по вертикальным стенкам пор и капилляров.

### Литература

1. «Материалы для ремонта бетонных и железобетонных конструкций автомобильных дорог». Технические условия. – СТБ 1464.

## **Роль опорных частей в динамическом воздействии на мостовые сооружения**

Ходяков В.А.

Белорусский национальный технический университет

*Различные типы опорных частей имеют разную жёсткость. В статье описаны основные типы эксплуатируемых сегодня на территории Республики Беларусь опорных частей. Представлено теоретическое исследование их жёсткости и её влияние на динамическую добавку к нагрузке.*

Сегодня на территории Республики Беларусь в мостостроении повсеместно используются опорные части из литого полиуретана. Они пришли на замену широко использовавшимся ранее резинометаллическим и металлическим опорным частям.

Металлические опорные части (рис. 1) ушли на второй план по причине того, что на территории республики отсутствуют необходимые природные ресурсы и как следствие слабо развита металлургическая промышленность.



Рис. 1. Тангенциальные металлические опорные части в составе эксплуатируемого сооружения

Резинометаллические опорные части (рис. 2) были отличной, альтернативой, однако, имели недостаток в виде низкой долговечности. Резиновый защитный слой по торцам опорной части разрушался со временем, после чего начиналась слоистая коррозия металлических пластин, нарушалось их

совместная работа со слоями резины и опорная часть просто «расползалась» в стороны под нагрузкой.



Рис. 2. Резинометаллическая опорная часть в составе эксплуатируемого сооружения

Хорошо развитая на территории страны химическая промышленность стала причиной того, что полиуретановые опорные части (рис. 3), если это позволяют их технические характеристики, применяются абсолютно на всех новых мостовых сооружениях.



Рис. 3. Полиуретановая опорная часть в составе эксплуатируемого сооружения

Однако одной из особенностей таких опорных частей является относительно низкая жёсткость. Модуль упругости такой опорной части составляет порядка 50 МПа. Если сравнивать опорные части для пролётных строений длиной 33 м, то это означает что при нагрузке порядка 10 тонн опорная часть деформируются приблизительно на 1–2 мм.

Если рассмотреть резинометаллические опорные части, то можно определить, что их модуль упругости в 10 раз больше и составляет порядка 500 МПа. При нагрузке 10 тонн опорная часть, аналогичная полиуретановой деформируется на 0,15 мм.

При грузоподъёмности полиуретановой опорной части в 1400 кН, опорная часть из металла и резины может держать вертикальную нагрузку до 1800 кН.

Если рассмотреть применяемые ранее, ныне устаревшие металлические опорные части тангенциального типа, высокий модуль упругости металла порядка 210 000 МПа, безусловно делает опорную часть чрезвычайно жёсткой. Но, к сожалению, из-за сложностей эксплуатации такое решение опорных частей сегодня не используется.

Почему жёсткость опорных частей может быть важна при эксплуатации вооружения? Дело в том, что в момент съезда движущегося транспортного средства с переходной плиты на балку, минуя деформационный шов, колесо фактически «падает со ступеньки». Высота этой ступеньки равна величине деформации опорной части под статической нагрузкой от того же транспортного средства.

При этом, в результате «падения со ступеньки» возникают колебания подвески автомобиля и колебания поддрессоренной массы автомобиля. Эти колебания вызывают изменяющуюся во времени нагрузку, которая действует на пролётное строение.

Негативных эффектов тут может быть два. Первый – это возникновение повышенной нагрузки на асфальтобетонное покрытие, и как следствие образование келейности на расстоянии порядка 2 метров за деформационным швом. Второй – это дополнительная динамическая нагрузка на пролётное строение. Важно отметить, что такие эффекты в теории должны наблюдаться даже на совершенно новом мостовом сооружении.

Данные рассуждения пока ведутся на уровне теории. Однако если удастся подтвердить их испытаниями на реальных сооружениях, это может означать что применяемые сегодня повсеместно полиуретановые опорные части могут являться причиной повышенного динамического воздействия на сооружения. Если такая проблема будет выявлена, тогда необходимо будет решить изобретательскую задачу на основе противоречия. Литая опорная часть из полиуретана должна быть выполнена таким образом, чтобы иметь высокий модуль упругости и при этом низкий модуль сдвига.

На примере резинометаллических опорных частей такую задачу решили путём помещения в литую часть металлических пластин.

## Литература

1. Части опорные из литьевого полиуретана для мостовых сооружений. Технические условия : СТБ 2134-2010. – Введ. 01.07.11 (с отменой на территории РБ СТБ 1165-99). – Минск : Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2016. – 16 с.
2. Части опорные резинометаллические. Технические условия : СТБ 1165-2016. – Введ. 01.03.17 (введён впервые). – Минск : Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2010. – 16 с.
3. Части опорные полимерные для автодорожных мостов. Правила проектирования : ТКП 45-3.03-195-2010 (02250). – Введ. 01.11.10 (введён впервые). – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 40 с.
4. Ходяков, В. А. Вибродиагностика мостовых сооружений / В. А. Ходяков // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 18-й междунар. науч.-техн. конф., Минск, май 2020 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: С. Е. Кравченко [и др.]. – Минск, 2020. – С. 103.
5. Ходяков, В. А. Диагностика топологии асфальтобетонного покрытия в районе деформационного шва / В. А. Ходяков // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 18-й междунар. науч.-техн. конф., Минск, май 2020 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: С. Е. Кравченко [и др.]. – Минск, 2020. – С. 106.

УДК 624.21

### **Роль сопряжения с подходами в динамическом воздействии на мостовые сооружения**

Ходяков В.А.

Белорусский национальный технический университет

*В статье представлены теоретические выкладки на тему актуальных проблем сопряжения пролётного строения моста с насыпью. Особое внимание уделено функции переходной плиты как основной причины малого динамического воздействия на пролётное строение моста.*

В процессе заезда на пролётное строение моста автомобиль преодолевает несколько различных по жёсткости, сменяющих друг друга оснований. Первым типом основания всегда является конструкция дорожного полотна на насыпи. Последним – мостовое полотно на балках пролётного строения.

Конструкции этих двух оснований радикально отличаются по составу применяемых материалов и их жёсткости.

Проходя по участку смены жёсткостей основания в подвеске автомобиля возникают колебания, которые при дальнейшем движении по пролётному строению вызывают дополнительные динамические нагрузки.

Жёсткость дорожного полотна складывается из жёсткости грунта основания, различных слоёв дисперсного грунта и слоя асфальтобетонного покрытия.

Жёсткость мостового полотна более сложна и характеризуется большим количеством элементов, таких как: грунт основания, конструкция фундамента насадки, насадка с подферменниками, опорная часть, балки пролётного строения и слои покрытия. В слоях покрытия также можно выделить более мелкие элементы, такие как: выравнивающий слой, гидроизоляция, армированный защитный слой и асфальтобетон.

Каждый из перечисленных материалов имеет свой модуль упругости и толщину. В совокупности эти параметры создают жёсткость основания, по которому движется транспортное средство. Для того чтобы обеспечить плавность перехода жёсткости основания дорожного полотна в мостовое и избежать ударных нагрузок используется конструкция наклонной переходной плиты, которая одним концом в нижней точке опирается на щебёночную подушку и на грунт, а вторым в верхней точке – на шкафную стенку (рис. 1).

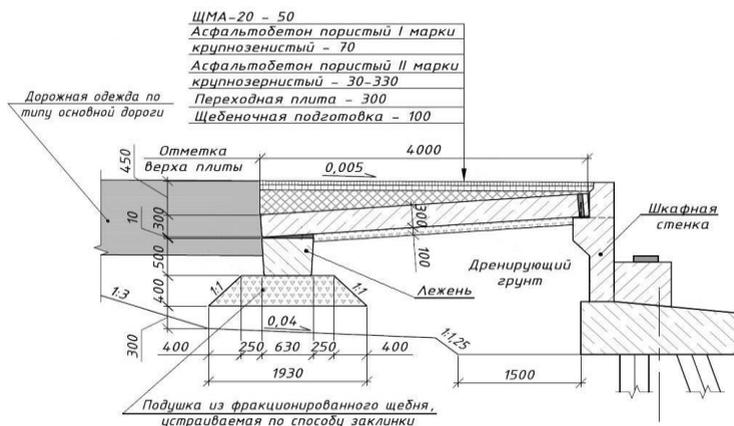


Рис. 1. Традиционная конструкция сопряжения моста с насыпью

Такая конструкция была разработана полвека назад и на тот момент отлично выполняла свою функцию. Применяемые тогда опорные части имели

простую конструкцию из тех же материалов из которых состояла опора и пролётное строение или подобных им по жёсткости, а то и вовсе отсутствовали.

Применяемые сегодня опорные части из полиуретана имеют небольшой модуль упругости и, как следствие, жёсткость. В виду этого шкафная стенка, на которую функционально ориентируется переходная плита, имеет жёсткость сильно выше, чем пролётное строение на опорной части. Согласно действующему СТБ 2134-2010 такие опорные части при загрузении могут деформироваться с уменьшением высоты на величину порядка 10 мм. В то время как шкафная стенка с опёртой на неё переходной плитой получает деформации меньшие на несколько порядков.

С учётом этого, переходная плита функция которой плавное, с точки зрения жёсткости основания, сопряжение дорожного и мостового полотна не может быть выполнено.

Технологически напрашивается решение в виде устройства дополнительной «малой переходной плиты» между шкафной стенкой и пролётным строением. Такую функцию сегодня фактически выполняют деформационные швы различной конструкции. Можно предположить, что такая их нецелевая функция и является одной из причины низкой надёжности этого узла.

На решение вышеописанной проблемы можно посмотреть с другой стороны. Сегодня с целью устранения проблем с долговечностью деформационных швов предлагаются инновационные способы сопряжения, которые предполагают проливание плиты проезжей части над переходной плитой (рис. 2).

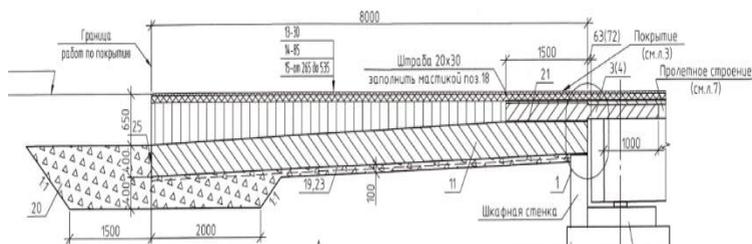


Рис. 2. Инновационная конструкция сопряжения моста с насыпью, с выносом деформационного шва за пределы опоры

Такое решение решает поставленные перед ним проблемы, устраняя скачок жёсткости на стыке шкафной стенки и пролётного строения. Создаётся дополнительная консольная плита, назовём её «малой переходной плитой», которая является продолжением полки пролётного строения. Однако функ-

ция основной переходной плиты в этом случае частично теряется, т.к. в месте устройства штрабы (деформационного шва) существует лишённый плавности стык.

Интересным является ещё и то, что малая жёсткость опорной части может создавать условия, когда балка пролётного строения частично опирается не на неё, а на переходную плиту со шкафной стенкой. Что создаёт дополнительные поперечные срезающие усилия в малой переходной плите.

Применяемая вновь конструкция сопряжения определённо решает поставленные перед ней задачи и даже больше. Но требует дальнейшего исследования и испытания конструкции. В том числе на предмет её роли в создании динамического воздействия на пролётное строение от проходящего по сопряжению транспортных средств на большой скорости.

### Литература

1. Части опорные из литьевого полиуретана для мостовых сооружений. Технические условия : СТБ 2134-2010. – Введ. 01.07.11 (с отменой на территории РБ СТБ 1165-99). – Минск : Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2016. – 16 с.

2. Попов, В.И. Способы сопряжения конструкций путепроводов с насыпями подходов / В.И. Попов, А.И. Прохоров // Интернет-журнал Науковедение. – 2014. – № 5 – С. 44.

3. Овчинников, И.И. Повреждения зон сопряжения дорожных одежд и деформационных швов на мостовых сооружениях: возможные причины и способы их устранения / И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников, Ш.Н. Валиев // Науковедение. – 2013. – № 6. – С. 148.

4. Овчинников, И.Г. Основные проблемы отечественного мостостроения / И.Г. Овчинников, О.Н. Распоров, И.И. Овчинников // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2015. – Т. 1 – С. 437–442.

5. Дробышевский, Б. А. Бесшовные мосты : учебное пособие для студентов вузов и специалистов транспортного строительства / Б. А. Дробышевский. - Москва : РИОР, ИНФРА-М, 2016. – 154 с.

## О верхнем строении пути метрополитена

Устинович А.В., Гречухин В.А.

Белорусский национальный технический университет

*В статье представлены об основных требованиях при проектировании перегонных тоннелей, и возникающей при движении поездов метро вибрации.*

Метрополитен один из наиболее распространённых видов городского общественного транспорта. В 2018 году услугами Минского метрополитена воспользовались более 283,36 млн. пассажиров. По данным Главного статистического управления города Минска в 2018 году пассажирооборот метрополитена составил 2261,2 млн. пассажиро-километров, что сопоставимо с пассажирооборотом автотранспорта – 2578,6 млн. пассажиро-километров. Первые две линии Минского метрополитена прокладывались вдоль основных городских проспектов. Фактически на пути трассы метрополитена не располагаются жилые и общественные здания и сооружения. Поэтому к конструкции верхнего строения пути метрополитена не предъявлялись такие повышенные требования, как в настоящее время. Третья линия Минского метрополитена проходит в зоне плотной жилой застройки, что необходимо учитывать при выборе применяемых технологий. Ведь расположение метрополитена рядом с домами это не только удобство перемещения жителей, но и дополнительные неудобства для проживания – шум и вибрация от проходящих под землёй составов метрополитена. Этот фактор необходимо учитывать при проектировании отдельных конструкций и объектов метро. К изделиям должны применяться повышенные требования по виброгашению.

Анализ опыта других стран в данной области, позволяет применять рабочие конструкции с проведение адаптации под собственные требования и задачи. При этом необходимо определить наиболее важные критерии и разработать методы их проверки и испытания на этапе проектирования. Так как допущенные ошибки могут привести, в последующем, к затратам значительных материальных и финансовых средств на их устранение.

***Требования предъявляемые к конструкции верхнего строения пути метрополитена***

Верхнее строение пути метрополитена – часть железнодорожного пути, состоящее из рельсов, рельсовых креплений, шпал, провивоугонов, бал-

ластного слоя или путевого бетона, предназначенная для направления движения колёс подвижного состава, восприятия нагрузки от этого состава и передачи её на бетонное основание [1]. На рисунке 1 представлена типовая конструкция пути метрополитена в перегонном тоннеле.

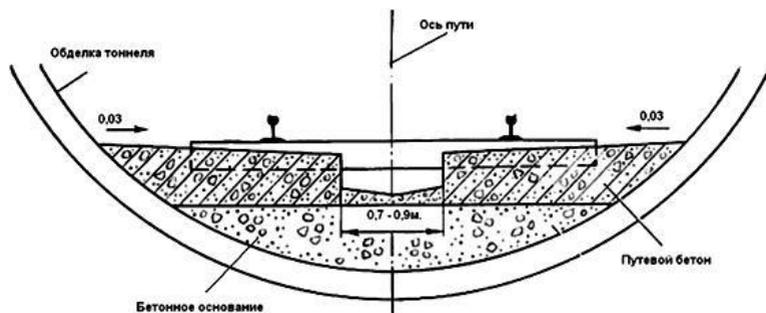


Рис. 1. Путь в перегонном тоннеле

Чаще всего путевой бетон неармирован и укладывается на жёсткое бетонное основание тоннеля. В процессе заливки в путевой бетон замоноличиваются, предварительно выставленные, опоры рельсов (деревянные шпалы, железобетонные блоки), которые предназначены для восприятия вертикальных, боковых и упродольных усилий от рельсов и передачи их на ниже основание [2].

Верхнее строение пути метрополитена и его элементы должны выполнять следующие функции:

- Восприятие нагрузки от подвижного состава;
- Передача нагрузки на жёсткое основание;
- Надёжную фиксацию ходового рельса в заданном полоржении;
- Снижение вибрации, создаваемой подвижным составом.

Так же к отдельным элементам верхнего строения пути предъявляются следующие требования:

- Надёжность;
- Ремонтопригодность;
- Простота эксплуатации и низкие затраты на обслуживание;
- Возможность регулирования положения рельса в плане и по высоте.

Действующими нормами проектирования Республики Беларусь регламентируется по ширине рельсовая колея. Отклонения от нормы ширины колеи на прямых и кривых участках не должны превышать по уширению 6 мм и по сужению – 4 мм, а на кривых радиусом 99 м и менее отклонения по уширению не должны превышать 2 мм [2]. Так как в про-

цессе монтажа рельсовой колеи возможны отклонения свыше регламентированных величин, то рельсовое скрепление должно иметь широкий диапазон регулировок в плане.

В процессе эксплуатации пути метрополитена, возможны образования дефектов в узлах скрепления, замену которых целиком или частично необходимо осуществлять во время ночного технологического окна, продолжительность которого не превышает четырёх часов. Этот фактор накладывает дополнительные требования к конструкции узла скрепления, его ремонтно-пригодности и быстрой замене отдельных элементов.

При проектировании верхнего строения пути метрополитена необходимо учитывать, что любой вид транспорта, особенно рельсовый, является источником колебаний, передающихся через грунтовую среду на расположенные вблизи транспортных магистралей сооружения, и вызывающих их вибрацию. Она сказывается как на техническом состоянии зданий, так и на санитарно-гигиенических условиях пребывания людей. Это проблема особенно актуальна в метрополитенах не глубокого заложения. Поэтому при разработке конструкции верхнего строения пути необходимо предусматривать мероприятия по снижению уровня вибрации, и её воздействия. Неверные решения при проектировании, могут привести к необходимости разработки и реализации дорогостоящих решений по снижению воздействия вибрации.

### **Литература**

1. ТКП 45-3.03-238-2011. Тоннели и метрополитены. Правила устройства – Взамен СНБ 3.03.07-98; Введ. 01.11.2011. – Минск: Стройтехнорм, 2012. – 151 с.
2. ТКП 45-3.03-115-2008. Метрополитены. Строительные нормы проектирования – Введён впервые; Введ. 01.07.2009. – Минск: Стройтехнорм, 2009. – 170 с.

## **Конструктивные особенности верхнего строения пути метрополитена. Варианты**

Устинович А.В., Гречухин В.А.

Белорусский национальный технический университет

*Исходя из требований действующих технических нормативно-правовых актов, а также опыта использования определены основные требования и параметры, предъявляемые к конструкции верхнего строения пути метрополитена и отдельным его элементам.*

*В ходе работы были рассмотрены различные виды и конструкции верхнего строения пути метрополитена, определены их достоинства и недостатки. Так же были изучены различные типы рельсовых скреплений.*

Во всём мире применялось и применяется огромное количество различных видов и типов верхнего строения пути метрополитена. На смену устаревшим конструкциям приходят новые. В этом направлении непрерывно ведутся исследования и разработки.

Разрабатываются и испытываются новые рельсовые скрепления, рельсовые основания (блоки, шпалы), проектируются новые конструкции верхнего строения пути позволяющие удовлетворять высокие требования к комфорту работы и проживания вблизи объектов метрополитена.

Во время эксплуатации и исследований выявляются новые требования, разрабатываются новые методики проведения испытаний, что позволяет совершенствовать метрополитен и его отдельные конструкции.

### ***Типовая конструкция пути метрополитена***

При строительстве станций и перегонных тоннелей Минского метрополитена вплоть до 2014 года применялась конструкция верхнего строения пути с использованием деревянной шпалы, замоноличенной в путевой бетон (рисунок 1 [1]).

В перегонных тоннелях используются цельные деревянные шпалы, пересекающие лоток, что создаёт дополнительные трудности при работе по очистке лотковой зоны. На путях, расположенных вдоль платформ установлены полушпалы, что позволяет осуществлять беспрепятственную чистку лотка. Даная конструкция пути считается неремонтопригодной [1]. Деревянные шпалы подвержены гниению и растрескиванию, что сопровождается отслоением от путевого бетона [2].

Также недостатком пути на деревянных шпалах являются невысокие характеристики по гашению шума и вибрации от проходящего подвижного состава.

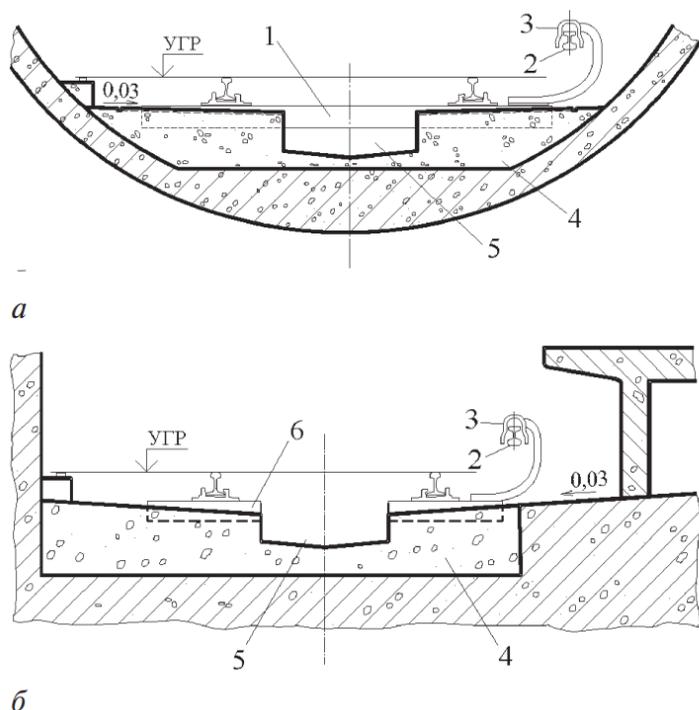


Рис. 1. Путь метрополитена на деревянных шпалах:

- а – в перегонных тоннелях; б – у пассажирских платформ; 1 – цельная деревянная шпала; 2 – контактный рельс с защитным кожухом; 3, 4 – путевой бетон; 5 – водоотводный лоток; 6 – деревянная полushпала

С деревянными шпалами применяется раздельное безрезьбовое соединение типа «Метро» (рисунок 2 [1]). Между стержнем маятникового штыря с одной стороны, «лапой» – с другой и подошвой рельса предусмотрен зазор, обеспечивающий свободное положение рельса на подкладке.

Конструкция пути на деревянных шпалах из-за излома шурупов характеризуется высокими эксплуатационными затратами. Так же по опыту эксплуатации деревянных шпал в Минском метрополитене, ресурс их составляет не более 15 лет.

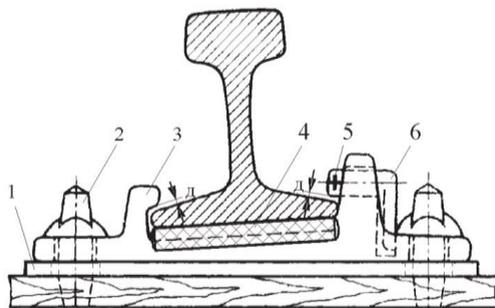


Рис. 2. Промежуточное скрепление типа «Метро»:  
 1 – напальная прокладка; 2 – шуруп; 3 – подкладка;  
 4 – подрельсовая прокладка; 5 – шплинт; 6 – маятниковый штырь

### ***Виброзащитная конструкция пути с виброизоляционными железобетонными блоками типа EBS***

В данной конструкции пути ходовые рельсы крепятся при помощи скрепления типа Vossloh W21 (рисунок 3) к монолитному в путевой бетон блоку железобетонному виброизоляционному типа EBS (Embedded Block System) (рисунок 4). Фиксация рельса установленного на подрельсовую прокладку 1 осуществляется при помощи клеммы упругой 3, усилие прижатия обеспечивается путевым шурупом 4. Регулировка положения рельса в плане осуществляется при помощи замены комплектом углаправляющих плит 5. Скрепление типа Vossloh W21 позволяет так же осуществлять регулирование положения рельса по высоте при помощи установки специальных подрельсовых прокладок [2].

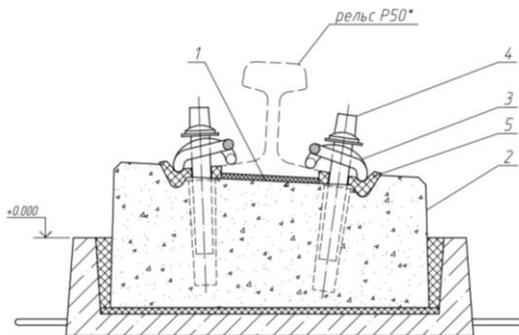


Рис. 3. Установка рельса при помощи скрепления Vossloh W21  
 1 – подрельсовая прокладка; 2 – блок железобетонный виброизоляционный;  
 3 – клемма упругая; 4 – шуруп путевой; 5 – плита углаправляющая

Рельсовое крепление типа Vossloh W21 имеет ряд достоинств:

1. Существует возможность произвести в короткие сроки замену любого элемента крепления. Разработчиком крепления разработана технология замены пластикового дюбеля.
2. Позволяет производить регулировку рельса в широком диапазоне;
3. Зарекомендовала себя как надёжная система во многих странах мира;
4. Все элементы имеют высокие эксплуатационные характеристики;
5. Одно из немногих крепления имеет обязательные сертификаты и декларации, действующие на территории Республики Беларусь, в соответствии с техническим регламентом.

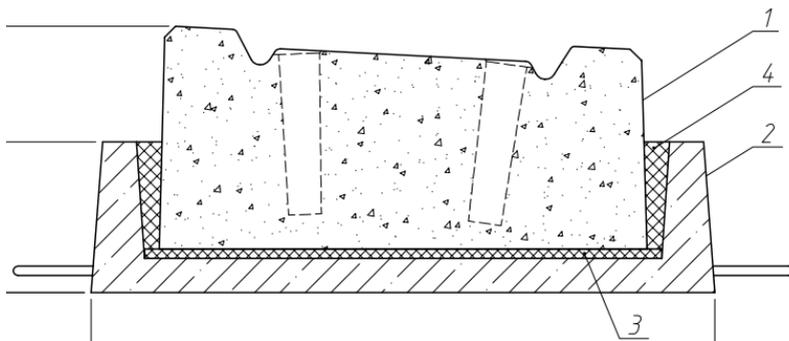


Рис. 4. Блок железобетонный виброизоляционный:

- 1 – блок опорный железобетонный; 2 – лоток железобетонный;  
3 – прокладка виброизоляционная; 4 – эластичная заливочная масса

Сам блок железобетонный виброизоляционный представляет собой сборную конструкцию, в которой на дно лотка железобетонного 2 укладывается виброизоляционная прокладка 3, блок опорный железобетонный 1 устанавливается на виброизоляционную прокладку, а зазор заполняется эластичной заливочной массой 4.

Эффект виброгашения достигается за счёт применения виброизоляционной прокладки. При выборе её физико-механических характеристик необходимо учитывать следующие требования:

- Расчётную величину виброгашения.
- Величину деформации прокладки, вызванной нагрузкой от подвижного состава.

При действии нагрузки происходит вертикальное перемещение ходового рельса совместно с блоком опорным. Эта величина строго регламентирована. И при подборе материала виброизоляционной прокладки и эластичной заливочной массы необходимо учитывать их совместную работу.

Так как виброизоляционная прокладка является дорогим компонентом блока железобетонного виброизоляционного и её стоимость увеличивается при повышении виброизоляционных характеристик. Таким образом в зависимости от прогнозируемой величины виброгашения на отдельных участках трассы метрополитена можно применять виброизоляционные прокладки с различными характеристиками, тем самым существует возможность уменьшать стоимость строительства.

Блоки железобетонные виброизоляционные имеют также ряд недостатков:

- В следствии не соблюдения технологии изготовления возможно отслоение эластичной заливочной массы от поверхности бетонных изделий.
- В случае повреждения повреждая блока железобетонного опорного процесс его замены достаточно трудоёмкий и включает в себя так же замену эластичной заливочной массы.
- В случае ошибки при проектировании произвести замену виброизоляционной прокладки в уже смонтированных блоках на всём протяжении пути – дорогостоящее мероприятие и фактически не осуществимое.
- Блок имеет массу порядка 85 кг, что затрудняет монтаж блока вручную и требует применения средств малой механизации.

Ещё одной бесшпальной конструкцией верхнего строения пути метрополитена является конструкция с использованием в качестве подрельсового основания, блоков опорных железобетонных с рельсовым скреплением Vossloh 300 UTS (рисунок 5).

Конфигурация блока опорного железобетонного может быть различной, в зависимости от технологических требований к изготовлению, монтажу. Единственным неизменным элементом конструкции является конфигурация и габаритные размеры подрельсовой площадки.

Рельсовое скрепление Vossloh 300 UTS обладает аналогичными характеристиками, что и описанное выше Vossloh W21. Дополнительным плюсом конструкции является верхнее расположение (над железобетонным опорным блоком) эластичной плиты, предназначенной для гашения вибраций создаваемых подвижным составом метрополитена. При необходимости возможно применение эластичных плит с различными виброгасящими характеристиками.

Система рельсового скрепления имеет следующие достоинства:

- не требует регулярного технического обслуживания;
- позволяет регулировать высоту. Регулировка по высоте осуществляется при помощи уравнивающих пластин;
- позволяет осуществлять регулировку колеи  $\pm 16$  мм с шагом 2,5 мм, путем применения различных углонаправляющих плиток;

- обладает полной электрической защитой. Электроизоляция рельсовой нити осуществляется за счет полимерного дюбеля, замоноличенного в бетонную опору, углонаправляющей плиты, рельсовой и эластичной прокладок;

- является полностью ремонтпригодным с использованием минимальных трудозатрат. Все компоненты крепления заменяемы, включая, в том числе и дюбеля в бетонных опорах (полушпалах);

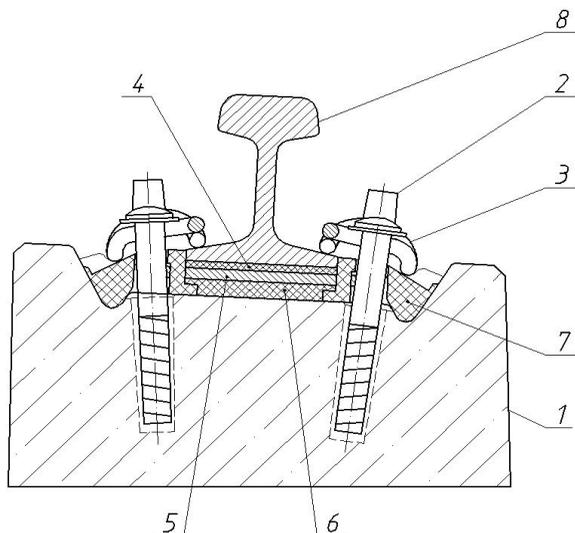


Рис. 5. Блок опорный железобетонный с рельсовым креплением Vossloh 300 UTS:  
1 – блок опорный железобетонный; 2 – рельсовый шуруп; 3 – клемма упругая;  
4 – прокладка подрельсовая; 5 – плита опорная; 6 – плита эластичная;  
7 – плита углонаправляющая; 8 – рельс R50

Безбалластный путь LVT (Low Vibration Track) включает в себя блочную опору в виде железобетонной полушпалы установленной в резиновый чехол на дно которого укладывается амортизационная прокладка (рисунок 6 [3]), в качестве крепления рельса используется рельсовое крепление типа Vossloh W30. В качестве несущей конструкции используется неармированный бетон.

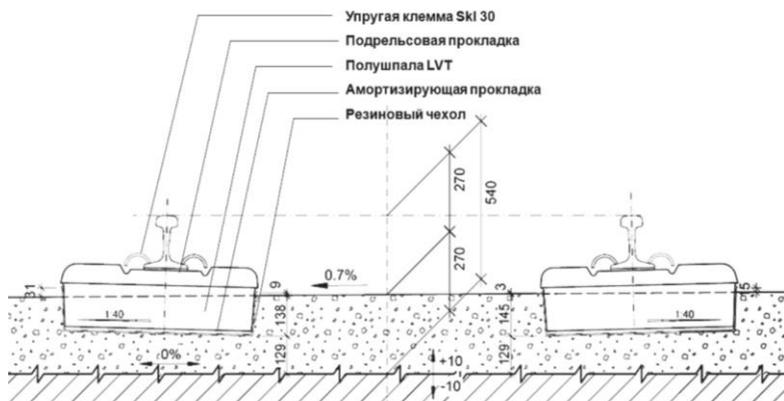


Рис. 6. Безбалластный путь LVT

Резиновый чехол, как и амортизационная прокладка также участвует в виброгашении, снижает уровень шума и фактически выполняет функцию опалубки при погружении блока в путевой бетон. В отличие от блока типа EBS блок в резиновом чехле является разборной конструкцией и позволяет с лёгкостью заменить любой элемент блочной системы без разрушения путевого бетона, что позволяет значительно сократить время ремонтных работ.

При правильном проектировании блока, его конструкции и габаритных размеров, существует возможность его применения при ремонте пути метрополитена на деревянных шпалах. Монтаж блока вместо деревянной шпалы осуществляется без нарушения целостности путевого бетона.

«За 30 лет эксплуатации LVT в Европе не потребовалось замены ни одного элемента системы. Такие решения выбираются для очень ответственных участков железнодорожного пути. Например, конструкции LVT использованы в Лечбергском тоннеле в Альпах. Его протяженность составляет 34,6 км, а интенсивность движения – 110 поездов в сутки. Путь LVT укладывается и в Готардском тоннеле, длина которого будет составлять 57 км. Эта технология использована и в тоннеле под Ла-Маншем длиной около 51 км, из которых 39 км находятся под проливом» [4].

Железобетонная полушпала может комплектоваться различными типами рельсового скрепления.

На рисунке 7 [1] показана схема поперечного сечения бесшпального пути на эластичных опорах, разработанная ОАО «Минскметропроект».

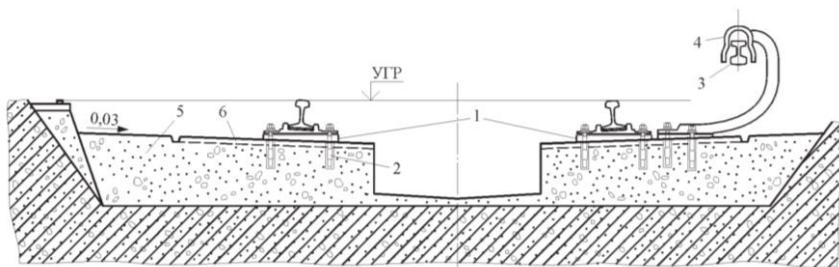


Рис. 7. Схема конструкции бесшпального пути на эластичных опорах:  
 1 – литая эластичная опора; 2 – анкерный болт; 3 – контактный рельс;  
 4 – защитный короб; 5 – путевой бетон; 6 – канавка для пропуска воды

Аналогичная конструкция была использована при устройстве опытного участка второй линии Минского метрополитена в перегонном тоннеле ст. Петровщина – ст. Малиновка.

В конструкцию узла скрепления ходовых рельсов включает [5]:

- Ходовой рельс Р50;
- Прокладка под подошву рельса типа Р50;
- Стальная прокладка;
- Клемма пружинная;
- Втулка изолирующая с эксцентрик;
- Прокладка под подкладку 400x140x3 мм, изготовленная из двухкомпонентного полиуретанового материала Icosit КС 340/7;
- Два болта для скрепления подкладки через эластичную опору с бетоном.

Упругое соединение бесшпального пути на эластичных опорах представлено на рисунке 2.8. Рельс укладывается на металлическую прокладку 10 и прижимается при помощи пружинных клемм 14 и клеммных болтов 12 с шайбами 9 и гайками 13. Под подошву рельса и металлической прокладки 10 укладываются подрельсовая 11 и регулировочная 5 прокладки соответственно.

Пружина 7 позволяет рельсу перемещаться с металлической подкладкой 10 в вертикальной плоскости и возвращаться в исходное положение без нарушения стабильности эластичных опор 4, поддегивания анкерных болтов 8 и образования остаточных деформаций в зоне прикрепителя.

В то же время, несмотря на эффективное снижение шума и вибраций, данная конструкция требует высокой точности укладки путевого бетонного слоя и отличается значительной трудоемкостью работ по устройству литых эластичных опор.

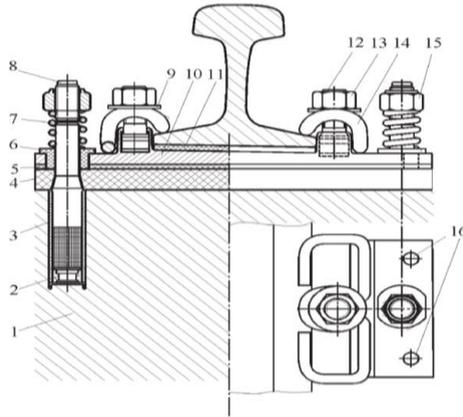


Рис. 8. Схема упругого скрепления бесшпального пути метрополитена на эластичных опорах: 1 – путевой бетон; 2 – кольцо центрирующее; 3 – изолирующая клемма; 4 – эластичная опора; 5 – регулировочная прокладка; 6 – втулка изолирующая с эксцентриком; 7 – пружина; 8 – анкерный болт; 9 – шайба; 10 – металлическая прокладка; 11 – подрельсовая прокладка; 12 – клемма самоконтрящаяся; 13 – гайка; 14 – клемма пружинная; 15 – гайка самоконтрящаяся; 16 – технологические отверстия для заливки материала эластичной опоры

### Литература

1. ТКП 45-3.03-238-2011. Тоннели и метрополитены. Правила устройства – Взамен СНБ 3.03.07-98; Введ. 01.11.2011. – Минск: Стройтехнорм, 2012. – 151 с.
2. ТКП 45-3.03-115-2008. Метрополитены. Строительные нормы проектирования – Введён впервые; Введ. 01.07.2009. – Минск: Стройтехнорм, 2009. – 170 с.
3. Бочкарёв Д.И., Кебиков А.А. и др. Современное состояние и перспективы развития конструкций пути для метрополитена // Механика машин, механизмов и материалов – 2012. – №2. – С 94–99.
4. Колодкин М.Н., Зайцев А.А. Перспективные конструкции пути в метрополитене // Транспорт Российской Федерации – 2012. – №3-4. – С 74.
5. Савин А.В. Выбор конструкции безбалластного пути / Проблемы проектирования, строительства, диагностики и технического содержания объектов железнодорожного транспорта. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Чита, 2013. – С.19-25.
6. Василевич Ю.В., Кириленко А.Т. и др. Виброзащита верхнего строения пути метрополитена // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт – 2016. – № 1. – С 298–300.

## **Роль научно-технического сопровождения в достижении показателей качества и безопасности строительства мостовых сооружений**

Берестевич М.Л.

Государственное предприятие «БелдорНИИ»

*В статье рассмотрены вопросы повышения показателей качества и безопасности строительства мостовых сооружений. Отмечено, что обеспечение надежности транспортного сооружения начинается с проекта строительства. Этот процесс невозможен без организации научно-технического сопровождения, в ходе которого необходимо учитывать особенности конструкций и сооружения в целом.*

Реализация крупных инвестиционных проектов в области транспортного строительства требует системного подхода к разработке и воплощению в жизнь управляющих решений, учитывающих все аспекты безопасного и надежного трафика, последствия воздействия создаваемых транспортных систем на экологию и социальные изменения в жизни населения республики, минимизацию расходов на возведение и эксплуатацию.

В наиболее полной мере системный подход возможно реализовать при наличии научного сопровождения принятия решений при создании и функционировании транспортных систем на всех стадиях их жизненного цикла.

К сожалению, в настоящее время системный подход в реализации поставленных задач, наблюдается, в основном, только в мостостроении, а реконструкция участков автомобильных дорог осуществляется без плотного участия в процессе науки, что не снижает поток локальных обращений заказчиков и подрядчиков в БелдорНИИ в процессе реконструкции дорог.

Практика научно-технического сопровождения строительства мостовых сооружений в республике началась 15 лет назад после аварии при надвигке пролетного строения длиной 126 м моста через Западная Двина на обходе г. Витебска, осуществляемую без вспомогательных промежуточных опор.

За прошедший период нет ни одного сложного мостового сооружения, строительство которого осуществлялось бы без научно-технического сопровождения: мост через р. З. Двина в Верхнедвинске, мост через р. Березина на автодороге М-5 Минск - Гомель, мост через р. Березина на автодороге М-4 Минск-Могилев, мост в г. Гомеле, мост через р. Неман на автодороге М-6 Минск-Гродно, мост через р. Припять на Р-88 возле г. Житковичи, сложные мостовые сооружения в г. Могилеве, г. Гродно, г. Бресте.

В рамках научно-технического сопровождения строительства мостовых сооружений были предотвращены многочисленные предаварийные и потенциально аварийные ситуации. Так, например, на мосту через р.Днепр по пр.Шмидта в г.Могилев в процессе выполнения ремонта, при демонтаже конструкций мостового полотна на левой полосе специалистами государственного предприятия «БелдорНИИ» было обнаружено, что преднапряженная арматура, удерживающая консоли промежуточных опор № 5 и № 6, частично разорвана или имеет следы язвенной коррозии. В зоне тротуаров над крайними консолями практически не осталось преднапряженной арматуры, в результате чего возникла необходимость в разработке проектных решений по устранению аварийной ситуации на мосту. Государственным предприятием «Белгипродор» совместно с государственным предприятием «БелдорНИИ» были разработаны решения по предотвращению обрушения руслового пролета и усилению всех пролетных строений.

На мосту через р.Днепр по пр.Пушкинскому в г.Могилев специалистами государственного предприятия «БелдорНИИ» были выявлены грубейшие проектные ошибки, допущенные при проектировании промежуточных железобетонных опор, а также металлической опоры индивидуальной проектировки. Указанные ошибки, при воплощении в жизнь, привели бы к обрушению пролетных строений. Своевременное выявление потребовало существенного усиления указанных конструкций и предотвратило возникновение аварийных ситуаций.

Государственное предприятие «БелдорНИИ» в 2017-2019 г.г. выполняло научно-техническое сопровождение строительства транспортной развязки на Западном обходе в г.Бресте. В процессе выполнения работ были выявлены:

- недостаточная несущая способность буровых столбов промежуточных опор, потребовавшая устройства дополнительных буровых столбов (до 25 % от общего количества);

- недостаточная несущая способность железобетонных пролетных строений, потребовавшая выполнения их усиления и возведения дополнительных опор.

В 2020 г. государственное предприятие «БелдорНИИ» осуществляет научно-техническое сопровождение реконструкции моста через р.Неман в г. Гродно с транспортными подходами ул.Южная-ул.Карского. В рамках выполняемых работ специалистами ГП «БелдорНИИ» был выполнен срочный перерасчет пролетных строений моста, вызванный изменившейся технологией возведения пролетных строений с определением напряжений в поясах главных балок, установлены приборы, контролирующие напряженно-деформированное состояние конструкций. Выполненные работы позволили в

режиме реального времени принимать важнейшие решения, связанные с возведением пролетных строений.

По результатам были предложены и реализованы технические решения, которые обеспечили требуемую эксплуатационную надежность уникального для республики сооружения.

Качественное и безопасное строительство мостовых сооружений – это главная задача отрасли, да и страны в целом. Без мостовых переходов невозможно передвижение грузов, автотранспорта и людей, нарушается сообщение между городами. Одним из ярчайших примеров этому может служить мостовой переход через реку Сож на автодороге М-8. Во время возведения нового моста движение по старому было закрыто – весь поток транспорта был направлен через Гомель, чем создавал ряд дополнительных неудобств, как автомобилистам, так и жителям города. Задача была поставлена не простая – качественно и в срок построить новый надежный мост, обеспечивающий необходимую пропускную способность и грузоподъемность сооружения.

Как показывает опыт, обеспечение надежности моста начинается с проекта строительства и этот процесс невозможен без организации научно-технического сопровождения. Необходимость проведения работ по научно-техническому сопровождению прописана в Строительных нормах Республики Беларусь СН 3.03.01-2019 п.5.1.2, которые являются обязательными к исполнению на территории республики.

Основная цель научно-технического сопровождения – достижение требуемого качества и безопасности сооружения путем разработки совместно с проектировщиком и производителем работ решений, обеспечивающих достижение заданных показателей качества и безопасности, выявления и своевременного устранения возможных потенциально опасных отклонений от проекта. На стадии проектирования эта цель достигается, в первую очередь, внедрением научных разработок, выполненных на основании теоретических и экспериментальных исследований новых конструкций, технологий и материалов. На стадии проектирования или даже еще обсуждения просчитываются все возможные варианты возведения конструкций или как в данном случае их безопасного демонтажа с использованием дополнительного усиления демонтируемых русловых конструкций пролетных строений канатами с предварительным натяжением.

Считаем, что такие обсуждения должны стать неотъемлемой частью проектных работ, а в случае с уникальными или сооружениями, носящими предаварийный характер – обязательными. Для обсуждения такого рода подготовлена площадка на базе Экспертного мостового совета, проводящегося на регулярной основе в государственном предприятии «БелдорНИИ».

В состав совета входят мостовики практически всех подведомственных организаций министерства, за частую, для обсуждения сложных вопросов, приглашаются и представители Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. На данном совете обсуждаются отраслевые вопросы различного рода от результатов обследований мостовых сооружений до выбора проектного решения позволяющего безопасно, качественного и в срок выполнить строительство или демонтаж конструкций мостового сооружения. Именно на экспертном мостовом совете впервые был предложен поэтапный демонтаж пролетных строений существовавшего железобетонного моста через р. Сож на км 426,8 автодороги М-8/Е95 гр. РФ (Езерище) - Витебск - Гомель - гр. Украины (Новая Гута) русловых пролетов методом уравновешенной разборки с последующим демонтажем пойменных пролетных строений методом взрыва.

В ходе научно-технического сопровождения строительства или реконструкции мостовых сооружений необходимо учитывать особенности их конструкций и сооружения в целом. Необходимо учитывать все изменения в поведении той или иной конструкции сооружения, анализировать и сопоставлять визуальные и инструментальные данные, для чего используются интеллектуальные системы, высокоточное оборудование и приборы, а также высококвалифицированные специалисты с огромным опытом работы. Всем этим обладает государственное предприятие «БелдорНИИ» и является эксклюзивным представителем Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь на объектах строительства.

Также необходимо отметить, что неотъемлемой частью при вводе в эксплуатацию внеклассных сооружений является его испытание. В ходе проведения испытаний сопоставляются проектные и фактические показатели сооружения полученные в натуре опытным путем, такие как прогибы или выгибы конструкций, напряжения в конструкциях моста, перемещения или смещение опорных частей, а также образование и раскрытие трещин.

Новый стальной мост через реку Сож на км 426,8 автодороги М-8/Е95 гр. РФ (Езерище) - Витебск - Гомель - гр. Украины (Новая Гута) с честью и достоинством выдержал все запланированные нагружения в ходе проведения испытаний, после чего торжественно в присутствии высокопоставленных государственных лиц 31 октября 2019 года было открыто движение по сооружению.

Государственное предприятие «БелдорНИИ» надеется также качественно и в срок и в дальнейшем проводить работы по научно-техническому сопровождению реконструкции и строительства мостовых сооружений на территории Республики Беларусь.

## **Влияние вида армирования на работу балок пролетных строений мостовых сооружений**

Гулицкая Л.В. к.т.н.<sup>1</sup>, Гусев Д.Е. к.т.н.<sup>2</sup>, Шиманская О.С.<sup>1</sup>  
Белорусский национальный технический университет<sup>1</sup>  
ООО «Экомост»<sup>2</sup>

*В исследовании выполнена оценка технико-эксплуатационного состояния мостовых сооружений с пролетными строениями из тавровых балок со смешанным и каркасным армированием длиной 12 м и 15 м, рассмотрены особенности грузоподъемности мостовых сооружений с такими пролетными строениями, выполнено сравнение параметров балок со смешанным и каркасным армированием.*

Опыт обследования мостовых сооружений на автомобильных дорогах Республики Беларусь показывает, что один из распространенных типов пролетных строений эксплуатируемых мостов и путепроводов – это сборные пролетные строения из тавровых балок длиной 12 м и 15 м. При этом такие балки, имея одинаковые геометрические размеры, могут быть с разным типом армирования:

- с каркасным армированием по типовому проекту серии 3.503-14 выпуск 5 Союздорпроекта;
- со смешанным армированием, то есть с рабочей каркасной и преднапряженной арматурой, по проектам ГП «Белгипродор».

Данное исследование выполнено с целью сравнения работы балок с различной конструкцией армирования, изготовленных в однотипной опалубке, а также с целью выработки рекомендаций по идентификации конструкции балок при обследовании сооружений.

Мостовые сооружения с пролетными строениями из тавровых балок длиной 12 м и 15 м со смешанным армированием разработки ГП «Белгипродор», в основном, были построены в РБ в конце 1980 – начале 1990 г.г. Данный период строительства характеризовался массовым применением таких балок. При проектировании мостовых сооружений считалось, что грузоподъемность балок с каркасным армированием и балок со смешанным армированием – одинаковая, но при этом балки со смешанным армированием давали некоторый выигрыш по стоимости и были проще по технологии изготовления (при этом изготавливались они в опалубке балок с каркасным армированием), что и определило в тот период их широкое применение. В настоящее время стоимость изготовления балок со смешанным

армированием в конечном итоге оказывается выше стоимости балок с каркасным армированием. Кроме этого, как показывает сравнительный анализ технико-эксплуатационного состояния эксплуатируемых мостовых сооружений с пролетными строениями из тавровых балок длиной 12 м и 15 м со смешанным армированием с применением современных методик расчета грузоподъемности, эти балки проигрывают аналогичным балкам с каркасной арматурой практически по всем критериям: по грузоподъемности, надежности, долговечности.

В качестве рабочей продольной арматуры балок с каркасным армированием применена арматура класса АIII в виде шести стержней  $\varnothing 28$  мм и двух стержней  $\varnothing 16$  мм. Рабочая продольная арматура балок со смешанным армированием выполнена в виде двух пучков из 28 проволок ВП диаметром 5 мм и двух стержней  $\varnothing 16$  мм из арматуры класса АIII.

Один из основных параметров технико-эксплуатационного состояния мостового сооружения – грузоподъемность по прочности и трещиностойкости, классы нагрузок типа АК и НК. Очень важным для определения грузоподъемности пролетных строений является то, что по действующим нормам балки с каркасным армированием и балки со смешанным армированием относятся к разным классам требований по трещиностойкости:

- для балок с каркасным армированием – категория по трещиностойкости 3в, основное требование по критерию трещиностойкости – максимальная ширина раскрытия трещин 0,03 см;

- для балок со смешанным армированием – категория 2б, основное требование по критерию трещиностойкости – допускается достижение растягивающих напряжений до значений, при которых начинается трещинообразование в растянутой зоне. Для цельноперевозимых конструкций со смешанным армированием это напряжение не должно превышать удвоенного расчетного сопротивления растяжению бетона при расчете по II-ой группе предельных состояний ( $2R_{bt\ ser}$ ).

Анализ результатов определения грузоподъемности эксплуатируемых мостовых сооружений с пролетными строениями из тавровых балок длиной 12 м и 15 м на основании актуального подхода к оценке трещиностойкости балок позволяет сделать следующие выводы:

- грузоподъемность балок с каркасным армированием по трещиностойкости выше, чем по прочности, так как ширина раскрытия трещин 0,03 см практически не достижима при действии нормативных нагрузок на сооружении;

- для балок со смешанным армированием – растягивающее напряжение уровня  $2R_{bt\ ser}$  легко достигается в конструкции даже при нагрузках значи-

тельно ниже проектных, если на пролетном строении уложены дополнительные слои мостового полотна (покрытия) или имеет место широкое ездовое полотно (при проезде более 2-х полос нагрузки).

При определении грузоподъемности пролетных строений важным параметром является также толщина слоев ездового полотна. Особенно важно это именно для пролетных строений из балок со смешанным армированием, так как такие балки очень чувствительны к этому показателю и любые изменения в толщине слоев (прежде всего, покрытия) проезжей части существенно сказываются на значении грузоподъемности.

Анализ грузоподъемности пролетных строений из балок с каркасным армированием показывает, что пролетные строения из таких балок имеют довольно высокую грузоподъемность, часто превышающую действующие значения норм – А14 и НК-112. Даже при значительных толщинах слоев ездового полотна грузоподъемность сооружения остается на достаточном уровне, при этом грузоподъемность по трещиностойкости таких балок всегда выше, чем по прочности.

Для балок со смешанным армированием картина совсем другая. Грузоподъемность по прочности едва достигает проектных нагрузок А11 и НК80, на которые они были запроектированы, и это при условии, что толщина слоев ездового полотна менее 25 см. Грузоподъемность по трещиностойкости для большинства балок со смешанным армированием оказывается ниже проектных значений и находится в пределах классов А8-А9, а при повышенной, по сравнению с проектной, толщине слоев ездового полотна она может быть еще ниже.

Визуально определить тип балок пролетных строений длиной 12 м и 15 м в большинстве случаев невозможно, так как они практически не отличаются и имеют одинаковые типоразмеры по причине того, что балки со смешанным армированием часто изготавливались в опалубке балок с каркасным армированием по типовому проекту серии 3.503-14 выпуск 5 СДП. Поэтому очень важным и актуальным вопросом при определении грузоподъемности таких мостовых сооружений является фактическая идентификация типа балок с уточнением типа армирования.

Как показывает опыт проведения обследований мостовых сооружений, идентификацию балок при проведении натурного обследования сооружения можно сделать при осмотрах торцов балок по наличию оголенных анкеров преднапряженной арматуры либо с помощью приборов обнаружения металлических включений в толще бетона. Такими приборами можно отследить фактическое расположение арматуры в зонах, где армирование каркасных и преднапряженных балок отличается.

### **Выводы**

1. При проведении обследования или диагностики мостовых сооружений с пролетными строениями из тавровых балок длиной 12 м и 15 м одна из первоочередных решаемых задач – это идентификация балок пролетных строений с целью уточнения типа армирования для последующего определения грузоподъемности пролетных строений и анализа технико-эксплуатационного состояния сооружения в целом.

2. В составе пролетных строений длиной 12 м и 15 тавровые балки со смешанным армированием являются гораздо худшими с точки зрения работы по I и II группам предельных состояний, чем аналогичные балки с каркасным армированием.

3. При выявлении недостаточной грузоподъемности пролетных строений из балок со смешанным армированием и необходимости доведения грузоподъемности до уровня А14 и НК112, требуется усиление данных балок.

### **Литература**

1. Мосты и трубы. Строительные нормы Республики Беларусь : СН 3.03.01-2019. – Введ. 31.10.2019 (введены впервые). – Минск : Министерство архитектуры и строительства РБ, 2020. – 279 с.

2. Правила определения грузоподъемности железобетонных и сталежелезобетонных балочных пролетных строений автодорожных мостов : ТКП 479-2019. – Введ. 09.10.2019 (введен впервые). – Минск : Министерство транспорта и коммуникаций РБ, 2019. – 271 с.

3. Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний : ТКП 45-3.03-60-2009. - Введ. 18.09.2009 (введен впервые). – Минск : Министерство архитектуры и строительства РБ, 2009. – 30 с.

4. Гулицкая Л.В., Гусев Д.Е., Шиманская О.С. Анализ работы тавровых балок со смешанным армированием в пролетных строениях мостовых сооружений // Автомобильные дороги и мосты. – 2017. – № 1 (19). – С. 50–55.

## **Особенности конструкции и содержания монолитных рамно-консольных и балочно-консольных мостовых сооружений**

Л.В.Гулицкая к.т.н., О.С.Шиманская  
Белорусский национальный технический университет

*Рассмотрены особенности монолитных рамно-консольных и балочно-консольных мостовых сооружений, построенных в 1951–53 гг., в период послевоенного строительства и восстановления мостовых сооружений. Выполнено исследование технико-эксплуатационного состояния мостовых сооружений, определены характерные дефекты конструкций. Рассмотрены вопросы грузоподъемности рамно-консольных и балочно-консольных мостовых сооружений и разработаны рекомендации для обеспечения дальнейшей безопасной эксплуатации мостовых сооружений данной конструкции.*

Особый интерес с точки зрения анализа актуального технико-эксплуатационного состояния вызывают железобетонные монолитные рамно- или балочно-консольные мостовые сооружения, которые были построены в конце 40-х, начале 50-х годов прошлого века, в период послевоенного строительства и восстановления мостовых сооружений. Такие сооружения в настоящее время эксплуатируются на автодорогах Республики Беларусь. Обеспечение их дальнейшей безопасной эксплуатации является альтернативой полной либо частичной перестройке сооружений. Сотрудниками научно-исследовательской лаборатории мостов и инженерных сооружений (НИЛ МИС) Белорусского национального технического университета были проведены работы по исследованию технико-эксплуатационного состояния железобетонных монолитных рамно-консольных и балочно-консольных мостовых сооружений, которые были построены в 1951–53 гг. по проектам Московской конторы изысканий и проектирования Союздорпроекта Гушосдора МВД СССР применительно к схемам Сборника типовых проектов железобетонных и каменных искусственных сооружений Союздорпроекта МВД СССР Гушосдора, выпуск 6, 1947 года [5]. В результате проведенных исследований получены данные, которые позволяют проанализировать особенности конструкции мостовых сооружений с монолитными железобетонными рамно-консольными (рис. 1) или балочно-консольными пролетными

строениями (рис. 2, рис. 3), характерные дефекты элементов таких сооружений, дать оценку грузоподъемности сооружений и сформулировать основные рекомендации по режиму их дальнейшей безопасной эксплуатации.

Особенности конструкции монолитных рамно-консольных мостовых сооружений [5]:

- каждое из обследованных сооружений представляет собой однопролетную железобетонную раму с въездными консолями, въездные консоли пролетного строения сопрягаются непосредственно с насыпями подходов, не имеют устойчивых опираний,

- пролетное строение состоит из двух главных балок переменной высоты, жестко объединенных со стойками опор, образуя рамную конструкцию; главные балки объединены плитой проезжей части, поперечными балками и распорками, выполненными в осях опор; монолитные тротуарные консоли выполнены совместно с монолитной плитой проезжей части.



Рис. 1. Путепровод на км 81,071 автомобильной дороги Р-2 Столбцы – Ивацевичи – Кобрин

Особенности конструкции мостовых сооружений с монолитными железобетонными балочно-консольными пролетными строениями [5]:

- пролетные строения таких сооружений – анкерные двухконсольные либо коромыслового типа, могут быть дополнены железобетонной подвеской; въездные консоли пролетного строения сопрягаются непосредственно с насыпями подходов, не имеют устойчивых опираний;

- пролетные строения состоят из двух главных балок переменной высоты с переменным очертанием нижней грани, часто параболическим, и продольной балки, расположенной по оси пролетных строений; главные балки и продольная балка объединены плитой проезжей части и поперечными балками; монолитные тротуарные консоли выполнены совместно с монолитной плитой проезжей части;



Рис. 2. Мост через р.Щара на км 125,40 автомобильной дороги Р-2 Столбцы – Ивацевичи – Кобрин



Рис. 3. Мост через р. Гривда на км 140,577 автомобильной дороги Р-2 Столбцы – Ивацевичи – Кобрин

- опоры таких сооружений выполнены монолитными массивными либо монолитными двухстолбчатыми с объединением столбов в верхней части – распорками, в нижней части – монолитным массивом (при пересечении водотоков); в телах массивных опор либо в телах столбов устроены колодцы для размещения подвижных валковых опорных частей.

На обследованных сооружениях ремонтные работы выполнялись в разное время либо не выполнялись вообще, что отразилось на технико-эксплуатационном состоянии объектов. При анализе технико-эксплуатационного

состояния конструкций монолитных рамно-консольных или балочно-консольных мостовых сооружений определены следующие характерные дефекты:

- просадка насыпи на сопряжении с въездными консолями сооружений, трещины, просадки покрытия;
- поперечные трещины шириной раскрытия  $0,2 \div 0,5$  мм по плите пролетных строений, расположенные на расстоянии  $0,2 \div 0,6$  м от оси опор;
- поперечные трещины шириной раскрытия  $0,5 \div 1$  мм по консолям плиты пролетных строений над опорами, а также по тротуарным консолям, выщелачивание бетона по трещинам;
- деструкция бетона опорных узлов подвесных пролетных строений, отсутствие герметичности деформационных швов над этими зонами;
- габарит ездового полотна таких сооружений составляет  $6,9 \div 7,0$  м, что не соответствует нормативному значению пропускной способности.

Определение грузоподъемности сооружений производилось с использованием ПК MIDAS CIVIL и ПК ЛИРА. Как показали результаты проведенных расчетов, слабым элементом таких сооружений является плита пролетных строений и продольная балка (при её наличии). Полученный минимальный класс грузоподъемности пролетных строений составляет А8÷А9 и НК-50÷НК-73.

Для доведения грузоподъемности сооружений до уровня нормативных нагрузок А14 НК-112 рекомендуется мероприятия по усилению в рамках капитального ремонта – устроить плиту усиления, включенную в совместную работу с главными балками пролетного строения. При устройстве такой плиты возможно также увеличение габарита проезда по сооружению до Г-8 за счет монолитных консолей нужной ширины. Однако для увеличения габарита до значения Г-10 и более, устройства монолитной плиты недостаточно. Для этого необходимы дополнительные несущие элементы, в качестве которых рекомендуются дополнительные приставные балки и уширение существующих опор. Кроме того, для сооружений с подвесными пролетными строениями целесообразно устроить неразрезность над деформационными швами подвески с усилением узлов опирания.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что, несмотря на значительный срок службы мостовых сооружений рамно-консольной или балочно-консольной системы, их несущие элементы находятся в удовлетворительном состоянии и имеют перспективный эксплуатационный ресурс без необходимости полной перестройки объектов. Основные факторы морального износа таких сооружений – недостаточный габарит проезда и несоответствие грузоподъемности требованиям современных норм – могут быть устранены при капитальном ремонте сооружений, что

предполагает сравнительно небольшие капитальные вложения по сравнению с полной перестройкой сооружений.

### **Литература**

1. Правила определения грузоподъемности железобетонных и стале-железобетонных балочных пролетных строений автодорожных мостов : ТКП 479-2019. – Введ. 09.10.2019 (введен впервые). – Минск : Министерство транспорта и коммуникаций РБ, 2019. – 271 с.
2. Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний : ТКП 45-3.03-60-2009. - Введ. 18.09.2009 (введен впервые). – Минск : Министерство архитектуры и строительства РБ, 2009. – 30 с.
3. Осипов В.О., Кузьмин Ю.Г. Содержание, реконструкция, усиление и ремонт мостов и труб. – М.: Транспорт, 1996. – 471 с.
4. Усиление железобетонных балочных пролетных строений автодорожных мостов. Обзорная информация. – М.: ЦБНТИ Минавтодора РСФСР, 1987. – Вып. 2. – 55с.
5. Сборник типовых проектов железобетонных и каменных искусственных сооружений, выпуск 6: Союздорпроект МВД СССР Гушосдора, 1947 г.



**Секция  
«Механизация и автоматизация  
дорожно-строительного комплекса»**

## **Создание многофункциональной машины для коммунального хозяйства на базе автомобиля МАЗ-5550С5**

Гарост М.М., Шнаркевич А.А.

Белорусский национальный технический университет

*Рассмотрены современные тенденции совершенствования конструкции машин для коммунального хозяйства. Разработана конструкция многофункциональной машины для коммунального хозяйства, которая функционирует по трем технологиям: уборка снега отвалом; распределение противогололёдных материалов; ямочный ремонт дорожных покрытий. Предложены технические решения, повышающие проходимость базового шасси коммунальной машины.*

Проблемы эксплуатации и экологического благоустройства существующего коммунального хозяйства Республики Беларусь решаются путем привлечения новых наукоёмких технологий, инновационных управленческих решений и высокоэффективной техники.

Тенденции развития дорожно-эксплуатационной службы характеризуются реализацией ряда технико-экономических мероприятий [1]:

- городские дорожно-коммунальные службы и дорожное хозяйство для контроля за работой техники оснащаются эффективными микропроцессорными системами управления на базе широкого использования роботизированной техники и спутниковых систем навигации ГЛОНАСС и GPS;

- новые дорожные машины оснащаются оборудованием, обеспечивающим более высокий уровень механизации работ при существенно меньших ресурсозатратах на основе использования многоцелевой компьютеризированной техники, способной за один рабочий ход выполнять весь цикл технологических операций;

- машины имеют высокоэффективную систему сервисного сопровождения.

Создание новых более совершенных технологий и многофункциональных машин, эффективное их использование становятся приоритетными вопросами развития коммунального хозяйства Республики Беларусь. Производство комбинированных дорожных машин для круглогодичного содержания автомобильных дорог в СССР началось в 1963 г. на Смоленском опытно-экспериментальном заводе дорожного оборудования им. М.И. Калинина [1].

Многоцелевые или многофункциональные комбинированные и универсальные машины успешно конкурируют с узко специализированными и в ряде случаев превосходят их экономически. Классификация таких машин приведена на рисунке 1 [1].

Машины многоцелевого назначения совершенствуются, в основном, по трём направлениям [1]:

- создание машин с расширенным комплектом сменных рабочих органов, навешиваемых на базовую машину в зависимости от потребности и характера выполняемых работ (комбинированные и универсальные машины);
- создание машин с постоянно установленными на них несколькими рабочими органами различного назначения (комбайны, ремиксеры, ре-сайклеры и др., выполняющие за один рабочий ход несколько технологических операций);
- создание многоцелевого универсального рабочего органа к базовой машине, способного выполнять ряд функций, для выполнения которых ранее требовалось несколько специализированных машин.

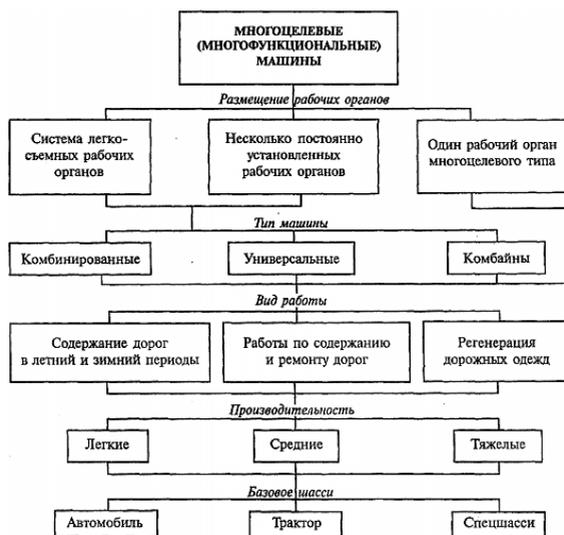


Рис. 1. Классификация многоцелевых (многофункциональных) машин

Реализация первого направления позволяет машинам выполнять больше технологических операций. Универсальные малогабаритные короткобазные машины, выпускаемые в ЕС, США и КНР, имеют разные исполнения и оснащаются различными сменными рабочими органами, позволяющими им работать круглогодично. Здесь следует отметить, что машины второго и

третьего направлений всегда готовы к работе. При эксплуатации машин первого направления всегда требуется время на замену оборудования, подвоз новых рабочих органов, вывоз снятых, их транспортировка, охрана и т.д. Коэффициент использования таких машин снижается [1].

Конструктивно многофункциональные машины создаются в основном на базе «лёгких» и «средних» базовых автомобилей, а специализированные – и на базе «тяжёлых» машин. «Лёгкие» и «средние» функциональные машины имеют комплект сменных рабочих органов к базовому автомобилю. Специализированные многоцелевые машины определённого технологического назначения оснащаются несколькими рабочими органами на специальном шасси.

Использование многофункциональных машин с большим количеством сменного оборудования оправдано экономически. Целесообразность их эксплуатации определяется возросшими объёмами работ по всесезонному содержанию улично-дорожной и дворовой сети. Различным оборудованием (плужным и щётчным, распределяющим для реагентов, поливомоечным с возможностью использования в режиме пожаротушения) машины легко комплектуются в зависимости от потребности. Это позволяет использовать одну машину для выполнения требуемых видов работ, как в летний, так и в зимний период.

Предприятие-потребитель имеет выбор приобрести машину, как в комбинированном варианте, меняя в зависимости от времени года оборудование, так и сезонном (летнее исполнение - поливомоечное и подметальное оборудование, зимнее - пескоразбрасывающее, плужное и щётчное оборудование). Широкий спектр машин и навесного оборудования в настоящее время предлагают практически все производители такой техники [1].

Машины для распределения противогололедных материалов в виде песчано-соляной смеси (далее – ПСС) получили широкое применение в дорожной отрасли и выпускаются в Республике Беларусь несколькими машиностроительными предприятиями: Фанипольский ОМЗ (г. Фаниполь), КУП «Дорвектор-Маш» (г. Молодечно), «Комдор» (г. Вилейка, Минская обл.) и др.

Комбинированные дорожные машины (КДМ) представляют собой базовое пневмоколёсное шасси, на которое устанавливается легко сменяемое оборудование для содержания улично-дорожной и дворовой сети. Машины используются в течение всего года и применяются в зимний период с оборудованием для борьбы со скользкостью дорог, а также уборки с поверхности свежевыпавшего или обработанного технологическими материалами снега; в летнее время года с оборудованием для мойки, подметания, текущего ремонта асфальтобетонных и цементобетонных покрытий и других элементов. Рабочее оборудование таких машин заменяется практически

один раз за сезон. И это экономически оправдывает их широкое применение [1].

Развитию многофункциональных машин способствует модульный принцип проектирования машин. Это позволяет существенно сократить стоимость и повысить качество техники.

КДМ может комплектоваться различным съемным навесным оборудованием [2, 3]:

- автогудронатор;
- передние отвалы для уборки с дороги снега, шуги и наледи;
- боковые отвалы для уборки снега, очистки обочин;
- средние грейдерные отвалы для очистки дороги от снега и наледи;
- распределители противогололедных реагентов для обработки проезжей части твердыми противогололедными реагентами (песок, песчано-соляная смесь, чистая соль, гранитная крошка);
- распределители жидких противогололедных реагентов;
- подметальные щетки для очистки дорожного полотна зимой и летом;
- передние и задние рампы с форсунками высокого и низкого давления для мойки и полива проезжей части и насаждений летом;
- щебнераспределитель.

Кроме того, КДМ может комплектоваться манипулятором, которым можно загружать установленный бункер, выполнять подсыпку щебня и песка для выравнивания дорожных обочин.

Таким образом, на базе шасси одной машины можно «собирать конструктор» из набора различного оборудования.

В государственном унитарном предприятии «Жилищное ремонтно-эксплуатационное объединение Заводского района г. Минска» разработано техническое задание на многофункциональную машину (базовое шасси автомобиль МАЗ-5550С5) для установки съемного пескоразбрасывающего оборудования, установки для ямочного ремонта типа «Тайфун», навешивания переднего снегоуборочного отвала. Пескоразбрасывающее оборудование и снегоуборочный отвал изготовлены КУП «Дорвектор-Маш» (г. Молодечно). Установка ямочного ремонта будет выполнена съемной и предназначена для выполнения текущего ремонта улично-дорожной и дворовой сети по методу струйно-инъекционной технологии.

В результате оснащения автомобиля МАЗ-5550С5 съемным оборудованием расширяется номенклатура выполняемых машиной задач:

1. Перевозка сыпучих и штучных грузов без использования съемного оборудования круглогодично;
2. Уборка улично-дорожной и дворовой сети от снега в зимнее время года за счет установки съемного переднего поворотного отвала.

3. Посыпка улично-дорожной и дворовой сети ПСС и реагентами в зимнее время года;
4. Текущий ремонт улично-дорожной и дворовой сети по методу струйно-инъекционной технологии в период с весны до осени.
5. Устройство многофункциональной машины приведено на рисунке 2.



Рис. 2. Многофункциональная машина на базе автомобиля МАЗ- 5550С5:  
 а) вид спереди; б) вид на плиту крепления отвала; в) вид сзади:  
 1 – передний поворотный отвал, 2 – плита, 3 – передняя поперечина,  
 4 – базовый автомобиль, 5 – болтовое соединение М12, 6 – оборудование  
 пескоразбрасывающее, 7 – самосвальная платформа

Передний поворотный отвал 1 крепится к плите 2, закрепленной на передней поперечине 3 рамы базового автомобиля 4 стандартными болтовыми соединениями М12 5 (всего 14 шт., по 7 с каждой стороны). Оборудование

пескоразбрасывающее 6 устанавливается на самосвальную платформу 7 базового автомобиля 4 и надежно крепится к ней посредством двух талрепов (на рисунке 2 не показаны).

Основные технические характеристики многофункциональной машины на базе автомобиля МАЗ-5550С5 приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные технические характеристики многофункциональной машины на базе автомобиля МАЗ-5550С5

Наименование параметра	Значение
Колесная формула/ведущие колеса	4x2/задние
Схема компоновки	кабина над двигателем, расположение двигателя – переднее продольное
Использование грузозачного пространства	самосвальная платформа с установленным бункером и пескоразбрасывающим оборудованием
Масса в снаряженном состоянии, кг	11400
Технически допустимая максимальная масса, кг	19000
База, мм	3600
Колея колес, мм	2040/1820
Двигатель (марка, тип)	ЯМЗ-53603, четырехтактный, дизельный, с турбонаддувом и промежуточным охлаждением наддувочного воздуха
-количество и расположение цилиндров	6, рядное
-рабочий объем цилиндров, см <sup>3</sup>	6650
-степень сжатия	15,1
-максимальная мощность, кВт	241
-максимальный крутящий момент, Нм	1275
Топливо	дизельное
Трансмиссия (тип)	механическая
Сцепление (тип)	однодисковое, сухое, фрикционное
Коробка передач (марка, тип)	ZF 9S1310N0, механическая, девятиступенчатая, с ручным управлением

Продолжение таблицы 1

Дополнительное оборудование	световая панель 1 шт., проблесковые маяки желтого цвета 2 шт., оборудование пескоразбрасывающее ДС-303 ОПС 8.05, отвал поворотный ОПП-3.6
Габаритные размеры, мм	
-длина	
при повернутом влево отвале:	8960
при повернутом вправо отвале:	9190
-ширина	
при повернутом влево отвале:	3300
при повернутом вправо отвале:	3050
-высота	3230
Сменное навесное оборудование	
Пескоразбрасывающее оборудование:	
Высота расположения диска от поверхности дороги, мм	от 250 до 500 включительно
Монтаж и демонтаж навесного оборудования	без использования грузоподъемных механизмов
Ширина распределения противогололедных реагентов, м	от 4 до 10 включительно
Максимальная скорость движения при распределении реагентов, км/ч	не менее 40
Ширина посыпки, м	от 2 до 10 включительно
Плотность распределения, г/м <sup>2</sup>	от 5 до 500 включительно
Частота вращения распределяющего диска, об/мин	50
Передний поворотный отвал:	
Рабочая ширина отвала, мм	3500
Высота крыла отвала, мм	800
Максимальный угол поворота отвала, градусов	от 35 до 50 включительно
Ширина снегоочистки, мм	не более 2600

Для КДМ периодически возникает необходимость передвигаться в сложных дорожных условиях при снежных заносах, гололеде. Повысить проходимость КДМ можно за счет полноприводного шасси. Однако комплектование базового шасси полноприводной трансмиссией механического типа с раздаточной коробкой, ведущим передним мостом и дополнительной карданной передачей увеличивает общую массу самосвала и повышает потребление топлива [4]. Немецкий концерн DaimlerTrucks разработал более оптимальный вариант для тех машин, которые лишь эпизодически оказываются на бездорожье: гидравлический вспомогательный привод [4]. Такой

привод в два с лишним раза легче механического, выполнен необслуживаемым и способен автоматически регулировать величину подаваемого к передним колесам крутящего момента в зависимости от условий движения. Кроме того, при превышении скорости в 30 км/ч, то есть когда дорожные условия улучшились, гидравлический привод самостоятельно отключает передний мост от трансмиссии. Активация гидравлического вспомогательного привода происходит лишь одним нажатием кнопки. В состав вспомогательного гидропривода входят соединенные посредством гидравлических линий насос высокого давления, передний мост с мотор-колесами, боковой охлаждающий модуль и блок управления клапанами, передающий постоянный объем жидкости из магистрали высокого давления в магистрали низкого давления (рисунок 3).

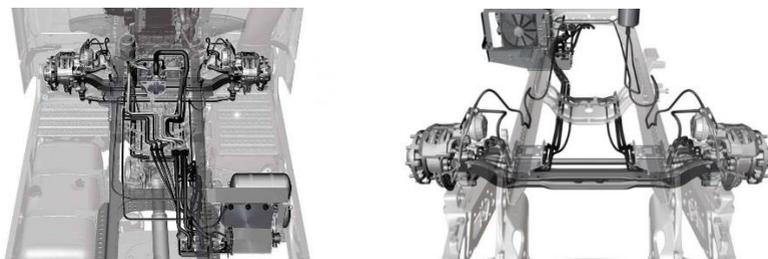


Рис. 3. Вспомогательный гидравлический привод автомобиля Mercedes-Benz Arocs HD

При эксплуатации КДМ также требуется учитывать климатические условия, оказывающие большое влияние на обеспечение безопасности дорожного движения. Основным фактором, влияющим на безопасность движения при взаимодействии колеса с дорожным покрытием, является коэффициент сцепления, зависящий от погодных условий, качества материала покрытия и эксплуатации автомобильной дороги [5]. Наиболее простым и эффективным является применение средств противоскольжения, которые можно задействовать автоматически или в ручном режиме при возникновении необходимости в преодолении сложного участка дороги, что уменьшит количество ДТП, время простоя транспорта. Предлагается оборудовать автомобиль МАЗ-5550С5 автоматическими цепями противоскольжения с отсекателем (рисунок 4).

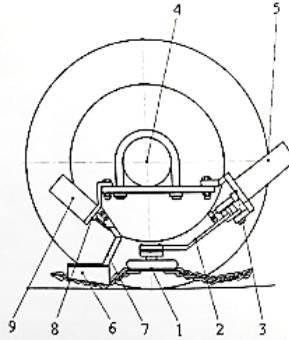


Рис. 4. Автоматические цепи противоскольжения с отсекателем:  
 1 – цепной шкив, 2 – поворотный рычаг, 3 – монтажная пластина,  
 4 – задняя ось автомобиля, 5 – корпус привода цепей, 6 – отсекатель  
 цепи, 7 – подвижный рычаг, 8 – монтажная пластина, 9 – корпус  
 привода отсекателя

Это устройство (рисунок 4) состоит из цепного шкива 1, закрепленного на поворотном рычаге 2, который шарнирно соединен с монтажной пластиной 3, жестко закрепленной на задней оси автомобиля 4. Электрический линейный привод расположен внутри корпуса привода цепей 5 и прикреплен к монтажной пластине 3. Отсекатель цепи 6 закреплен на подвижном рычаге 7, который шарнирно соединен с монтажной пластиной 8, жестко закрепленной на оси автомобиля 4, и приводится в действие с помощью электрического линейного привода, расположенного в корпусе отсекателя 9 [5]. Работает устройство следующим образом. Цепной шкив закреплен на первом рычаге, который шарнирно соединен с монтажной пластиной, жестко закрепленной на задней оси автомобиля, приводится в действие электрическим линейным приводом. При включении привода устройства рычаг смещается из сложенного положения относительно монтажной пластины в направлении выпрямления, которое приводит шкив в контакт с колесом автомобиля. Перед приведением в действие электрического линейного привода для возвращения рычага в начальное положение с помощью электрического линейного привода приводится в действие отсекатель цепи, предотвращающий попадание последующих цепей под колесо, при этом цепной шкив свободно возвращается в нерабочее положение, а затем и сам отсекатель перемещается в нерабочее положение [5].

Для дорожных условий, на которых не выполняется условие проходимости с цепями противоскольжения, требуются другие технические решения, увеличивающие значение коэффициента сцепления, обеспечение привода всех колес, т. е. коэффициент нагрузки колес равен единице. Ощутимый эффект повышения проходимости наблюдается лишь при глубине снега

до  $0,5 R_k$  ( $R_k$  - радиуса колеса), при этом происходят повышение тягово-сцепных свойств машины (сила тяги увеличивается в среднем на 30 %) и незначительный рост сопротивления движению (сила сопротивления возрастает на 10–15 %) [6].

Быстро устанавливаются на неподвижные колеса и также быстро могут быть демонтированы после преодоления сложного скользкого участка дороги или подъема аварийные сегментные цепи Pwagservino (рисунок 5). Модель цепи типа А универсальная и рассчитана на размеры шин: 10.00 R20 – 315/80 R22.5 [6].



Рис. 5. Аварийные сегментные цепи Pwagservino

Существует проблема устойчивости автомобиля-самосвала при разгрузке. Главным признаком потери устойчивости является опрокидывание. Под поперечной устойчивостью понимают способность автомобиля сохранять контакт всех колес с полотном дороги. В большинстве случаев опрокидывание автомобиля в поперечной плоскости возникает [7]:

- при движении на высокой скорости на крутых поворотах;
- вследствие резкого прекращения бокового заноса при наезде задним колесом на какое-либо препятствие;
- при неравномерном расположении груза в кузове автомобиля или его перемещении на повороте и др.

Все вышесказанное в полной мере относится к автомобилям-самосвалам. Кроме того, для данного класса машин существует опасность потери устойчивости автомобиля в процессе его разгрузки.

Опыт эксплуатации показывает, что при разгрузке самосвалов на подготовленных ровных площадках не происходит отрыва колес от полотна дороги. Опрокидывание автомобиля чаще всего происходит при разгрузке на наклонных площадках. Причем площадки разгрузки могут иметь как продольный, так и поперечный уклон. В этой связи основной задачей при расчете устойчивости автомобиля в таких случаях является определение предельно допустимого угла наклона площадки разгрузки, а также нагрузок, действующих на несущую систему автомобиля [7].

Для обеспечения безопасного движения колесной машины необходимо, чтобы в ее конструкцию были заложены параметры, не допускающие ее опрокидывания до наступления бокового скольжения, так как опрокидывание приводит к более тяжелым последствиям [8].

Для сокращения парка узкоспециализированной техники и финансовых затрат на их содержание целесообразно оснастить многофункциональную машину фронтальной щеткой, щеткой для мойки барьерных ограждений, тротуарной щеткой.

Чтобы обеспечить безопасную эксплуатацию такой машины необходимо выполнить расчет на устойчивость для разных вариантов установки съемным рабочим оборудованием.

### Литература

1. Коммунальные машины. Конструкция. Расчет. Потребительские свойства : учеб, пособие / [В.И. Баловнев и др.] ; под общ.ред. В.И. Баловнева, С.Н. Иванченко. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2019.– 384 с.
2. Вавилов А.В. Машины по содержанию и ремонту автомобильных дорог и аэродромов: Вавилов А.В., Щемелев А.М., Бочкарев Д.И., Гатальский Л.А., Купченко А.И. Минск: БНТУ, 2003. – 408 с.
3. Обзоркомбинированных дорожных машин / журнал «Основные средства» / Д. Вишневецкий // журнал «Основные средства». – 2020. – № 3.
4. Манаров Н. Mercedes-Benz Arocs HD. Гидравлический момент // Спецтехника и коммерческий транспорт, 2015, № 5, с. 36–37.
5. Устройство для повышения проходимости грузовых автомобилей [Текст] / А. Н. Заикин [и др.] // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2019. – № 12. – С. 22–25.
6. Бобровник А.И. Повышение проходимости автомобиля МАЗ сельскохозяйственной модификации // Наука и техника. 2014; № 4: С. 71–62.
7. Барышников Ю.Н. Устойчивость автомобиля-самосвала при разгрузке. Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация // Машины и Установки: проектирование, разработка и эксплуатация. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 03. С. 51–61.
8. Мамити Г.И., Плиев С.Х. Формирование оптимальной устойчивости колесной машины на стадии проектирования // Вестник машиностроения, 2009, № 2, с. 84–85.

## **Механизация сбора в городах ТКО и их вывоза на переработку**

Бурмак И.В.

Белорусский национальный технический университет

*В докладе рассматривается новая система сбора и транспортирования твердых коммунальных отходов (ТКО) с использованием отечественного мусоровозного транспорта. Внедрение данной технологии позволит повысить эксплуатационную производительность комплекта машин для сбора и транспортирования ТКО, и, следовательно, снизить расходы на их эксплуатацию.*

По статистике, каждый из нас отправляет на свалку примерно 400 кг ТКО в год и тем самым усложняет экологическую обстановку, нанося немалый вред окружающей среде и здоровью людей. Данная проблема особенно актуальна для крупных городов, в которых увеличение плотности населения является следствием роста количества образуемых ТКО, что способствует ускорению процесса заполнения полигонов для их захоронения. Поэтому неудивительно, что на сегодняшний день г. Минск и часть Минского района обслуживает только один полигон ТКО – «Тростенецкий» (хотя еще в 2017 г их было три), расположенный в заводском районе столицы.

Для снижения нагрузки на данный полигон, свободные площади на котором тают катастрофически быстро, рекомендуется предпринимать следующие меры:

1) осуществлять сортировку ТКО (начиная с граждан) и в дальнейшем перерабатывать во вторичные востребованные продукты. С 1 сентября 2020 г. вступил в силу технический кодекс «Правила обращения с коммунальными отходами», согласно которому пластик, бумага, стекло и остальные отходы должны вывозиться с контейнерных площадок разными мусоровозами. При этом затраты на сбор и переработку таких отходов должны быть минимально возможными.

2) строить новые полигоны с учетом современных экологических стандартов. Главным недостатком данного варианта является большая отдаленность свалок от городской территории и, соответственно, увеличенное плечо доставки, что вызывает необходимость в модернизации ныне функционирующей одноэтапной системы сбора и транспортирования ТКО с целью снижения финансовых затрат.

Одноэтапная система сбора и транспортирования ТКО (рисунок 1) функционирует следующим образом [1]:

1) Организация временного хранения ТКО в несменяемых контейнерах объемом  $0,75 \dots 1,1 \text{ м}^3$ ; количество контейнеров должно быть пропорционально количеству жильцов, их обслуживающих;

2) Доставка ТКО с территорий домовладений на мусорные полигоны посредством мусоровозного транспорта. Каждый мусоровоз движется согласно индивидуальному маршрутному графику по своим адресам (пунктам сбора), количество которых варьируется примерно от 30 до 80; различно также и количество контейнеров в данных пунктах, их может быть как 1...2 для мелких организаций, школ и т.д., так и в разы больше – ЖЭУ, общежития и т.д.

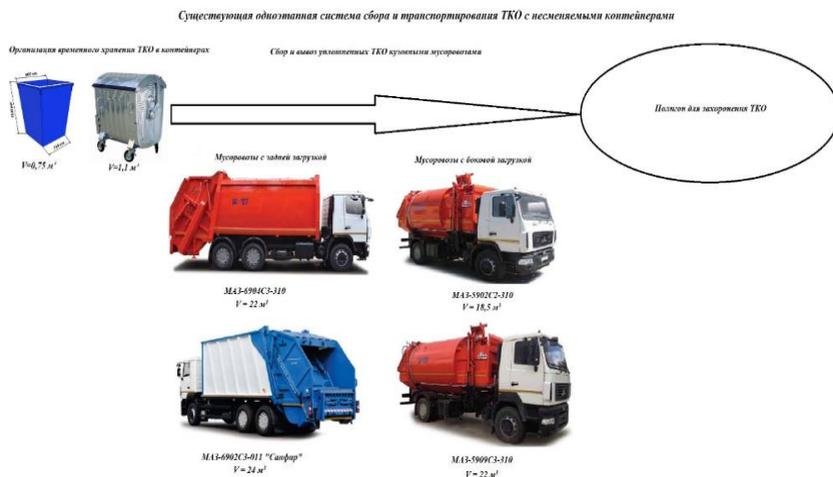


Рис. 1. Одноэтапная система сбора и транспортирования ТКО

ОАО «МАЗ» - управляющая компания холдинга «БЕЛАВТОМАЗ» - одно из крупнейших предприятий на территории Республики Беларусь по выпуску мусоровозного транспорта, большая часть которого обеспечивает функционирование приведенной выше системы. В таблице 1 приведены основные показатели мусоровозов с задней и боковой загрузкой, изображенных на рисунке 1.

Таблица 1. Основные показатели мусоровозов, выпускаемых ОАО «МАЗ», для функционирования одноэтапной системы сбора и транспортирования ТКО

Марка мусоровоза	с задней загрузкой		с боковой загрузкой	
	МАЗ-6904С3-310	МАЗ-6902С3-011 «Сапфир»	МАЗ-5902С2-310	МАЗ-5909С3-310
Основные показатели				
Технологическая вместимость кузова, м <sup>3</sup>	22	24	18,5	22
Грузоподъемность опрокидывателя (манипулятора), кг	700	700	700	700
Масса загружаемых отходов, кг, не более	15750	10000	9080	8535
Масса снаряженная, кг	15750	16500	11100	12820
Габаритные размеры, мм	9700x2550 x3800	9705x2500 x3730	7650x3750 x2550	8850x2460 x3415

Предлагается усовершенствовать рассмотренную выше систему сбора и доставки ТКО. Совершенствование должно идти в следующем направлении. Учитывая, что сбор ТКО во дворах затруднен из-за стоянки личного транспорта, базовая машина для сбора должна быть легко проезжаемой и маневренной во дворах, т.е. иметь относительно небольшие габаритные размеры. Ее рабочее оборудование должно включать бункер для сбора ТКО, манипулятор (опрокидыватель) для захвата контейнера и выгрузки из него содержимого, а также устройства для уплотнения выгружаемого в контейнер ТКО (коэффициент уплотнения при плотности ТКО 135 кг/м<sup>3</sup> обычно не превышает 4). Но учитывая то, что вместимость кузова таких машин невелика, а транспортировать ТКО придется в недалеком будущем все дальше и дальше от города на несколько десятков километров, возникает необходимость в оборудовании промежуточного пункта сбора ТКО (рисунок 2) и перегрузки таких отходов в контейнеры объемом свыше 30 м<sup>3</sup> большегрузных транспортных автомобилей, оборудованных системой «Мультилифт» с крюковым захватом. Тогда транспортная составляющая не будет серьезно ощутимой при постоянно растущем плече доставки ТКО к местам хранения или переработки.

Еще большую массу ТКО можно перевозить на таких машинах, если на промежуточных пунктах их сбора использовать устройства для уплотнения отходов (пресс) внутри контейнеров или ролл каток [2], в котором вращающийся вал, перекатываясь по содержимому открытого контейнера, дробит и уплотняет отходы в несколько раз.



Рис. 2. Двухэтапная система сбора и транспортирования ТКО

В качестве транспортного мусоровоза можно использовать отечественный автомобиль – мультилифт MAZ-6950C5-1104000-001 [3] производства ОАО «МАЗ», основные показатели которого приведены в таблице 2.

Таблица 2. Основные показатели автомобиля – мультилифта MAZ-6950C5-1104000-001

Основные показатели	Технические данные
Базовое шасси	MAZ-6312C5-0008529-012
Грузоподъемность, кг	14800
Емкость кузова, м <sup>3</sup>	34
Двигатель	ЯМЗ-53603 (Евро-5)
Коробка передач	ZF 9S1310TO
Масса снаряженная, кг	15600
Габаритные размеры, мм	9900x2550x4000

### Литература

- Щемелев, А.М. Машины для коммунального хозяйства / А.М. Щемелев, А.В. Вавилов, В.М. Пилипенко; под ред. А.М. Щемелева. – Минск: НПО «Стринко», 2003. – 375 с.
- Вавилов А.В. Сбор ТКО должен стать эффективным / А.В. Вавилов // Живи как хозяин. – 2015. – № 11. – С. 84–85.
- <http://maz.by/documents/catalogs/b6485763add3337cc08b47fa1f435096.pdf>

## **Инженерное обеспечение речной переправы с помощью канатных систем**

Вавилов А.В., Шавель А.А., Игнатович Н.С.  
Белорусский национальный технический университет

*В статье отмечаются преимущества речных переправ с помощью канатных систем на реках Беларуси с быстрым течением, преимущественно расположенных в северной части республики. На возведение речных переправ с помощью канатных систем требуется значительно меньше финансовых средств, чем на строительство мостов, что не маловажно в условиях стеснённого финансирования. Рекомендовано инженерное обеспечение речной переправы, оборудованной канатными системами с учетом мирового опыта.*

В мировой практике канатные системы применяют для транспортировки грузов в условиях невозможности применения традиционного транспорта.

Так, например, в горных лесных районах для трелевки леса применяют канатные системы. В Беларуси аналогичные системы применяют в южных районах белорусского Полесья для трелевки леса на заболоченных участках. Элементы канатных систем применяют в республике, организуя паромные переправы через реки.

На 2011 г. В России эксплуатируется около 300 канатных дорог (из них пассажирских -121) и 3 фуникулера. В европейских странах канатные транспортные системы получили большее распространение. В Австрии их более 2500, во Франции -более 4000, в Италии- более 3000, в Швейцарии-более 2000.Для таких крупных городов, как Лондон, Милан, Барселона, Каир, Каракас разработаны проекты подвесных пассажирских канатных дорог. Их цель – снижение нагрузки на пассажирский транспорт в застроенной деловой части города.

Учитывая накопленный мировой опыт применения канатных систем, считаем целесообразным его использовать для организации речных переправ, особенно на реках, протекающих в северной части Республики Беларусь. Учитывая меньшую заселенность этой части республики и зачастую дефицит финансовых средств возведение мостов, особенно на реках с большим течением, неоправданно затратно. В то же время отсутствие мостов вызывает сложности для проживания, особенно сельского населения, из-за необходимости объезжать речное препятствия на десятки километров.

Предлагается для таких условий оборудовать пассажирские канатные дороги (ПКД), которые относятся к непрерывным видам транспорта, и такие дороги позволят преодолевать не только речное препятствие, но и пойму реки или заболоченные примыкающие участки.

Пассажирские канатные дороги (ПКД) относятся к непрерывным видам транспорта и так же, как автомобильный или железнодорожный транспорт, они участвуют в перевозке пассажиров.

Основной особенностью конструкции ПКД является то, что средства для транспортирования людей - вагоны, кресла, кабины - перемещаются на некотором расстоянии от поверхности земли по стальным канатам. В связи с этой особенностью их важнейшим преимуществом является возможность соединять конечные пункты по кратчайшему расстоянию, причем уклон трассы в вертикальной плоскости может достигать  $45^\circ$  и более, когда применение автомобильного транспорта невозможно. Канатные переправы обладают целым рядом преимуществ перед существующими видами транспорта, а именно :

- минимальное воздействие на окружающую среду, поскольку выброс вредных веществ отсутствуют , а по шуму при движении на уровне электромобиля;

- относительные энергозатраты на перемещение (50 км/ч),будут в 5–10 раз ниже, чем у современного автомобиля;

- оборудования переправы требуется не более 0,1 га земли даже на один километр переправы с инфраструктурой;

- не требуется сооружения насыпей и выемок, нарушающих ландшафт и неустойчивых к воздействию стихийных бедствий (наводнения, оползни и др.);

- стоимость строительства дешевле современных автомобильных дорог и мостов, при этом ресурсоемкость такой транспортной системы (потребность в строительных материалах и конструкциях, объем земляных работ и т. п.) будет минимальной; транспортная система обеспечит безопасность движения.

Таким образом, перечисленные выше аргументы свидетельствуют о том, что канатный транспорт является достаточно перспективным, и может быть основным видом транспорта для перевозки людей в условиях невозможности применения традиционного транспорта.

Характерной особенностью одноканатных грузовых подвесных переправ, является то, что функции несущего и тягового элемента выполняет несущее-тяговый канат, замкнутый в кольцо (рис. 1). Загруженные вагонетки таких переправ перемещаются по жесткому рельсовому пути к выходу со станции, где они подключаются к тяговому канату и перемещаются по несущему канату грузовой ветви к разгрузочной станции Б (рис. 1).

Вагонетки совершают кольцевое движение, но на линии между станциями А и Б они не опираются на гибкий подвесной путь, а подвешены к непрерывно движущемуся несуще-тяговому канату и перемещаются вместе с ним.

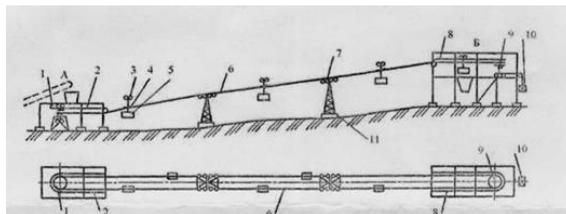


Рис. 1. Одноканатная подвесная канатная дорога с кольцевым движением:

1 – фрикционный привод; 2, 8 – рельсовые пути; 3 – ходовые колеса;  
4 – зажимной аппарат; 5 – вагонетки; 6 – канат; 7 – балансирные роликовые  
батареи; 9 – концевой шкив; 10 – груз натяжного устройства; 11 – опоры

При входе на станцию вагонетки автоматически отключаются от каната и передвигаются по жестким рельсовым путям, опираясь ходовыми колесами, при сходе с рельсового пути вагонетки автоматически сцепляются с канатом зажимным аппаратом. Несуще-тяговый канат приводится в движение фрикционным приводом с канатоведущим шкивом.

#### *Заключение*

1. Отмечена проблема проживания населения, в основном сельского, в не густозаселенных районах Беларуси по причине преодоления речных преград и заболоченных участков при отсутствии построенных мостов.

2. Отмечена нецелесообразность возведения дорогих мостов и предложена организация и инженерное обеспечение речных переправ в малозаселенных районах Беларуси, а также использования канатных систем для преодоления заболоченных участков.

#### **Литература**

1. Детали машин. Электронный учебный курс для студентов очной и заочной форм обучения. Составитель: к.т.н., доцент кафедры теоретической и прикладной механики Каримов Ильдар.

2. Концепция инновационной системы городского транспорта «КАНАТНОЕ МЕТРО ГОРОДА БРЯНСКА». А.В. Лагерев, И.А. Лагерев, А.А. Короткий, А.В. Панфилов.

3. Афуксенов Г.А., Лагутина Е.Н. Краткий анализ видов канатных дорог, их достоинства и недостатки // Молодой ученый. — 2017. — №11. — С. 51–54. — URL <https://moluch.ru/archive/145/40539/> (дата обращения: 09.02.2020).

4. Журнал «Горная Промышленность» №2 2004. Источник: <https://mining-media.ru/ru/article/transport/1408-perspektivu-ispolzovaniya-gruzovykh-podvesnykh-kanatnykh-dorog>.

УДК 625.084-868

## **Инженерное обеспечение строительства внутрихозяйственных дорог**

Вавилов А.В.

Белорусский национальный технический университет

*В статье отмечается важное народнохозяйственное значение внутрихозяйственных дорог, их техническое состояние в Беларуси, а также указывается инженерное обеспечение строительства таких дорог с твердым покрытием.*

*Внутрихозяйственные дороги в основном соединяют центральные усадьбы сельскохозяйственных производственных кооперативов с их отделениями, крупными производственными объектами, местами проживания работников этих кооперативов, а также с объектами культуры и просвещения.*

*К внутрихозяйственным дорогам относят также дороги внутри дачных кооперативов, дороги в лесных массивах как лесовозные, так и дороги туристических маршрутов и т.д.*

*Сегодня в основном такие дороги представлены грунтовыми и гравийными, реже с твердым покрытием, асфальтобетонным, или цементобетонным, чаще требующим ремонта.*

*Поэтому стоит задача с наименьшими затратами построить такие дороги с твердым покрытием. Для решения такой задачи необходимо подобрать для выполнения конкретных операций эффективные технические средства, а также задействовать недорогие дорожно-строительные материалы.*

Если дороги высоких технических категорий в Беларуси обеспечивают надлежащую проезжаемость, то этого нельзя сказать о внутрихозяйственных дорогах. Внутрихозяйственные дороги – это местные дороги, проходящие через сельские населенные пункты (агломерации, деревни, сельские поселки и т.д.). Большинство из них требуют существенного улучшения, являясь грунтовыми или гравийными, а также ремонта, если такие дороги с

твёрдым покрытием: асфальтобетонным или цементобетонным. Нынешнее состояние внутрихозяйственных дорог приводит к потерям сельхозпродукции, перерасходу ГСМ, частым ремонтам техники и т.д.

Для существенного улучшения состояния всех внутрихозяйственных дорог недостаточно выделяется средств, а затраты на реализацию поставленных задач велики. Большие затраты связаны с вынужденным использованием на строительных и эксплуатационных работах машин и оборудования большой мощности для дорог высоких технических категорий, поскольку для внутрихозяйственных дорог машины практически не создавались. В то же время внутрихозяйственные дороги – дороги небольшой протяженности и значительно уже магистральных, поэтому для них больше подходят базовые машины менее производительные и недорогие, имеющиеся в хозяйствах и недоиспользуемые по своему прямому назначению.

Стоит задача с наименьшими затратами построить внутрихозяйственные дороги с твёрдым покрытием. Для решения такой задачи необходимо задействовать недорогие дорожно-строительные материалы и подобрать для выполнения конкретных операций эффективные технические средства, имеющиеся в хозяйствах и дооснащенные необходимыми рабочими органами.

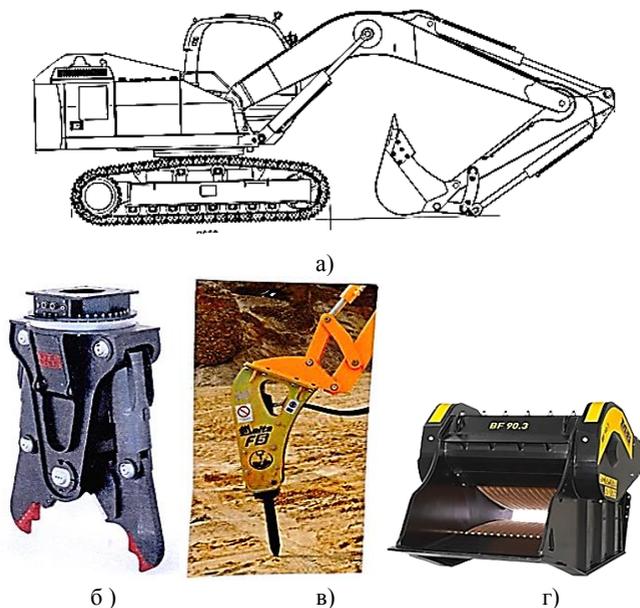


Рис. 1. Гидравлический экскаватор со сменными рабочими органами:  
а – базовая машина – гидравлический экскаватор;  
б – гидравлические ножницы; в – гидромолот; г – ковш-дробилка

Недорогими могут стать дорожно-строительные материалы, получаемые в результате переработки отработанных бетонных и железобетонных конструкций и битумосодержащих материалов, которые часто пополняют свалки. Недорогим может стать щебень, получаемый при дроблении камней, собираемых с сельскохозяйственных полей, поскольку он может в этом же хозяйстве быть востребован для строительства дороги [1–4].

Недороговизна кроется, как уже отмечалось, в эффективном инженерном обеспечении строительства, то есть минимально возможных затратах на механизацию. Предлагается, как уже отмечалось, подбирать по возможности технику, которая имеется в хозяйствах, а также задействовать многофункциональные шасси с набором легкоъемного оборудования различного функционального назначения [5]. Во всех хозяйствах, как правило, имеются одноковшовые гидравлические экскаваторы (рис. 1 а). Вот на такие базовые машины вместо традиционного ковша предлагается монтировать рабочие органы в виде гидронужниц (рис. 1 б) или гидромолота (рис. 1 в) для первичного дробления крупногабаритных бетонных отходов, а для получения щебня монтировать сменный рабочий орган – щековую дробилку (рис. 1 г).

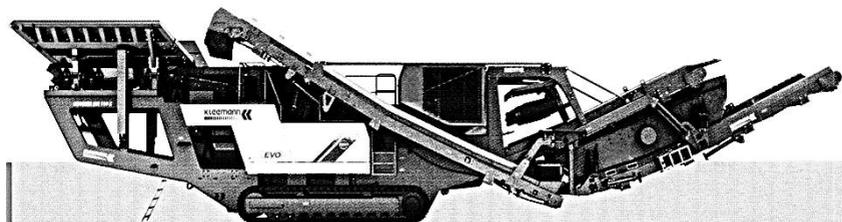


Рис. 2. Передвижная дробильно-сортировочная установка

Если требуется сортировка щебня на фракции можно арендовать передвижные дробильно-сортировочные установки (рис. 2).

Все выше отмеченное оборудование можно использовать для дробления камней, собираемых с сельскохозяйственных полей.

Отдельно необходимо отметить об использовании лома из старых асфальтобетонных покрытий. В Беларуси создан ряд предприятий, которые принимают такой лом, но с условием, что куски его не превышают размеры (например, не более 500 мм или 700 мм) приемного бункера установки (в основном, импортной) для измельчения таких кусков в асфальтогранулят.

Асфальтогранулят уже используют при создании твердого покрытия на внутрихозяйственных дорогах, в основном в дачных кооперативах.

Следует вспомнить опыт Минскоблдорстроя по получению гравийно-эмульсионной смеси (ГЭС) на производственных базах ДРСУ и ее укладке

с помощью асфальтоукладчиков на грунтовых дорогах. После выполнения поверхностных обработок бывшая грунтовая или гравийная дорога получалась с твердым покрытием с относительно небольшими затратами.

### **Заключение**

1. Обращено внимание на необходимость создания твердых покрытий на внутрихозяйственных дорогах. Нынешнее состояние внутрихозяйственных дорог приводит к потерям сельскохозяйственной продукции, перерасходу горючесмазочных материалов, частым ремонтам сельскохозяйственной техники и т.д.

2. Даны предложения по существенному улучшению состояния внутрихозяйственных дорог с наименьшими затратами. Рекомендовано использовать дорожно-строительные материалы, получаемые в результате переработки отработанных бетонных и железобетонных конструкций и битумосодержащих материалов.

3. Для снижения затрат на механизацию предложено задействовать имеющееся в хозяйствах многофункциональное базовое шасси – гидравлический экскаватор с набором необходимых сменных рабочих органов для поэтапного дробления бетонных и железобетонных отходов, а также камней, удаляемых с сельскохозяйственных полей. В Беларуси созданы предприятия, оснащенные оборудованием для дробления лома из старых отработанных асфальтобетонных покрытий и получению асфальтогранулята, который целесообразно использовать на внутрихозяйственных дорогах.

### **Литература**

1. Вавилов А.В. ТКО целлюлозобитумосодержащие и минерального происхождения: получение вторичных продуктов / А.В. Вавилов // Минск. Жилкомиздат. 2018. 171 с.

2. Вавилов А.В. Эффективные решения получения щебня из строительных отходов для ремонта и строительства внутрихозяйственных дорог / А.В. Вавилов, А.А. Замула // Зеленый контейнер. № 2. 2020. с.30–31.

3. Вавилов А.В. Инновационное оборудование для подготовки к использованию отходов, образуемых при реновации старых застроек / А.В. Вавилов, И.В. Бурмак // Инженер-механик. № 4. 2019. с.12–16.

4. Вавилов А.В. Как извлечь пользу из ТКО, обеспечив экологическую безопасность / А.В. Вавилов // Зеленый контейнер. № 2. 2019. с.12–13.

5. Вавилов А.В. Дорожно-строительные машины / А.В. Вавилов, И.И. Леонович и др. // Минск. Технопринт. 2000. 515 с.

## **Исследование и обоснование конструкции главной балки козлового крана**

Гарост М.М., Шнаркевич А.А.

Белорусский национальный технический университет

*Рассмотрены конструкции главной балки козлового крана. Предложен вариант рационального сечения главной балки с двумя штампованными полусферическими боковыми стенками, полученное на основании исследования и расчета в САД системе - КОМПАС 3D.*

Козловой кран относится к подъёмно-транспортным машинам и предназначен для выполнения различного типа работ, которые связаны с подъёмом и транспортировкой грузов. Данный кран один из самых практичных и актуальных подъёмных механизмов [1, 2].

Козловой кран в отличие от мостового выполняет функции перегрузки, используется при строительстве объектов, ремонте и монтаже во всех отраслях промышленности, на машиностроительных заводах, железнодорожных станциях, кирпичных, металлургических, лесозаготовительных предприятиях, атомных и гидроэлектростанциях. Такая востребованность козловых кранов на производственных и стратегически важных объектах обуславливается экономической целесообразностью. Стоимость козловых кранов, за счет отсутствия необходимости возведения крановых эстакад, составляет на 40–60 % меньше стоимости мостовых кранов, выполняющих аналогичные эксплуатационные задачи.

В основном козловые краны применяются при:

- строительстве жилых и офисных зданий, промышленных объектов;
- монтаже зданий и сооружений из железобетона;
- предварительной сборке конструкций и выполнении основных монтажных работ при открытом способе строительства метрополитена;
- заготовке леса на лесозаготовительных и лесоперерабатывающих предприятиях;
- перегрузочных работах в помещениях складского типа;
- перегрузке крупнотоннажных контейнеров и длинномерных грузов в грузовых портах и контейнерных терминалах;
- обслуживании объектов гидротехнического типа;
- производственных цехах;

- проведении ремонтных работ промышленного оборудования, техники крупных размеров, а также для монтажа сборного оборудования на железнодорожных объектах или трамвайных депо;

- производстве железобетонных изделий.

Наиболее важным и сложным вопросом при проектировании козловых кранов является разработка металлоконструкций главных и ездовых балок. Эти элементы, кроме нагружения от собственного веса крана и веса груза, воспринимают нагрузки от неравномерного движения крановых опор или, так называемые, перекосные нагрузки.

Низкая надежность козловых кранов связана со спецификой их работы. Данные краны выполняют не столько работу по подъему-опусканию груза, сколько работу по его перемещению вдоль рельсового пути.

На практике для изготовления главных балок козловых кранов используют широкий диапазон профилей [3]. Основные виды профилей главных балок показаны на рисунке 1.

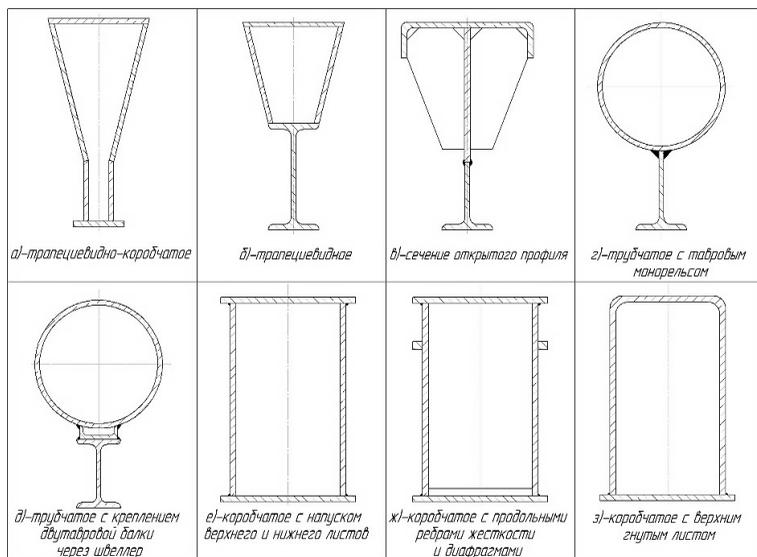


Рис. 1. Поперечные сечения главных балок из листовых и профильных элементов

Коробчатые балки трапециевидно-коробчатого и трапециевидного (рисунку 1, а-б) сечения сложны в изготовлении, однако они имеют более высокую пространственную жесткость. Сечение используют в кранах пролетом 10–12,5 м, где из-за относительно небольших ширины и высоты листов отсутствует необходимость в усилении их ребрами жесткости.

Для кранов грузоподъемностью 1–3,2 т и пролетами 8–12,5 м применяются сечения из двутавровой балки с усилением верхнего пояса листом или швеллером. Более совершенно сечение, показанное на рисунке 1, в, где верхний пояс образован гнутым листом корытного профиля, а нижний образован двутавровой балкой, разрезанной поперёк и приваренной к полосе.

Сечение, показанное на рисунке 1, г находит применение в кранах грузоподъемностью 3,2–5 т и пролетами 10–12,5 м. В частности, балка крана ККТ-5-12,5 изготовлена из трубы, к которой приварен стенкой по зигзагообразной линии тавровый профиль из разрезанного двутавра № 36М с усиливающей полосой. Для повышения горизонтальной жесткости стенку таврового профиля иногда укрепляют поперечными ребрами [3, 4].

Применяется также сечение, выполненное по схеме, показанной на рисунке 1, д, где между двутавровой балкой и трубой расположен промежуточный швеллер. Такая конструкция балки наиболее проста в изготовлении, однако расположение относительно больших масс металла (верхней полки балки и швеллера) вблизи нейтральной оси сечения несколько снижает их экономичность.

Для балок козловых кранов грузоподъемностью 1–3,2 т и пролетами 8–12,5 м самым частым решением являются коробчатые балки с прямолинейными стенками (рисунок 1, е), или с усилением продольными ребрами жесткости и диафрагмами (рисунок 1, ж). Верхний и нижний пояса коробчатых балок делают толще боковых стенок из условия оптимизации по массе [5]. При больших пролетах определяющим критерием обеспечения несущей способности становится не прочность  $\sigma \leq [\sigma]$ , а жесткость  $fL \leq [fL]$ , что заставляет увеличивать высоту сечения балки при относительно невысоких номинальных напряжениях. Местная устойчивость высоких стенок в сжатой зоне не обеспечивается. Поэтому их разделяют продольными и поперечными ребрами, а также диафрагмами. Это мало увеличивает массу, но более значительно увеличивает трудоемкость и себестоимость изготовления балок, а также при тяжелых режимах циклического нагружения снижает их сопротивление усталости. Последнее обстоятельство требует принятия конструктивно-технологических мер повышения выносливости или снижения номинальных напряжений в сечении увеличением толщины стенки [6].

Также встречается балка коробчатого сечения, состоящая из нижнего листа и верхнего гнутого листа, усиленная на протяжении всей длины диафрагмами (рисунок 1, з).

Элементы таких коробчатых балок являются технологичными по условиям изготовления и сборки, осуществляемой, как правило, при помощи сварки [4].

Зарубежные разработчики кранов заявляют, что балки, изготовленные из гнутых профилей, позволяют существенно уменьшить их массу (на 15–20 %), при этом увеличивается прочность балок и существенно увеличивается их местная устойчивость по сравнению с прямоугольным сечением [7].

В общем случае секция балки, изготовленная из гнутых профилей, представляет собой сварную конструкцию из двух гнутых частей, сваренных по горизонтальной оси симметрии. Такая конструкция позволяет исключить наличие углов и свести к минимуму количество и протяженность сварных швов [7].

Одним из способов сокращения количества дополнительных элементов в коробчатых балках является использование стенок с гофрами. Препятствием к их широкому внедрению является то, что такие листы изготавливаются прокаткой и экономически выгодны только при значительных объемах проката одного типоразмера. Места расположения гофр зависят от конкретных условий нагружения балок, их длины и высоты, что приводит к разным типоразмерам листов [4].

Другим способом сокращения количества дополнительных элементов в коробчатых балках является использование криволинейных или многогранных стенок. Такое конструкторское решение также позволяет сократить количество диафрагм и продольных ребер, вводимых для обеспечения местной устойчивости. Данный способ не является новым, но в настоящее время он не является широко распространенным по причине недоработанности технологии изготовления и отсутствия методов расчета местной устойчивости стенок [4].

Немаловажное значение также имеет применение современных методов расчета металлоконструкций козловых кранов.

Для выбора рационального сечения главной балки был произведен анализ литературных и патентов источников по конструкциям балок с криволинейными стенками коробчатого и близкому к нему сечения. Было выделено две основных группы балок:

1. Балки с многогранными стенками из прямых элементов;
2. Балки с криволинейными стенками.

Балки с многогранными стенками, состоящими из прямых элементов, можно охарактеризовать как промежуточный вариант между балками с прямолинейными и криволинейными стенками. Преимуществом данного типа конструкторских решений является создание многогранной стенки с помощью стандартных элементов (лист, уголок, труба, швеллер, двутавр) или с помощью операции гибки [4].

Одним из примеров такого типа конструктивных элементов являются балки, разработанные Чарльзом Ватсоном [8] и запатентованные в Соединённых Штатах Америки (рисунок 2). В основе конструкции лежит прокатный двутавр, пояса, которого прикреплены гнутыми листами.

Отметим неоправданное утяжеление сечения конструкции при незначительном увеличении жесткости, если нагрузки приложены по линии стенки. Возможный местный изгиб в месте сопряжения пояса со стенкой в данном случае нивелируется радиусным утолщением двутавра и требует такого подкрепления.

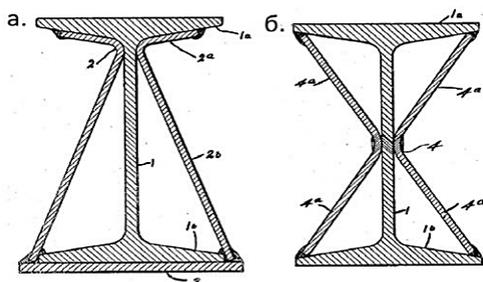


Рис. 2. Балки Чарльза Ватсона

Известна конструкция балки, разработанной немецкой компанией Шефер Машинен (рисунок 3). Стенки балки представляют собой металлические листы, согнутые симметрично в двух местах. Связующим компонентом является центральная прямоугольная труба. Соединение трубы и стенок производится уже не с помощью сварки, а с помощью винтовых соединений, что технологично, но требует толстой стенки трубы в месте нарезки резьбы [9].

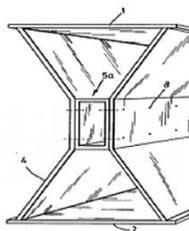


Рис. 3. Конструкция балки компании Шефер Машинен

Установка толстостенной трубы нецелесообразна по условиям прочности, а местное увеличение стенки в зоне резьбы можно обеспечить только наружными накладками, что нарушает условия прилегания.

Также известен Российский вариант многогранной балки, сконструированный в компании ЗАО Эркон (рисунок 4). Она изготавливается из обычных и гнутых листов металла [10]. Отличительной особенностью являются наружные ребра, назначение которых не совсем понятно, если балка подвергается изгибу в плоскости стенки. Сборка осуществляется с помощью сварки и болтовых соединений, которые существенно снижают эстетичность конструкции.

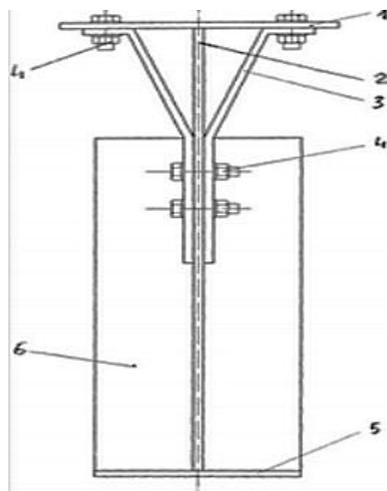


Рис. 4. Конструкция балки компании Эркон (РФ)

Рассмотрим конструкции балок с криволинейными стенками. Они имеют более привлекательный вид, по сравнению с балками, имеющими многогранные стенки, так как нет выступающих острых элементов и болтовых соединений.

Их преимущества заключается в использовании криволинейной формы стенок, обеспечивающих более высокие показатели местной устойчивости, сокращение числа или отсутствие продольных ребер жесткости и внутренних диафрагм.

Примерами таких балок являются изобретения вышеупомянутой компании Шефер Машинен [9]. Стенки конструктивных элементов выполнены из листов металла с постоянным радиусом кривизны. Отличия между двумя балками состоят в разных центральных элементах: уголке (рисунок 5, а) и прямоугольной трубе (рисунок 5, б).

Также есть отличие в способах крепления стенок к центральным элементам: сварка или винтовое соединение. Недостатки такого расположения центральных элементов те же, что были описаны в балке на рисунке 3.

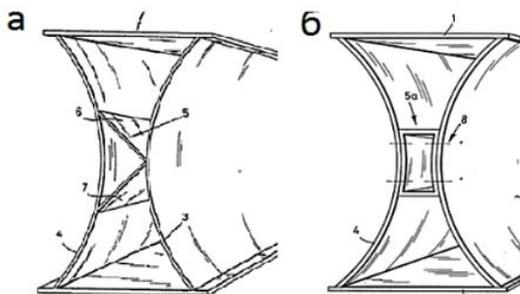


Рис. 5. Конструкции криволинейных балок компании Шефер Машинен

На рисунке 6 представлена разработка Пензенской государственной архитектурно-строительной академии. Все элементы балки сделаны из листов металла, скрепленных при помощи болтовых соединений. Данная конструкция балки больше похожа на классический двутавр, за исключением областей соединения полков со стенкой, однако реализовать на практике набор фасонных профилей разной высоты представляется достаточно сложным [11].

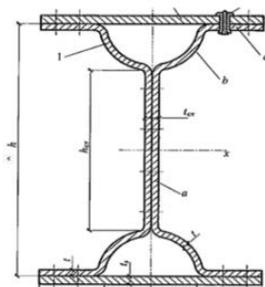


Рис. 6. Конструкция балки Пензенской АСА

Рассмотрев различные конструкции балок, описанных выше, нами предлагается конструкция сечения главной балки (рисунок 7, а) с двумя штампованными полусферическими боковыми стенками. Боковая стенка имеет 15 гибов. Такая форма главной балки (рисунок 7, б) позволяет сэкономить на элементах жесткости, значительно удешевить производство. Между собой боковые стенки соединяются через прокатную квадратную или прямоугольную трубу при помощи электрозаклепок. К верхней и нижней полке боковые стенки привариваются электросваркой.

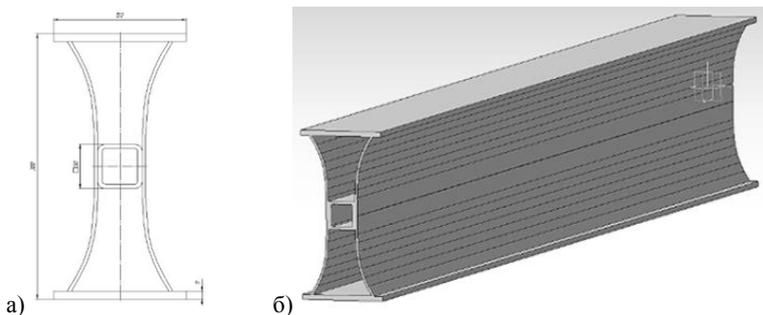


Рис. 7. Спроектированная конструкция главной балки с гнутыми боковыми стенками:  
а) сечение; б) 3D-модель

В предлагаемой конструкции гибы боковых стенок выступают в качестве продольных ребер жесткости. За счет этого возможно уменьшение толщины листа, используемого для боковых стенок.

Спроектированная конструкция главной балки может использоваться для козловых кранов грузоподъемностью 1-3,2 т и пролетом до 10 м.

Масса 1 метра спроектированной главной балки составляет 46,59 кг.

При помощи программы КОМПАС 3D созданы 3D-модели главных балок одинаковых по длине, равной 1 метр. Для сравнения примем конструкции главной балки из двутавра (рисунок 8) и главной балки с криволинейными стенками (см. рисунок 5).

После построения 3D-моделей балок определены их массы:

- масса главной балки из двутавра №30 – 50,08 кг;
- главной балки с криволинейными стенками – 83,58 кг.

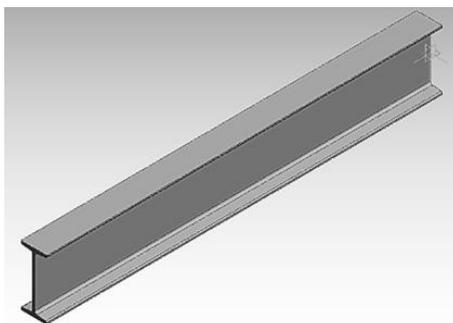


Рис. 8. 3D-модель ездовой балки из двутавра №30 Б2 ГОСТ 19281

Для того, чтобы подтвердить повышенную несущую способность балок с криволинейными стенками необходимо произвести прочностной расчёт.

При создании новых и совершенствовании конструкций различных изделий применяют получившие в последние годы существенное развитие программные средства, позволяющие генерировать решения с рациональной топологией, отличающиеся от существующих аналогов меньшей массой при обеспечении требуемой несущей способности [12].

Оптимизация топологии прежде всего востребована при проектировании подлежащих серийному изготовлению материалоемких изделий со сложной структурой, а ее применение целесообразно на начальных этапах проектирования. Она широко применяется при проектировании деталей, изготавливаемых посредством 3D-печати [12].

Приложения, позволяющие оптимизировать топологию изделий, имеют важное образовательное значение, поскольку их практическое применение позволяет весьма просто и наглядно наблюдать влияние направления и соотношения прикладываемых сил, опор и иных ограничений на оптимальную структуру исследуемых конструкций [12].

Расчёты крановых металлоконструкций проводятся по методу предельных состояний и методом конечных элементов (далее – МКЭ) [4]. Последний наиболее эффективен, так как возможно моделирование работы металлоконструкции под нагрузкой в условиях, приближенных к реальным с последующей корректировкой размеров поперечного сечения с целью получения наиболее оптимальной конструкции. Также исключается возможность возникновения многих дефектов металлоконструкции ещё на стадии её проектирования.

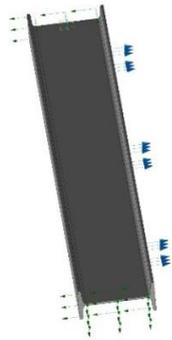
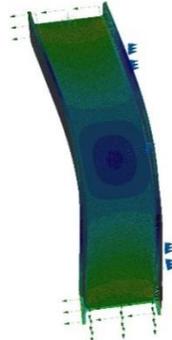
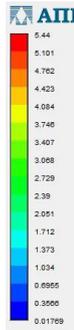
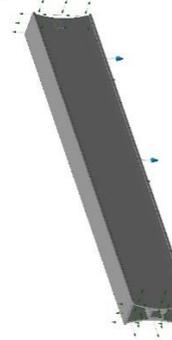
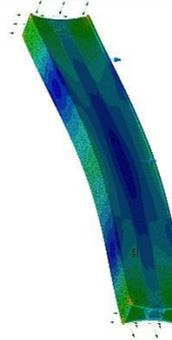
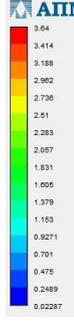
Сравнительные исследования моделей ездовых балок произведем в программе КОМПАС 3D при помощи библиотеки APM FEM, реализующей метод конечных элементов.

Программа КОМПАС 3D имеет большую библиотеку материалов. Однако часто бывает необходимо задать материал, не входящий в неё [13, 14].

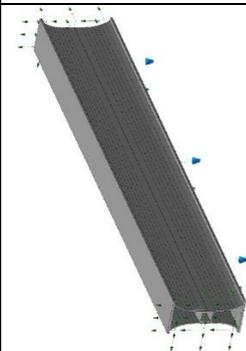
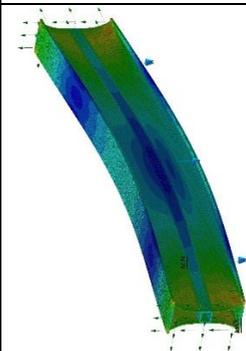
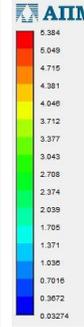
Для расчета главных балок принята условная нагрузка, равная 20 кН.

Результаты расчета главных балок приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчета главных балок

Конструкция	Масса 1 м.п. балки, кг	Модель балки для МКЭ-расчета с приложением нагрузки и закреплением	Карта распределения эквивалентных напряжений по Мизесу	Шкала напряжений, МПа	Макс. значение эквивалентных напряжений, МПа
1	2	3	4	5	6
Балка из двуглава №30 Б2	50,08				5,44
Балка с криволинейными стенками	83,58				3,64

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Спроектированная балка	46,59				5,38

Анализируя результаты расчетов можно сделать выводы, что спроектированная нами конструкция главной балки имеет меньшую массу по сравнению с известными конструкциями, а напряжения в балке не превышают напряжений в рассмотренных конструкциях.

По отношению к массе двутавровой балки масса снижена на 7 %, а по отношению к балке с криволинейными стенками – на 44 %.

### Литература

1. Кузьяков Е.В. Козловой кран: увеличение грузоподъёмности // Наука, техника и образование. 2016. № 8 (26). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kozlovoy-kran-uvvelichenie-gruzopodyomnosti> (дата обращения: 15.10.2020).
2. Кузьяков Евгений Вадимович Расчет металлоконструкции козлового крана // Наука, техника и образование. 2017. № 1 (31). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raschet-metallokonstruktsii-kozlovogo-krana> (дата обращения: 15.10.2020).
3. Типы и конструкции мостов (пролетных строений) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://stroy-technics.ru/article/typy-i-konstruktsii-mostov-proletnykh-stroenii/>. – Дата доступа: 15.10.2020.
4. Соколов С.А. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. Учебное пособие. - СПб.: Политехника, 2005. – 423 с.
5. Наумов А.В. Ездовые балки с криволинейными стенками / Наземные транспортно-технологические комплексы и средства: материалы Международной научно-технической конференции / под общ. ред. Ш.М. Мерданова. – Тюмень: ТИУ, 2015-346с., с. 195-200.

6. Манжула К.П. Прочность и долговечность конструкций при переменных нагрузках: учеб. пособие. / К.П. Манжула, С.В. Петин. - СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. – 76с.

7. Выбор оптимальной конструкции телескопической стрелы для перспективных грузоподъемных автомобильных кранов // Строительные и дорожные машины, 2017, №3, с. 34–40.

8. Пат 2478559, Россия. Подкрановая балка / Белый А.Г. опубл. 1.06.2011.

9. Пат EP 0293789 A1 Германия. Als Kastenträger ausgebildeter Krantrager / Richar Aust опубл. 10.10.2001.

10. Пат 2478557, Россия. Подкрановая балка / Белый Александр Григорьевич опубл. 1.06.2011.

11. Пат 2232125, Россия. Подкрановая балка / Нежданов К.К. опубл. 07.05.2002.

12. Гнездилов С.Г., Шубин А.Н. Принципы рационального проектирования элементов машин с использованием методов топологической оптимизации // Строительные и дорожные машины, 2016, № 2, с. 44–49.

13. Инженерные расчеты для машиностроения и строительства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://apm.ru/>. – Дата доступа: 15.10.2020.

14. Котельников А.А., Алпеева Е.В. Применение метода конечных элементов при выборе материала сварных конструкций // Сварочное производство, 2014, № 10, с. 3–5.

УДК 69.002.5-82

## **О выборе эффективных комплектов машин для устройства и укрепления обочин автомобильных дорог**

Довидович А.А.

Белорусский национальный технический университет

*Описана разработанная методика выбора эффективных комплектов машин для устройства и укрепления обочин автомобильных дорог.*

На настоящий момент в Республике Беларусь для устройства и укрепления обочин автомобильных дорог используется комплект машин, состоя-

щий из автогрейдера, автомобиля-самосвала, вибрационного катка, а в случае необходимости увлажнения и поливомоечной машины, который в свою очередь имеет ряд недостатков:

- автомобиль-самосвал производит выгрузку строительного материала, находясь на проезжей части, преграждая сразу две полосы движения.

- автогрейдер послойно распределяет строительный материал отвалом-планировщиком из места выгрузки за 2-3 прохода с обеспечением необходимой ровности слоя.

- исправление дефектных мест укрепленной обочины и уборка излишков щебеночно-песчаной смеси с проезжей части автомобильной дороги выполняется дорожными рабочими с помощью ручного инструмента.

Наряду с упомянутым выше технологическим циклом при распределении строительного материала получает распространение применение вместо автогрейдера, специализированного высокопроизводительного технического средства для устройства и укрепления обочин, состоящего из навесного оборудования и базового шасси, которое исключает данные недостатки. Производство технического средства освоено как в Республике Беларусь, так и в других странах.

Разработанная Довидовичем А.А. методика позволяет путём выбора эффективных комплектов машин, в состав которого входит высокопроизводительное техническое средство, снизить удельную энергоёмкость процессов устройства и укрепления обочин автомобильных дорог регламентированными строительными материалами.

Основным критерием, определяющим уровень эффективности комплекта машин, является удельная энергоёмкость, которая характеризует затраты энергии на единицу производительности. Следует закономерность, чем меньше значение удельной энергоёмкости, тем выше уровень энергоэффективности оборудования. Эксплуатационная производительность в свою очередь является показателем, который формирует удельную энергоёмкость.

Эксплуатационная производительность комплекта машин определяется по следующей формуле [1]:

$$P_3 = P_T \times k_v, \text{ т/ч} \quad (1)$$

где  $P_T$  – техническая производительность навесного оборудования для устройства и укрепления обочин с базовым шасси;

$k_v$  – коэффициента эффективности технологического цикла.

Техническая производительность рассчитывается по следующей формуле:

$$\Pi_r = L \times h \times v \times \rho, \text{ т/ч} \quad (2)$$

где  $L$  – ширина укладываемого материала, м; в соответствии с ТКП 45-3.03-19-2006 «Автомобильные дороги. Нормы проектирования.» (действ. до 01.04.2017) [2], ГОСТ 33475-2015 «Автомобильные дороги. Нормы проектирования» (действ. с 01.04.2017) [3] ширина обочины (неукрепленная полоса) должна быть для дорог II, III, IV, V категории в пределах 0,5–2,25 м;

$h$  – средняя высота укладываемого слоя при укреплении обочины автомобильной дороги, м;  $h=0,1$  м, однако в соответствии с ТКП 059-2012 «Автомобильные дороги. Правила устройства» (таблица 5) [4] для щебеночных, гравийных, шлаковых оснований и покрытий на обочинах максимальная толщина слоя должна быть в пределах 0,18–0,30 м. Следовательно, диапазон высот укладываемого слоя лежит в пределах  $h=0,1-0,3$  м

$v$  – технологическая скорость планирования материала, м/ч;  $v=1000-5000$  м/ч;

$\rho$  – плотность дорожно-строительных материалов, т/м<sup>3</sup>;  $\rho=1,6-2,1$  т/м<sup>3</sup>;

Эксплуатационную производительность найдем с учетом коэффициента эффективности технологического цикла  $k_B$  навесного оборудования для устройства и укрепления обочин с базовым шасси.

Тогда

$$k_B = 1 - \frac{n(t_n + t_o)}{3600}, \quad (3)$$

где  $t_n$  – время подъезда и подготовки к выгрузке материала из кузова автомобиля-самосвала в приемный бункер навесного оборудования, с;

$t_o$  – время отъезда автомобиля-самосвала от навесного оборудования, с;

$n$  – теоретическое количество подъездов-отъездов автомобилей-самосвалов за 1 час;

$$n = \frac{\Pi_r}{Q_r}, \quad (4)$$

где  $Q_r$  – грузоподъемность автомобиля-самосвала, т;

В развернутом виде эксплуатационная производительность выражается:

$$\Pi_3 = L h v \rho - (0,008 L^2 h^2 v^2 \rho^2 / Q_r), \text{ т/ч} \quad (5)$$

$$\Pi_3 = f(L, h, v, \rho, Q_r); \quad (6)$$

$$\Pi_3 \rightarrow \max, \quad (7)$$

$$\Pi_3 > 0. \quad (8)$$

Диапазон изменяемых параметров (область определения функции):

$$0,5 \leq L \leq 2,25; \quad (9)$$

$$0,1 \leq h \leq 0,3; \quad (10)$$

$$1000 \leq v \leq 5000; \quad (11)$$

$$1,6 \leq \rho \leq 2,1. \quad (12)$$

Суммарная сила сопротивления движению комплекта машин будет равна:

$$P_{\text{общ}} = P_A + P_B + P_{\text{ш}} + P_{\text{пв}}, \text{ КН} \quad (13)$$

где  $P_A$  – сопротивление качению автомобиля-самосвала при толкании его перед навесным оборудованием, кН;

$P_B$  – сопротивление качению бункера приемного с отвалом планировщиком, кН;

$P_{\text{ш}}$  – сопротивление качению базового шасси со смонтированными на него рамой и гидросистемой, кН;

$P_{\text{пв}}$  – сопротивления перемещению призмы волочения, кН.

Суммарное тяговое усилие по сцеплению [5]:

$$\Sigma P_c \leq P_{\text{сц}} \varphi_{\text{сц}}, \quad (14)$$

$P_{\text{сц}}$  – нагрузка, приходящаяся на ведущие мосты в рабочем режиме на различных уклонах, Н;

$\varphi_{\text{сц}}$  – коэффициент сцепления ведущих колес с основанием; для щебеночных или асфальтобетонных оснований  $\varphi_{\text{сц}}=0,3-0,5$ .

Мощность, затрачиваемая на перемещение базового шасси [6]:

$$N_{\text{общ}} = \frac{P_{\text{общ}} v}{100 \eta}, \text{ кВт} \quad (15)$$

где  $\eta$  – КПД механической трансмиссии;  $\eta=0,85-0,9$ ;

$v$  – скорость базового шасси, м/с;  $v=1-5$  км/ч.

Следовательно, мощность затрачиваемая на выполнение технологического цикла распределения строительного материала при устройстве, либо укреплении обочины автомобильной дороги (мощность, потребляемая от двигателя базового шасси), выражается следующей формулой:

$$N = N_{\text{общ}} + N_{\text{к}}, \text{ кВт} \quad (16)$$

где  $N_k$  – мощность, затрачиваемую на привод конвейера, кВт.

В развернутом виде потребляемая мощность выражается:

$$N = ((P_a + (0,94 + 1,68 \times \rho) + (0,0007 \times m_{ш} + 0,44) + \mu_1 \times \rho \times L \times (0,94 + 0,54 \times \mu_2)) \times v / 3240) + 0,006 \times L \times h \times v \times (0,96 \times \rho + 0,011 + 2,76 \times \rho), \text{ кВт} \quad (17)$$

$$N = f(P_a, m_{ш}, L, h, v, \rho, \mu_1, \mu_2); \quad (18)$$

$$N \leq N_{бш}; \quad (19)$$

$$N > 0; \quad (20)$$

$$P_a + (0,94 + 1,68 \times \rho) + \mu_1 \times \rho \times L \times (0,94 + 0,54 \times \mu_2) \leq 4,905 \times m_{ш} \text{ (условие по сцеплению)} \quad (21)$$

$i$  – продольный уклон автомобильной дороги, рад; в соответствии с ТКП 45-3.03-19-2006 «Автомобильные дороги. Нормы проектирования» (действ. до 01.04.2017) [2] продольный уклон должен быть не более  $i=40$  ‰ (0,04 рад), в соответствии с ГОСТ 33475-2015 «Автомобильные дороги. Нормы проектирования» (действ. с 01.04.2017) [3] продольный уклон должен быть не более  $i=30$  ‰ (0,03 рад)

$m_{ш}$  – масса базового шасси, т;

$\mu_1$  – коэффициент трения материала о поверхность отвала (угол захвата отвала планировщика при распределении материала  $\alpha=55^0$ ) [3];

$\mu_2$  – коэффициент трения материала о грунт.

Удельная энергоёмкость [7]:

$$E_{\Pi} = N / P_a, \text{ кВт} \times \text{ч} / \text{т}; \quad (22)$$

$$E_{\Pi} = f(P_a, m_{ш}, L, h, v, \rho, \mu_1, \mu_2, Q_T); \quad (23)$$

$$E_{\Pi} \rightarrow \min. \quad (24)$$

В развернутом виде удельная энергоёмкость выразится:

$$E_{\Pi} = (((P_a + (0,94 + 1,68 \times \rho) + (0,0007 \times m_{ш} + 0,44) + \mu_1 \times \rho \times L \times (0,94 + 0,54 \times \mu_2)) \times v / 3240) + 0,006 \times L \times h \times v \times (0,96 \times \rho + 0,011 + 2,76 \times \rho)) / (L \times h \times v \times \rho - (0,008 \times L^2 \times h^2 \times v^2 \times \rho^2 \times / Q_T)), \text{ кВт} \times \text{ч} / \text{т} \quad (25)$$

В соответствии с данным методом определен весь современный модельный и типоразмерный ряд эффективных комплектов машин для устройства и укрепления обочин, выпускаемых в Республике Беларусь.

### Литература

1. Вавилов А.В. Дорожно-строительные машины / А.В. Вавилов, И.И. Леонович и др. Мн. Технопринт. 2000. – 515 с.

2. ТКП 45-3.03-19-2006 «Автомобильные дороги. Нормы проектирования.»
3. ГОСТ 33475–2015 «Автомобильные дороги. Нормы проектирования»
4. ТКП 059–2012 «Автомобильные дороги. Правила устройства»
5. Гаспарянц, Г.А. Конструкция, основы теории и расчета автомобиля: Учебник для машиностроительных техникумов по специальности «Автомобилестроение»/ Г.А. Гаспарянц. – М.: Машиностроение, 1978. – 351с.
6. Баловнев, В.И. Дорожно-строительные машины и комплексы: Учебник для вузов по спец. «Строительные и дорожные машины и оборудование» /В.И. Баловнев [и др.]; под общ. ред. В.И. Баловнева. – М.: Машиностроение, 1988. – 384с.
7. Вавилов, А.В. Экономическое проектирование технологических машин строительного комплекса / А.В. Вавилов, Д.В. Маров, А.Я. Котлобай. – Мн: Стринко, 2003. – 102с.

УДК 661

## **Колееобразование на лесных дорогах и механизированный метод его устранения**

Лапенок В.В.

Белорусский национальный технический университет

*Рассматривается механизированный метод ремонта колееобразования на лесных дорог после прохождения современной лесной техники. Внедрение данного метода позволит снизить себестоимость работ при текущем обслуживании дорог и повысит производительность в лесной промышленности.*

В Беларуси, по данным Минскоблдорстроя, находятся десятки тысяч километров грунтовых дорог, большая часть из них – лесные. Под воздействием колес современной лесной техники: харвестеров и форвардеров на дорогах образуются глубокие колеи, что в первую очередь сказывается на снижении проезжаемости по ним, и как следствие, снижение производительности в лесной промышленности.

Зарубежный опыт показывает успешное применение для ремонта грунтовых дорог малогабаритного прицепного скрепера. Наиболее подходящей моделью для данного вида работ является прицепной скрепер упрощенной

конструкции голландской фирмы АП Машинбоув. Объем перевозимого грунта  $6 \text{ м}^3$  (рисунок 1). Рабочая ширина ножа 2,3 метра, вес 2 тонны, агрегируется трактором мощностью 80–120 л.с [1].



Рис. 1. Скрепер фирмы Mashinebouw

Габариты машины и ее возможности идеально подходят для целей содержания грунтовых лесных дорог и засыпки колеи, позволяя значительно снизить себестоимость ремонта дорог за счет сокращения числа задействованной техники и персонала (один человек и одна машина делают всю работу). Эта машина одна способна выполнять все основные операции и заменяет фронтальный погрузчик (погрузка грунта для подсыпки дорог и транспортировка грунта к нужному месту), бульдозер (разравнивание грунта на месте его выгрузки и окончательная планировка).

Преимуществом является совмещение операций, небольшие затраты на ремонт дорог за счет сокращения холостого пробега машины, единиц задействованной техники и персонала. Главным недостатком является отсутствие белорусского аналога. Сегодня один такой скрепер успешно эксплуатируется в ГОЛХУ «Стародорожский опытный лесхоз», и с целью импортозамещения был проведен тяговый расчет скрепера по известной методике [2]. В качестве базовой машины применялся трактор МТЗ – 1221.

Сила сопротивления движению скрепера при копании грунта - величина переменная, она достигает максимального значения на заключительной стадии заполнения ковша. Этот момент, как наибольший, принимают за расчетный. Потребное для работы тяговое усилие расходуется на преодоление сопротивления грунта резанию, сопротивления перемещения груженого скрепера, от сопротивления перемещения призмы волочения и сопротивления, возникающего при заполнении ковша.

Основная задача тягового расчета скрепера заключается в определении силы и мощности тяги для преодоления сопротивлений при заданной вместимости ковша.

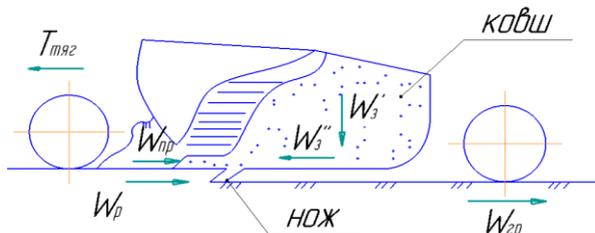


Рис. 2. Схема сопротивлений, действующих на прицепной скрепер

Суммарное сопротивление при работе скрепера должно быть преодолено силой тяги базовой машины

$$\Sigma W \leq T_d$$

где  $T_d$  – сила тяги по двигателю базовой машины, определяемая по формуле [2]:

$$T_d = \frac{N \cdot \eta}{v}$$

где  $N$  – мощность двигателя;

$\eta$  – к. п. д. трансмиссии;

$v$  – скорость перемещения машины во время копания  $v = 2,5 \dots 3$  км/ч.

Наибольшее сопротивление движению скрепера возникает в конце процесса наполнения и в соответствии с методикой Е.Р. Петерса определяется по формуле:

$$\Sigma W = W_{гр} + W_p + W_3 + W_{пр}$$

где  $W_{гр}$  – сопротивление перемещению груженого скрепера;

$W_p$  – сопротивление резанию;

$W_3$  – сопротивление наполнению;

$W_{пр}$  – сопротивление перемещению призмы волочения

$$\Sigma W = W_{гр} + W_p + W_3 + W_{пр} = 13,9 + 11,25 + 2,25 + 22,6 + 2,45 = 64,7 \text{ кН}$$

$$T_d = \frac{N \cdot \eta}{v} = 96 \cdot \frac{0,75}{3} = 72,2 \text{ кН}$$

$$64,7 \leq 72,2$$

Таким образом, условие тягового расчета выполняется, следовательно отечественный трактор имеет достаточную силу тяги для работы скрепера с принятыми параметрами.

### **Литература**

1. Machine construction/ Earth moving/ AP Scrapers. Product catalogue. Rutten, 2011. – 2 с
2. Холодов А.М., Ничке В.В., Назаров Л.В. Землеройно-транспортные машины/ А.М. Холодов. Харьков: Высш. шк. Изд-во Харьк. ун-та, 1982. – 192 с.

УДК 62 – 523

## **Первоочередные задачи автоматизации машин для содержания автомобильных дорог**

Полудеткин А.А.

Белорусский национальный технический университет

*Развитие современных технологий позволяет автоматизировать многие технические и технологические процессы, в том числе и в строительной дорожной отрасли.*

*Автоматизация технологического оборудования, для содержания автомобильных дорог, позволяет повысить качество выполняемых работ, сократить долю ручного труда, ручных подстроек оборудования, тем самым сократить риск для жизни и здоровья человека, работающего на оборудовании.*

Машины для содержания дорог можно разделить на машины для летнего и зимнего содержания дорог, а также машины и оборудование для ухода за обочиной. К машинам летнего содержания дорог относятся: подметально-уборочные машины, поливомоечные машины, машины и оборудование для нанесения горизонтальной и вертикальной разметки и окраски обстановки пути. К машинам для зимнего содержания автомобильных дорог: плужно-щеточные и роторные снегоуборочные машины, а так же машины для распределения противогололедных материалов.

На данный момент очень малая часть оборудована системами автоматизации технологического процесса. Большинство настроек, необходимых

при работе машины, производится механически перед началом работы и не имеет постоянного контроля.

Примером является машина для распределения противогололедных смесей предназначенная для распределения по дорожному покрытию смесей, предотвращая тем самым образованию наледи на дороге. Он представляет собой совокупность технологического оборудования в виде прицепного устройства, на базе грузового шасси, либо технологический комплекс, закрепленный в кузове грузового автомобиля.

Механизмы данного оборудования приводятся в движения с помощью гидравлической системы, которая на большинстве уже используемом оборудовании настраивается в ручную, перед началом работы, так же в ручную выставляются регулировки направления разбрасывания и высота разбрасывания. Таким образом, если произойдут изменения или неполадки в работе технологического оборудования для их устранения придется остановить выполнение работы и заново настраивать все.

При наличии системы автоматизации, работник сможет производить настройку существенно быстрее, не выходя из кабины, пользуясь пультом по показаниям датчиков, а так же судить об исправности технологического оборудования, тем самым предотвращая крупные ремонты.

Отдельно стоит отметить, что многие элементы на данном технологическом оборудовании приводят в движение гидравлическими системами, которые имеют большое количество соединений и патрубков, что повышает риск появления протечки, что приведет к неисправности всей установки. Данный факт подталкивает на мысль: по технической возможности, заменить гидропривод на электропривод, тем самым устранив необходимость в патрубках, следовательно, повысив надежность всей установки.

Повышение степени автоматизации уже имеющегося оборудования позволит повысить технические и экономические параметры, за счет сокращения времени настройки оборудования, предотвращения трудоемких ремонтов, а следовательно, и простоев оборудования и сократить расход смесей, жидкостей используемых для обслуживания дорог.

### **Литература**

1. Машины по содержанию и ремонту автомобильных дорог и аэродромов: учеб. пособие / А.В. Вавилов, А.М. Щемелев, Д.И. Бочкарев и др.; Под ред. д-ра техн. наук, проф. А.В. Вавилова. – Мн.: БНТ

## **Эффективное применение гидроударных устройств для механизации дорожно-строительного комплекса**

Смоляк А.Н.

Белорусский национальный технический университет

*Создание конкурентоспособных, высокопроизводительных, экономичных и экологически защищенных конструкций гидроприводов машин нового поколения для дорожно-строительного комплекса базируется на эффективном применении гидроударных устройств на базе роторных гидрораспределителей с объемным регулированием скоростей движения выходных звеньев гидродвигателей.*

*Гидроударные устройства на базе роторных гидрораспределителей предусматривают повышение энергии удара при высоком коэффициенте полезного действия за счет однонаправленного непрерывного вращения ротора, исключая возникновение режима автоколебаний элементов гидроаппаратов, обеспечивает их высокую надежность и большую мощность, значительное снижение шума и вибрации во время работы дорожно-строительной техники.*

Появление новых технологий производства строительных и ремонтных работ в дорожно-строительном комплексе, таких как: разрушение старого асфальтобетонного покрытия с дальнейшим его использованием в качестве измельченного материала при строительстве нового дорожного покрытия, производство горизонтально-направленного бурения для прокладки новых коммуникаций, забивка свай гидравлическими молотами при возведении фундаментов сооружений; требует интенсивного совершенствования конструкций машин с повышенным уровнем автоматизации и требуемой производительности на основе экономичных и экологических принципов [1].

В соответствии с общей классификацией в состав технических средств дорожно-строительного комплекса входят: мобильные и стационарные машины, применяемые для приготовления и распределения или укладки строительных материалов, расчистки дорог и придорожных участков от снега и мусора, растительности; землеройных и погрузочно-разгрузочных работ, выполнения горизонтально-направленного бурения земляных скважин и забивке свай. Интенсивное развитие гидропривода в качестве интеллектуальной приводной технологии в настоящее время все более ярко отмечается в рассматриваемых конструкциях дорожно-строительных машин [2].

Внедрение гидроударных устройств в конструкцию гидропривода машин дорожно-строительного комплекса позволит значительно повысить их производительность. Так, гидропривод ударного действия в конструкции оборудования для забивки свай позволяет регулировать частоту и амплитуду ударов, управлять энергией гидромолота. В оборудовании для горизонтально-направленного бурения встроенное в буровую колонну ударно-вибрационное устройство позволяет пробивать каменные включения, что обеспечивает эффективность применения оборудования при разработке 4 категории грунтов. Установка гидроударных устройств в конструкцию рабочих органов землеройных и землеройно-транспортных машин (в качестве активных зубьев ковшей), таких как экскаваторы, бульдозеры, погрузчики, позволит разрабатывать грунты 4 категории без предварительного рыхления [3].

Целью настоящей исследовательской работы является создание конкурентоспособных, высокопроизводительных, экономичных и экологически защищенных конструкций машин дорожно-строительного комплекса на основе эффективного применения гидроударных устройств в конструкциях объемного гидропривода их рабочих органов.

Существуют три основные группы гидроударных устройств: гидромеханическая - привод ударной части осуществляется от гидродвигателя (гидроцилиндра или гидромотора) через промежуточную механическую передачу; гидравлическая (гидромолоты двойного действия) – движение ударной части происходит за счет рабочей жидкости, подаваемой насосом базовой машины; гидропневматическая – взвод ударной части совершается рабочей жидкостью, а рабочий ход происходит за счет энергии сжатого газа пневмоаккумулятора.

Главный недостаток гидромеханических ударных устройств – наличие сложной механической передачи. Попытки повысить энергию удара влекут за собой резкое увеличение массы и габаритных размеров ударных устройств, что усложняет эксплуатацию оснащенных ими машин и ограничивает возможности их использования.

Недостатком гидравлических ударных устройств (вторая группа) является сложность конструкции, вызванная наличием большого количества гидроаппаратов (золотников, обратных клапанов и др.) в конструкции самого ударного устройства, что уменьшает их надежность в эксплуатации.

К преимуществам гидропневматических ударных устройств следует отнести компактность, низкую металлоемкость на единицу энергии удара, простоту регулирования энергии удара изменением давления зарядки газа в пневмоаккумуляторе. Гидропневматические ударные устройства получили наибольшее распространение [4].

Новые технические решения объемных гидроприводов машин дорожно-строительного комплекса на базе гидроударных устройств

Создание мощных и высокопроизводительных машин дорожно-строительного комплекса определяет несколько направлений исследования, среди которых: оптимизация структуры и основных параметров гидроприводов, реализующих новые энергосберегающие технологии, повышение надежности, мощности и производительности рабочего оборудования за счет установки гидроударных устройств в конструкцию [5].

Анализ существующих конструкций промышленных образцов ударно-вибрационных машин, патентных и литературных источников позволяет определить основные тенденции развития техники в рассматриваемой области, выявить достоинства и недостатки существующих конструкций. Известные гидравлические устройства ударно-вибрационного действия [1], содержащие корпус, ударную массу, закрепленную на корпусе, гидроцилиндр с силовым поршнем, шток которого соединен с ударной массой, золотниковый, крановый или клапанный гидрораспределитель, плунжер, взаимодействующий с торцевой поверхностью силового поршня, - работоспособны и осуществлены на практике. Однако рассматриваемые конструкции ударно-вибрационного действия имеют ряд недостатков, среди которых: значительные потери гидравлической энергии при реверсировании запорных элементов возвратно-поступательного действия (золотников, крановых пробок, клапанов, пластин и т.д.) - до 20 % энергии цикла вследствие, так называемого, «короткого замыкания» золотника или другого запорного элемента.

Сравнительный анализ предлагаемых в работе схемотехнических решений позволяет оценить значительное число факторов, влияющих на процессы создания и внедрения в производство новых технических решений в конструкциях ударно-вибрационного действия, расположенных в соответствующих аспектах: экономические, экологические, производственно-технологические и эксплуатационные.

Предлагаемый усовершенствованный вариант конструкции гидропривода с гидроударными устройствами для строительной машины проиллюстрирован на принципиальной схеме (рисунок 1).

Предлагаемая конструкция гидропривода строительной машины включает три гидроударных устройства, каждый из которых содержит корпус 1, в котором совершает возвратно-поступательные движения боек 2, нанося удары по рабочему инструменту 3. Привод трех бойков осуществляется под воздействием рабочей жидкости, подаваемой шестипоточным насосом 4 [6]. Роторные гидрораспределители 5 осуществляют изменение направления потоков жидкости в контурах гидроударных устройств. Пневмогидроаккумуляторы 10 поддерживают постоянный уровень рабочего давления в

напорных магистралях. Предохранительные гидроклапаны непрямого действия 8 и 9 установлены в участках гидросистемы, в которых может возникнуть повышенное давление. Встроенные в систему управления регулируемые гидромоторы 6, с обратной связью, синхронизируют работу гидрораспределителей 5 с фазами перемещения бойков 2. Обратная связь осуществляется датчиками положения штоков бойков 11. Роторы гидрораспределителей 5 приводятся во вращение валами гидромоторов 6.

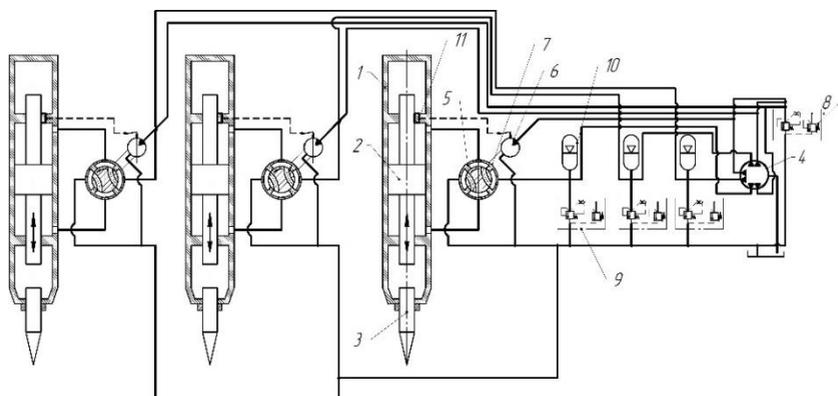


Рис. 1. Объемный гидропривод строительной машины с гидроударными устройствами для рабочих органов активного действия

Однонаправленное непрерывное вращение роторных гидрораспределителей 5 во время рабочего и холостого хода бойков ударно-вибрационных устройств позволяет значительно повысить быстродействие машины, производительность и мощность вследствие исключения режимов остановок и автоколебаний запорных элементов. Плавное непрерывное вращение роторных распределительных элементов позволяет существенно уменьшить вибрацию и шум во время работы устройства. Конструктивные достоинства предлагаемого технического решения гидроударных устройств повышают надежность и долговечность проектируемой техники, увеличивают производительность, мощность и обеспечивают хорошие экологические и эргономические условия для оператора, управляющего машиной.

Расчет параметров объемного гидропривода на базе роторных гидрораспределителей с гидравлической обратной связью базируется на решениях разработанной математической модели нестационарного потока в разветвленной гидросистеме с учетом энергетической модели накопления повреждений и микроразрушений стенок каналов при воздействии повышенного внутреннего давления.

### ***Заключение***

Создание конкурентоспособных, высокопроизводительных, экономичных и экологически защищенных конструкций гидроприводов машин для дорожно-строительного комплекса базируется на эффективном применении гидроударных устройств на базе роторных гидрораспределителей с гидравлической обратной связью по положению и с автоматическим объемным регулированием скорости движения выходных звеньев гидродвигателей;

Значительный экономический эффект от внедрения в производство гидроударных устройств на базе роторных гидрораспределителей обеспечивается исключением режимов автоколебаний запорных элементов гидроаппаратов и выходных звеньев гидродвигателей.

Однонаправленное непрерывное вращение роторов гидрораспределителей гидроударных устройств позволяет значительно повысить быстродействие машины вследствие исключения режимов остановок и автоколебаний запорных элементов гидроаппаратов, что гарантирует, в свою очередь, повышение мощности и производительности при высоких показателях коэффициента полезного действия, значительную экологическую защиту и эргономический эффект при управлении машиной;

Принципиально новые технические решения объемных гидроприводов с применением гидроударных устройств для машин дорожно-строительного комплекса базируются на многоконтурной системе, включающей многопоточный насос с пропорциональными потоками, совместно работающий с контурами ударно-вибрационных гидродвигателей с гидравлической обратной связью по положению;

Расчет параметров многоконтурного объемного гидропривода с гидроударными устройствами на базе роторных гидрораспределителей с гидравлической обратной связью базируется на решениях математической модели нестационарного потока в разветвленной гидросистеме с учетом энергетической модели накопления повреждений и микроразрушений стенок каналов при воздействии повышенного внутреннего давления.

### **Литература**

1. Добронравов, С.С. Строительные машины и основы автоматизации: Учеб.для стрит.вузов / С.С. Добронравов, В.Г. Дронов – М.:Выш.шк., 2003. – 575 с.
2. Вавилов, А.В. Совершенствование ударно-вибрационных машин для строительства автомобильных дорог и мостов / А.В. Вавилов, А.Н. Смоляк//Автомобильные дороги и мосты. – 2013. – № 1(11). – С.65–70.
3. Вавилов, А.В. Повышение уровня автоматизации строительных машин – гарант их конкурентоспособности / А.В. Вавилов, А.Н. Смоляк // Строительная наука и техника. – 2008. – № 3(18). – С.74–78.

4. Галдин, Н.С. Ковши активного действия для экскаваторов: Учебн. пособие/ Н.С. Галдин, Е.А. Бедрина // Изд-во СибАДИ. – Омск, 2003. – 53 с.

5. Смоляк, А.Н. К вопросу совершенствования автоматизации управления строительными и дорожными машинами с гидравлическим приводом / А.Н.Смоляк // Вестник БНТУ. – 2007. – №2. – С.9–12.

6. Объемная гидромашина: пат. 3590 Респ.Беларусь, МПК7 F 15 В 11/00 / А.Н. Смоляк; заявитель БНТУ – № u 20060744; заявл. 10.11.2006; опубл. 30.06.2007 // Офиц. бюл. / Нац. центр интеллектуальной собственности – 2007.

УДК 69.05–82–229.384

## **Формирование объёмных гидравлических передач на базе шестерённых гидромашин**

Котлобай А.Я., Котлобай А.А.

Белорусский национальный технический университет

В рамках развития систем приводов ходового оборудования колесных и гусеничных дорожно-строительных машин находят применение объёмные гидравлические передачи (ОГП) с внутренним разветвлением потока мощности. При анализе показателей материалоёмкости и удельной стоимости насосов выявлено, что минимальной материалоёмкостью и удельной стоимостью обладают шестерённые гидромашин, применение которых в качестве насосов в составе ОГП ограничено из-за отсутствия технических решений по регулированию эквивалентного объёма.

Рассмотрим два варианта технического решения ОГП с внутренним разветвлением потока мощности, отличающиеся местом установки планетарного редуктора.

ОГП (рисунок 1, рисунок 2) включает шестерённый насос 1 переменной производительности, аксиально-поршневой гидромотор 2 постоянного объёма, планетарный редуктор 3.

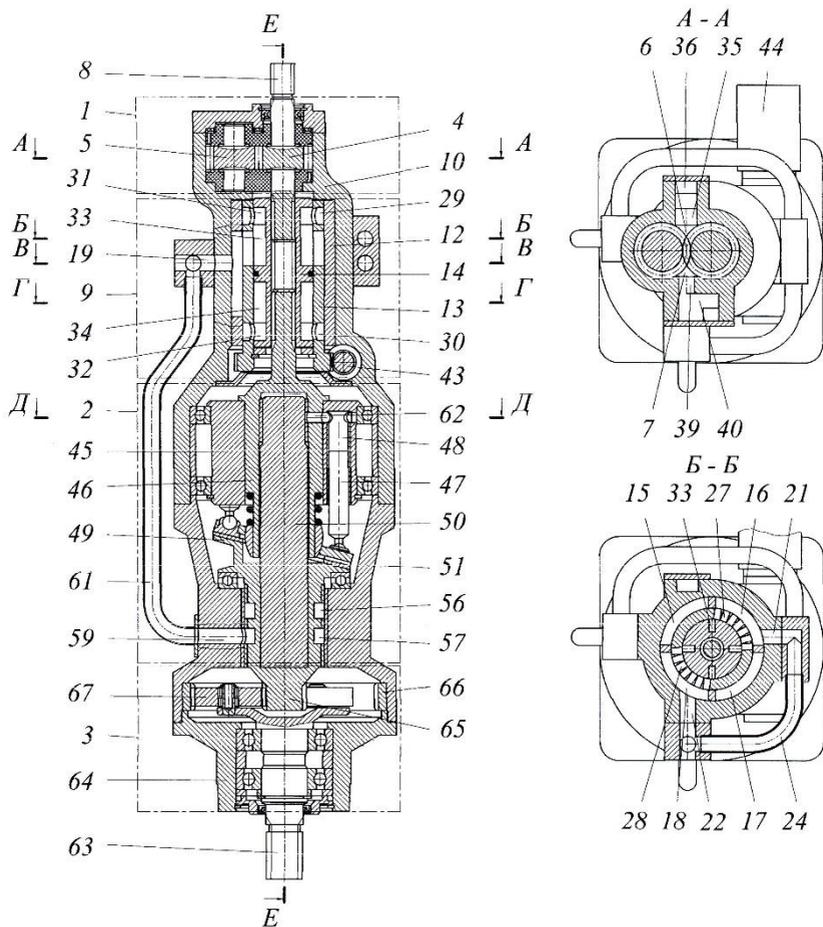


Рис. 1. ОГП с планетарным редуктором в линии связи наклонной шайбы гидромотора и ведомого вала

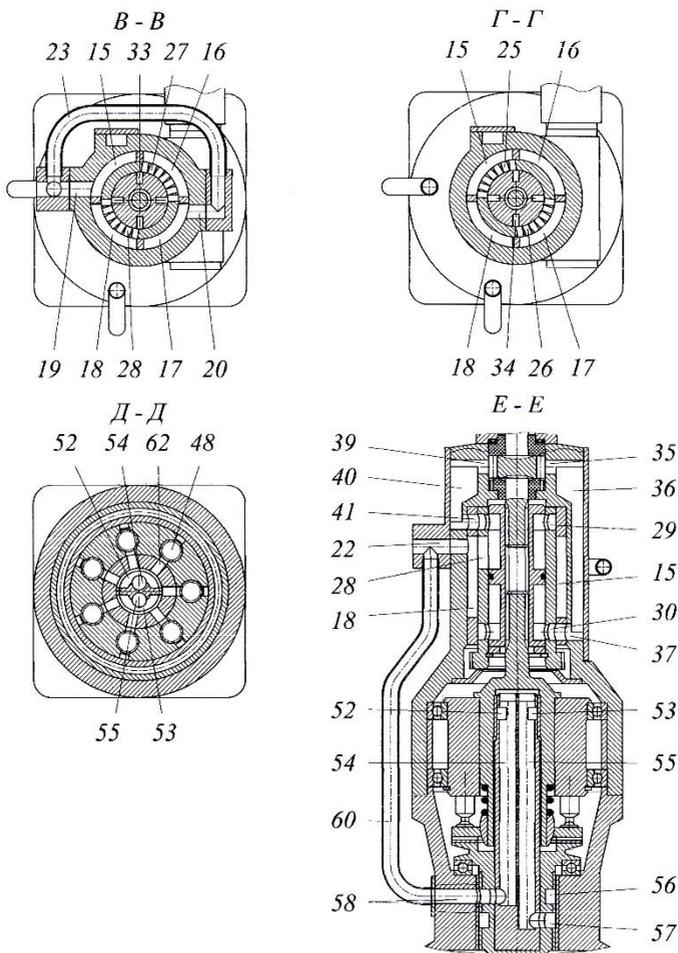


Рис. 1 (продолжение). ОГП с планетарным редуктором в линии связи наклонной шайбы гидромотора и ведомого вала

Шестерённый насос 1 содержит шестерни 4, 5, образующие полости: всасывающую 6, и напорную 7. Шестерня 4 выполнена заодно с приводным валом 8.

Гидрораспределитель 9 насоса 1 может быть выполнен в корпусе 10 насоса 1, гидрораспределителя 9 и гидромотора 2 (см. рисунок 1), либо в корпусе 11 гидрораспределителя 9 и гидромотора 2 (см. рисунок 2), соеди-

ненным с корпусом 10. Гидрораспределитель 9 включает неподвижную распределительную втулку 12, закрепленную в корпусе 10 (см. рисунок 1), либо в корпусе 11 (см. рисунок 2), подвижную распределительную втулку 13, установленную в неподвижной распределительной втулке 12 с возможностью поворота на угол  $180^\circ$ , и ротор 14, установленный в подвижной распределительной втулке 13, и связанный с приводным валом 8 шлицевым соединением.

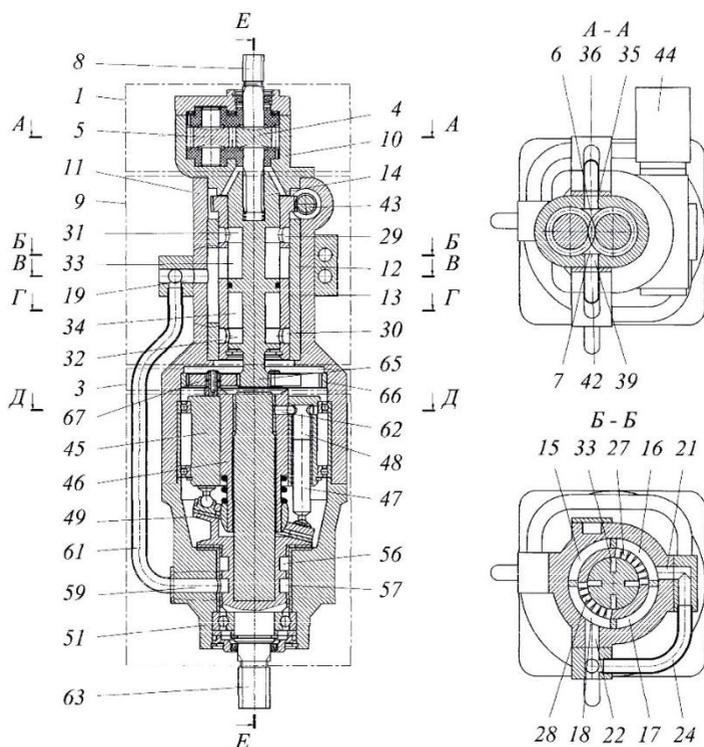


Рис. 2. ОГП с планетарным редуктором в линии связи приводного вала и блока цилиндров гидромотора

На цилиндрической поверхности неподвижной распределительной втулки 12 образованы четыре сегментных пазов 15, 16, 17, 18 с центральными углами, составляющими приблизительно  $90^\circ$ . Полости сегментных пазов 15, 17 и 16, 18 связаны попарно каналами 19, 20 и 21, 22 и трубопроводами 23, 24. Каналы 19, 22 подключены к контуру подпитки (не показан). На ци-

линдрической поверхности подвижной распределительной втулки 13 образованы четыре группы продольных каналов 25, 26, 27, 28, выполненных диаметрально противоположными и смещенными по оси и углу на 90°, и две кольцевые канавки 29, 30.

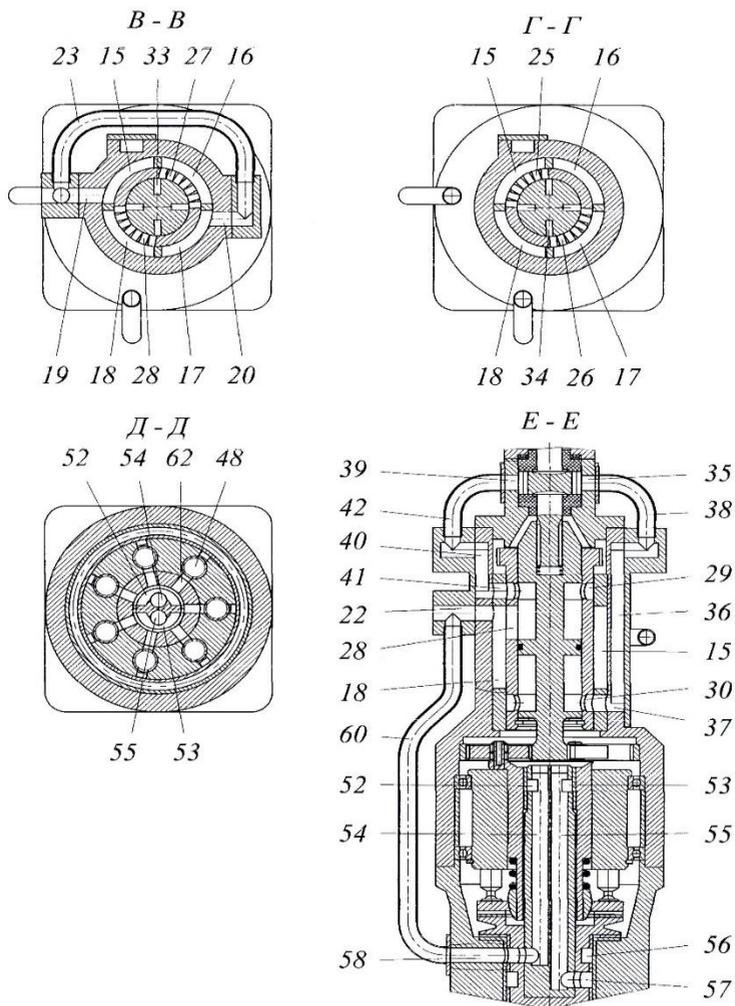


Рис. 2 (продолжение). ОГП с планетарным редуктором в линии связи приводного вала и блока цилиндров гидромотора

На цилиндрической поверхности ротора 14 образованы две кольцевые канавки 31, 32 и, связанные с ними, две группы продольных каналов 33, 34, смещенных по оси и равномерно распределенных по поверхности ротора 14. Кольцевые канавки 31, 32 образованы в зонах кольцевых канавок 29, 30 и связаны радиальными каналами.

Всасывающая полость 6 связана с полостью кольцевой канавки 30: при первом варианте исполнения (см. рисунок 1) – каналами 35, 36, 37; при втором варианте исполнения (см. рисунок 2) – каналом 35, трубопроводом 38, каналами 36, 37. Напорная полость 7 связана с полостью кольцевой канавки 29: при первом варианте исполнения (см. рисунок 1) – каналами 39, 40, 41; при втором варианте исполнения (см. рисунок 2) – каналом 39, трубопроводом 42, каналами 40, 41.

Для обеспечения поворота подвижная распределительная втулка 13 оснащена зубчатым венцом червячного зацепления. Привод червяка 43 червячного зацепления подвижной распределительной втулки 13 осуществляется автономным двигателем 44.

Аксиально-поршневой гидромотор 2 постоянного объема включает блок цилиндров 45, связанный с втулкой 46. Блок цилиндров 45 установлен по наружной поверхности в подшипниковом узле корпуса 10 (см. рисунок 1), корпуса 11 (см. рисунок 2). Поршни 47 образуют рабочие полости 48 и прижимаются к поверхности наклонной шайбы 49, в ступице которой закреплена ось 50. Ступица наклонной шайбы 49 и ось 50 установлены по наружной образующей поверхности в подшипниковом узле корпуса 51 и втулки 46. Ступица наклонной шайбы 49 опирается на корпус 51 посредством упорного подшипника. Корпус 51 соединен с корпусом 10 (см. рисунок 1), либо с корпусом 11 (см. рисунок 2).

Гидрораспределитель гидромотора 2 включает группу диаметрально противоположных сегментных пазов 52, 53 с центральным углом  $180^\circ$ , образованную на наружной поверхности оси 50. Продольная плоскость сегментных пазов 52, 53 совпадает с плоскостью наклона шайбы 49. Полости сегментных пазов 52, 53 связаны каналами 54, 55 с полостями кольцевых канавок 56, 57, образованных на поверхности ступицы наклонной шайбы 49. Полости кольцевых канавок 56, 57 связаны каналами 58, 59, трубопроводами 60, 61 с каналами 22, 19. Рабочие полости 48 блока цилиндров 45 связаны радиальными каналами 62 с полостями сегментных пазов 52, 53.

Ведомый вал 63 установлен в подшипниковом узле крышки 64 корпуса 51 (см. рисунок 1), корпуса 51 (см. рисунок 2). При втором варианте исполнения (см. рисунок 2) ведомый вал 63 выполнен заодно со ступицей наклонной шайбы 49.

Планетарный редуктор 3 при первом варианте исполнения (см. рисунок 1) установлен в кинематической линии связи наклонной шайбы 49 и ведомого вала 63. Редуктор 3 включает солнечную шестерню 65, выполненную заодно со ступицей наклонной шайбы 49, коронную шестерню 66, установленную в корпусе 51, сателлиты 67, установленные на осях водила, выполненного заодно с ведомым валом 63. При втором варианте исполнения (см. рисунок 2) планетарный редуктор 3 установлен в кинематической линии связи ротора 14 и втулки 46 блока цилиндров 45. Редуктор 3 включает солнечную шестерню 65, выполненную заодно с ротором 14, коронную шестерню 66, установленную в корпусе 11, сателлиты 67, установленные на осях водила, выполненного заодно с втулкой 46.

Приводной вал 8 вращается от двигателя (не показан), и приводит во вращение шестерни 4, 5 и ротор 14. Во всасывающей полости 6 создается разрежение, а в напорной полости 7 – напор. При первом варианте исполнения (см. рисунок 1) ротор 14 вращает блок цилиндров 45 с втулкой 46 и поршнями 47, взаимодействующими с наклонной шайбой 49. Наклонная шайба 49 с солнечной шестерней 65 вращается, приводя во вращение сателлиты 67, водило с ведомым валом 63. При втором варианте исполнения (см. рисунок 2) солнечная шестерня 65, образованная на роторе 14, вращает сателлиты 67, водило, выполненное заодно с втулкой 46. Наклонная шайба 49 вращается, приводя во вращение ведомый вал 63.

При исходном положении (условно) подвижной распределительной втулки 13 всасывающая полость 6 соединена с сегментным пазом 55, а напорная 7 – с сегментным пазом 54. Рабочая жидкость из напорной полости 7 поступает по каналам 39, 40, 41 при первом варианте исполнения (см. рисунок 1), по каналу 39, трубопроводу 42, каналу 41 при втором варианте исполнения (см. рисунок 2) в полости кольцевых канавок 29, 31, далее по продольным каналам 33, 27, 28 в полости сегментных пазов 16, 18, и по каналам 21, 22, трубопроводам 24, 60, каналу 58 в полость кольцевой канавки 56, и по каналу 54 в полость сегментного паза 52. В данном положении подвижной распределительной втулки 13 обеспечивается максимальный эквивалентный объем насоса шестеренного 1 и максимальная подача рабочей жидкости в полость сегментного паза 52. Из полости сегментного паза 52 рабочая жидкость по каналам 62 поступает в рабочие полости 48 блока цилиндров 45 гидромотора 2. Поршни 47 выдвигаются, и, взаимодействуя с наклонной шайбой 49, поворачивают наклонную шайбу 49 и солнечную шестерню 65 при первом варианте исполнения (см. рисунок 1), и ведомый вал 63 при втором варианте исполнения (см. рисунок 2) относительно оси ОГП в направлении, противоположном направлению блока цилиндров 45. При движении поршней 47 внутрь блока цилиндров 45 рабочая жидкость из рабочих полостей 48 поступает по каналам 62 в полость сегментного паза 53,

и по каналу 55 в полость кольцевой канавки 57. Из полости кольцевой канавки 57 рабочая жидкость по каналу 59, трубопроводу 61, каналу 19, трубопроводу 23, каналу 20 поступает в полости сегментных пазов 15, 17, и далее, по продольным каналам 25, 26, 34 в полости кольцевых канавок 32, 30, и по каналам 37, 36, 35 при первом варианте исполнения (см. рисунок 1), по каналам 37, 36, трубопроводу 38, каналу 35 при втором варианте исполнения (см. рисунок 2) во всасывающую полость 6 насоса 1. Скорость вращения ведомого вала 63 при заданной скорости вращения приводного вала 8, первом (1) и втором (2) вариантах исполнения:

$$n_{63} = n_8 \frac{1-k}{i}, \quad i = \frac{n_{65}}{n_{63}}, \quad (1);$$

$$n_{63} = n_8 \left( \frac{1}{i} - k \right), \quad i = \frac{n_{65}}{n_{45}}, \quad (2);$$

$$k = \frac{q_{нк}}{q_{мк}} \cdot \frac{q_{нф}}{q_{нк}}$$

где  $\frac{q_{нк}}{q_{мк}}$ ;  $\frac{q_{нф}}{q_{нк}}$ ;  $i$  – передаточное число планетарного редуктора 3;  $k$  – коэффициент, характеризующий отношение текущих значений объемов насоса 1 и гидромотора 2;  $n_{8, П45, П63, П65}$  – скорость вращения приводного вала 8, блока цилиндров 45; ведомого вала 63, солнечной шестерни 65;  $q_{нк}$ ,  $q_{мк}$  – конструктивный объем насоса 1, гидромотора 2;  $q_{нф}$  – эффективный объем насоса 1, определяемый углом поворота подвижной распределительной втулки 13.

При повороте подвижной распределительной втулки 13 посредством автономного двигателя 44 и червяка 43 на угол  $45^0$ , например, по часовой стрелке от исходного положения, половина продольных каналов 25, 26 переместятся в зоны сегментных пазов 16, 18, а половина продольных каналов 25, 26 останется в зоне сегментных пазов 15, 17. Также, половина продольных каналов 27, 28 переместятся в зоны сегментных пазов 17, 15, а половина продольных каналов 27, 28 останется в зоне сегментных пазов 16, 18.

При повороте ротора 14 на угол  $45^0$  от начала взаимодействия двух пар каналов 34 и 33 с продольными каналами 25, 26 и 27, 28, рабочая жидкость из напорной полости 7 поступает в полости кольцевых канавок 29, 31, далее в полости сегментных пазов 16, 18 и 52, и в рабочие полости 48. Из рабочих полостей 48 рабочая жидкость поступает в полости сегментных пазов 53 и 15, 17, и во всасывающую полость 6 насоса 1. При повороте ротора 14 на угол от  $45^0$  до  $90^0$  от начала взаимодействия двух пар каналов 34 и 33 с продольными каналами 25, 26 и 27, 28, рабочая жидкость из напорной полости

7 поступает в полости кольцевых канавок 29, 31, далее в полости сегментных пазов 15, 17 и 53, и в рабочие полости 48. Из рабочих полостей 48 рабочая жидкость поступает в полости сегментных пазов 52 и 16, 18, и во всасывающую полость 6 насоса 1.

При дальнейшем повороте ротора 14 две пары следующих продольных канала 34 и 33 взаимодействуют с продольными каналами 25, 26 и 27, 28, и цикл повторяется, как описано выше. Всасывание рабочей жидкости насосом 1 осуществляется последовательно из сегментных пазов 53, 52, а нагнетание в – полости сегментных пазов 52, 53 гидрораспределителя гидромотора 2. В данном положении подвижной распределительной втулки 13 обеспечивается минимальный (нулевой) эквивалентный объем насоса шестеренного и минимальная (нулевая) подача рабочей жидкости в напорную магистраль гидромотора 2.

При нулевой подаче насоса шестеренного 1 движения рабочей жидкости в полостях сегментных пазов 52, 53 нет, рабочие полости 48 блока цилиндров 45 запираются, поршни 47 гидромотора 2 блокируются, и блок цилиндров 45 с втулкой 46 вращает наклонную шайбу 49 в направлении вращения приводного вала 48 со скоростью, определяемой выражением (1), (2) при  $k = 0$ .

При повороте подвижной распределительной втулки 13 на угол  $90^\circ$  от исходного положения, продольные каналы 25, 26 переместятся в зоны сегментных пазов 16, 18, а продольные 27, 28 – в зоны сегментных пазов 17, 15. Всасывающая полость 6 соединена с сегментным пазом 52, а напорная 7 – с сегментным пазом 53. В данном положении подвижной распределительной втулки 13 обеспечивается максимальный эквивалентный объем насоса шестеренного 1 и максимальная подача рабочей жидкости в полость сегментного паза 53. Подача рабочей жидкости реверсирована. Скорость вращения ведомого вала 63 при заданной скорости вращения приводного вала 8, при первом (3) и втором (4) вариантах исполнения:

$$n_{63} = n_8 \frac{1+k}{i}, \quad i = \frac{n_{65}}{n_{63}}, \quad (3);$$

$$n_{63} = n_8 \left( \frac{1}{i} + k \right), \quad i = \frac{n_{65}}{n_{45}}, \quad (4).$$

В выражениях (1), (2), (3), (4) не учитывается объёмный КПД гидромашины.

Предварительная оценка диапазона регулирования скорости выходного звена показала потенциальные возможности использования ОГП в составе

насоса шестерённого, оснащённого гидрораспределителем, обеспечивающего регулирование эквивалентного объёма и реверсирование потока рабочей жидкости, в трансмиссиях привода ходового оборудования колесных и гусеничных дорожно-строительных машин.

### Литература

1. Котлобай, А.Я. Снижение материалоемкости приводов рабочего оборудования траншейно-котлованной машины / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, А.И. Герасимюк, В.Ф. Тамело, В.В. Грубеляс // Инженер-механик. – 2017. № 1 (74). – С. 10–17.

2. Котлобай, А.Я. Фазовое регулирование насосных установок машин инженерного вооружения / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В. Ф. Тамело // Инженер-механик. – 2017. № 4 (77). – С. 10–17.

3. Котлобай, А.Я. Объемные гидравлические передачи ходового оборудования транспортно-тяговых машин / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело // Инженер-механик. – 2017. № 2 (75). – С. 18–25.

4. Аксиально-поршневая гидромашинa: пат. 21749 С1, Республика Беларусь, МПК F 15B 11/22 (2006.01) / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № а 20150103; заявл. 2015.02.20; опубл. 2018.04.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2018. – № 2.

5. Гидродифференциальная передача: пат. 12141 Г, Республика Беларусь, МПК F 16H 39/00, МПК F 16H 48/26 (2006.01) / А.А. Почебыт, А.В. Волчкович, О.А. Логашин, А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай; заявитель А.А. Почебыт, А.В. Волчкович, О.А. Логашин, А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай. – № u 20190097; заявл. 2019.04.11; опубл. 2019.10.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2019. – № 5.

6. Гидродифференциальная передача: пат. 20794 С1, Республика Беларусь, МПК F 16H 39/00, МПК F 16H 48/26 (2006.01) / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № а 20130324; заявл. 2013.03.15; опубл. 2017.02.28 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – № 1.

7. Гидродифференциальная передача: пат. 21039 С1, Республика Беларусь, МПК F 16H 48/00 (2006.01) / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № а 20131530; заявл. 2013.12.18; опубл. 2017.04.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – № 2.

8. Гидродифференциальная передача: пат. 21410 С1, Республика Беларусь, МПК F 16H 61/44, F 16B 11/22 (2006.01) / А.Я. Котлобай, А.А. Котло-

бай, Е.Н. Малец; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № а 20140338; заявл. 2014.06.18; опубл. 2017.10.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – № 5.

9. Полноприводные автомобили КрАЗ / А.А. Малышев, В.М. Круговой, И.Н. Румшевич. – М.: «Транспорт», 1975. – 304 с.

УДК 625.76 (083.13)

## **Белорусский опыт переработки отработанных бетонных и железобетонных конструкций в востребованные продукты**

Замула А.А.

Белорусский национальный технический университет

*В связи ростом транспорта и его значения в жизни людей, стоит остро вопрос необходимости строительства дорог с твердым покрытием и поддержания состояния этих дорог в работоспособном состоянии. Особенно остро этот вопрос стоит для местных дорог в состав которых входят внутрихозяйственные дороги которые, проходят через агрогородки, деревни, обеспечивая связь с животноводческими фермами, зернотоками, школами, клубами и т.д. Плохое состояние этих дорог снижает привлекательность таких населенных пунктов и мешает нормальному функционированию вышеуказанных объектов.*

Для создания твердых покрытий внутрихозяйственных дорог с минимальными затратами следует задействовать: щебень, получаемый из отработанных бетонных или железобетонных конструкций, как более дешевый, чем щебень, получаемый из гранита, добываемого в Микашевичах; камни, собираемые с сельскохозяйственных полей и собранные при разработке карьеров; асфальтогранулят, получаемый при ремонте старых дорожных покрытий.

Отходы бетона и железобетона образуются при сносе старых зданий, строительстве, при производстве изделий, если не соответствуют стандарту. Чаще всего это крупногабаритные отходы которые стараются переработать в новый строительный материал.



Рис. 1. Отходы бетона и железобетона

Железобетонными отходами обычно являются: дорожные плиты и плиты перекрытий; блоки фундамента; опоры и сваи; некондиционные изделия.

В настоящее время бетонные и железобетонные конструкции стремятся переработать и получить востребованный продукт в виде щебня. Отходы, которые не могут быть использованы повторно, используют для рекультивации карьеров.

Известны основные методы разрушения: ударный (отбойный молот); раскалывания (гидроклин, расклинивающее устройство,); резки (бензорезы, термическая резка); дробления (дробилки разных конструкций: щековые, конусные; ковш дробилки; мобильные комплексы); разрушения (расширяющиеся составы – химические процессы).

Отработанные бетонные и железобетонные конструкции состоят из бетона и арматуры, поэтому переработка заключается в следующем: на начальном этапе куски разламываются или разрезаются. Эти операции выполняются с помощью экскаваторов с навесным оборудованием в виде ножиц, бетонолома или гидромолота; вручную, при помощи бензорезов и отбойных молотков. На этом этапе происходит отделение арматуры и образование кусков бетона размером до 200 мм. формируются соответствующие отвалы с металлом и бетоном. Металл может также отделяться от бетона при помощи магнитных сепараторов.



Рис. 2. Экскаватор с навесным оборудованием (бетонолом)



Рис. 3. Резка железобетона вручную, при помощи бензореза и разрушение отбойным молотом

Следующим этапом является измельчение, которое осуществляется при помощи стационарных дробильных комплексов, мобильных дробильных комплексов или при помощи навесного оборудования на экскаватор (ковш-дробилка).



Рис. 4. Стационарный дробильный комплекс



Рис. 5. Экскаватор с навесным оборудование (ковш дробилка)



Рис. 6. Мобильный дробильный комплекс

После дробления материал необходимо сортировать: эта операция осуществляется при помощи грохота.



Рис. 7. Линия по сортировке

Таким образом, в Республике Беларусь перерабатывается более 90 % отработанных бетонных и железобетонных конструкций. Наиболее крупные предприятия по переработке железобетона: «Экология города», «Вторичный щебень», «Рахматстрой», «Линия сноса», «Мапид».

Отработанные бетонные и железобетонные конструкции перерабатывают в востребованный продукт: вторичный щебень и металл. Фракции 5–10 мм, 5–20 мм, 10–20 мм, 20–40 мм, 20–65 мм, 25–60 мм, 40–70 мм используются при строительстве дорог, для замены грунта при засыпке карьера, при производстве строительных материалов. Металл в дальнейшем передается в пункты приема металлолома. Вторичный щебень позволяет сократить использование дорогостоящих материалов, сохранить земли (нет необходимости в организации свалки). Выгода просматривается также из-за меньших энергозатрат - в 8 раз меньше, чем при добыче природного щебня, что позволяет снизить себестоимость бетона на вторичном щебне на 25 %.

### Литература

1. Мисюченко В.М. Переработка промышленных отходов и разработка документов для предприятия: учебно-методическое пособие В. М. Мисюченко. – Минск: ИВЦ Минфина 2018. – 99 с.
2. Гусев Б.В., Загурский В.А. Вторичное использование бетонов. М: Стройиздат, 1988. – 96 с.

## **Возможность замены природного щебня и гравия вторичным сырьем при строительстве и ремонте дорог**

Губская А.Г. к.т.н., Гапотченко А.П., Сенатова К.С., Олецкая Л.П.  
Государственное предприятие «Институт НИИСМ»

Дороги – это весьма сложные и дорогостоящие сооружения. Их роль в жизни любого населенного пункта, как и всей страны, трудно переоценить. В современном мире одним из ведущих направлений дорожной отрасли является повышение экологичности и качества дорожного покрытия при одновременном снижении стоимости, увеличение срока его эксплуатации. В качестве одного из источников снижения себестоимости укладки дорожных покрытий является использование при их устройстве техногенных отходов [1].

Технология изготовления дорожного полотна с использованием вторичного сырья дает очень много преимуществ:

- сохранение природных ресурсов;
- уменьшение антропогенной нагрузки на окружающую среду;
- повышение скорости строительства;
- существенно удешевление объектов и др.

Природные ресурсы сохраняются за счет того, что повторно используются материалы, и нет необходимости добывать в карьерах новый щебень и отсеивать и осуществлять подвозку песчаных материалов.

Антропогенная нагрузка на окружающую среду уменьшается, так как значительная часть строительного лома не вывозится на свалки и не загрязняет большие территории, а снова идет в дело.

Увеличивается скорость строительства. На складах, расположенных прямо на площадках сноса, имеется готовое вторичное сырье, и его не нужно перевозить на большие расстояния – «все под рукой».

Кроме того, немаловажным является тот факт, что вторичное сырье гораздо дешевле первичного. Его «добыча» и накопление осуществляется непосредственно на месте строительства дороги. За счет всего этого происходит существенная экономия при строительстве дорог.

Вторичные материалы можно также получать при максимально полной переработке строительного лома, в результате демонтажа и сноса устаревших зданий, исчерпавших срок эксплуатации. Из бетонных и кирпичных обломков выбираются древесина, стекло, пластик, куски тепло- и гидроизоляции, электромагнитом извлекается металлическая арматура и закладные детали.

Очищенные обломки на мобильной или стационарной дробильно-сортировочной установке измельчаются и рассеиваются на фракции заданного размера. В результате из бетонного лома получается бетонный щебень, а из кирпичного боя – щебень кирпичный. Мелкие фракции разделяют на отсеив и песок.

Для второстепенных временных дорожных покрытий низких категорий и временных автомобильных дорог (транспортно-технологических путей, внутризаводских дорог и пр.) целесообразно использовать вторичные строительные материалы:

- вторичный щебень;
- бетонный бой;
- бетонные плиты;
- асфальтовую крошку;
- битый дробленый кирпич.

Железобетонные отходы после разрушения различных зданий имеют большие размеры, непригодные к использованию ввиду своих габаритов. Их в дальнейшем дробят специальными механизмами, для достижения относительно одинаковых размеров. Часто они перемешаны со строительным мусором, кирпичом, землей. Поэтому, без дополнительной очистки он фактически не пригоден к использованию, цена такого бетонного боя относительно невысока.

Рецикл боя бетона заключается в его переработке, очистке, дроблении на однородную фракцию и дальнейшую реализацию. Таким образом, материалам дают вторую жизнь. Конечным продуктом является бетонный щебень, который имеет высокие характеристики по прочности и гигроскопичности. Дробленый бетон можно использовать для дальнейшей укладке на него асфальта.

Бетонный щебень не изготавливается из керамзитоблоков, пенобетон, шлакоблоков, так как материал крошится, не выдерживая высоких нагрузок.

Бой кирпича образуется при разборке старых зданий, которые как правило, разбирают механическим молотом. Кирпичный брак получаемый при производстве кирпича, как правило, используют на заводах-производителях, получая из него путем дробления новый продукт – теннесит. Возможно использование боя для ремонта или отсыпки дорог, что особенно актуально для дачных загородных дорог. Перед отсыпкой временной дороги, бой кирпича желательно дробить таким образом, чтобы, чтобы размер осколков был примерно одинаков. Приоритет в использовании имеет бой силикатного кирпича, так как он более устойчив к различным разрушениям.

После снятия асфальтобетонного покрытия с отслужившего дорожного полотна, его дробят и пускают снова в переработку. Наличие в его составе

битума и смол способствует хорошему сцеплению с остальными компонентами дорожного полотна и является достойной альтернативой вторичному щебню.

Вторичный щебень – это смесь строительных материалов, бывших в употреблении, это кирпичная крошка, бетонный бой, отходы щебня, асфальта. Такая смесь часто является оптимальным вариантом при небольшом бюджете для строительства временной дороги. Его успешно применяют для:

- строительства дорог с невысокими нагрузками;
- в качестве заполнителя при производстве изделий из бетона;
- в дренажных системах;
- укрепления подвижных грунтов;
- заливки заводских, складских полов.

Использование вторичного сырья в дорожном строительстве не является новым для Республики Беларусь. Решению этих проблем посвящены работы [2, 3]. С 2003 года на базе УП «УДМС и Б Мингорисполкома» создан городской центр по приемке, хранению и переработке старого асфальтобетона. С этого момента старому асфальтобетону придан статус вторичного сырья, которое подлежит учету и сдаче на центр переработки всеми дорожно-строительными организациями города Минска. На сегодняшний день, с уверенностью можно утверждать, что объем старого асфальтобетона по г. Минску составляет 40–50 тысяч т в год. Повторное применение старого асфальтобетона позволяет получить из, казалось бы, ненужных отходов качественно новый материал – асфальтогранулят. Применение данного материала, как продукта переработки, не только снижает стоимость строительных работ, но и существенно увеличивает надежность конструкций в дорожном строительстве. В настоящее время успешно работает ряд предприятий, получающих вторичный щебень.

Нами проанализированы экспериментальные данные, полученные при исследовании щебня и гравия из природных материалов и техногенных отходов. В настоящее время в Республике Беларусь действуют следующие ТНПА, определяющие требования к качеству щебня и гравия для дорожного строительства: ГОСТ 32703-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Технические условия» и ГОСТ 32495-2013 «Щебень, песок и песчано-щебеночные смеси из дробленного бетона и железобетона. Технические условия». Проведенный анализ показывает, что требования к их качеству, определяемые перечисленными выше документами, практически, не отличаются.

На рисунках 1-5 графически представлено содержание вредных компонентов и примесей, содержащихся в щебне и гравии из вторичного и природ-

ного сырья, по отношению к нормируемой ТНПА величине. На всех рисунках позиции 1–8 относятся ко вторичному щебню; 9 – это нормируемый показатель: содержание компонента, %, не более; 10–12 - щебень и гравий из природного сырья.

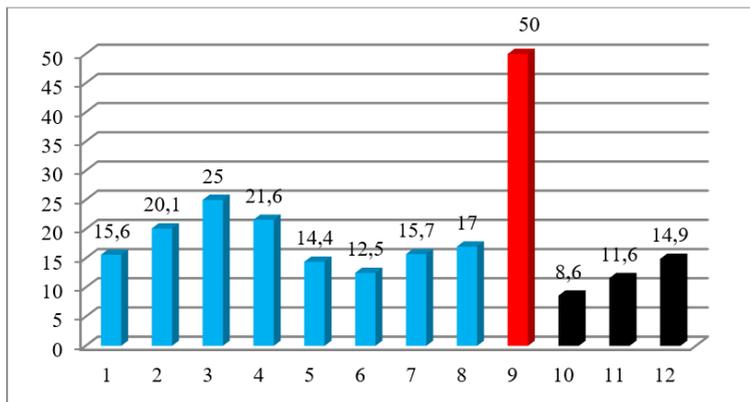


Рис. 1. Содержание аморфных разновидностей диоксида кремния, растворимого в щелочах, моль/л

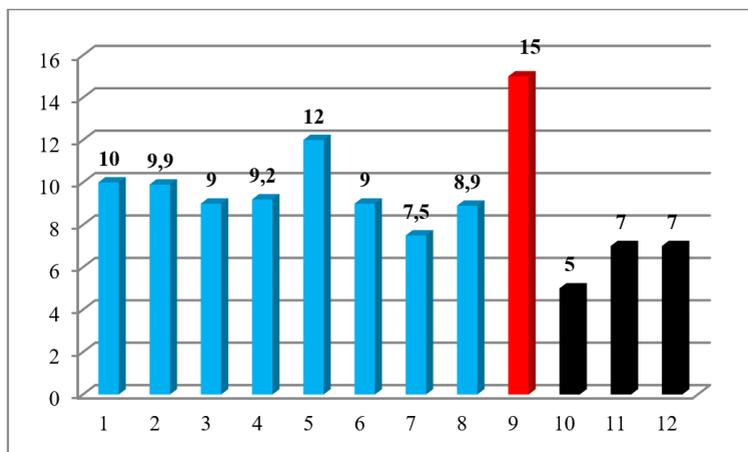


Рис. 2. Содержание слоистых силикатов, % по объему

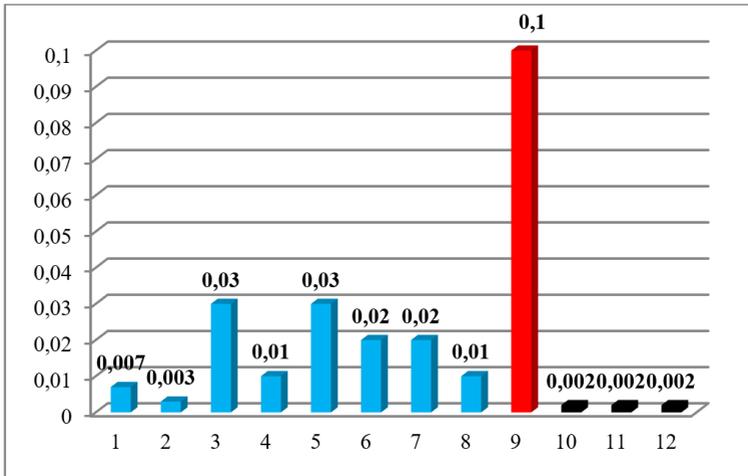


Рис. 3. Содержание галоидных соединений (галит, сильвин и др., включая водорастворимые хлориды) в пересчете на ион хлора, % по массе

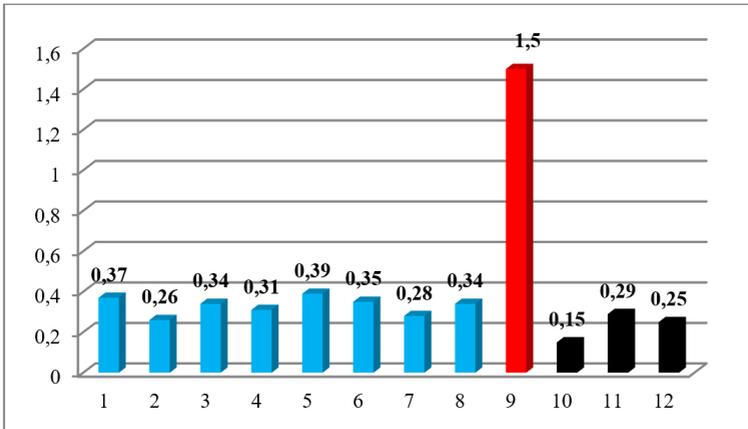


Рис. 4. Содержание сульфатов (гипс, ангидрит) и сульфидов, кроме пирита, (марказит, пирротин, гипс, ангидрит и др.), в пересчете на SO<sub>3</sub>, % по массе

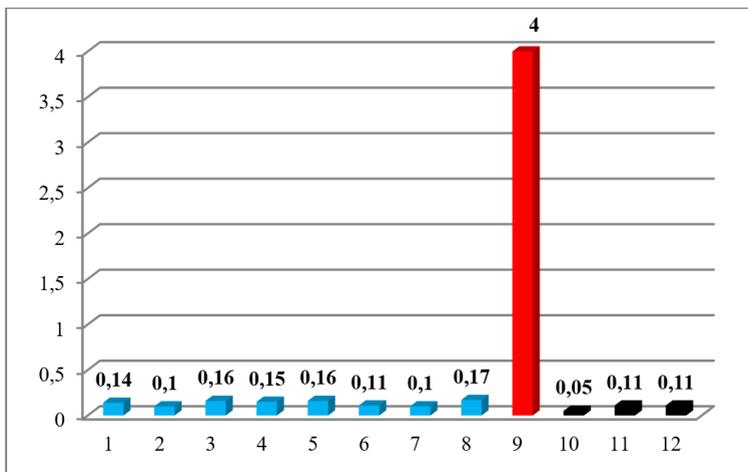


Рис. 5. Содержание пирита, % по массе

В таблице 1 приведены результаты определения физико-механических показателей вторичного щебня и щебня из плотных горных пород (РУПП «Гранит»).

Анализ данных, приведенных на рисунках 1–5, показывает, что содержание вредных примесей во вторичном и природном щебне близки, и значительно ниже нормируемых значений.

Физико-механические показатели вторичного щебня значительно ниже, чем гранитного. Поэтому вторичный щебень не рекомендуется использовать на дорогах с повышенной нагрузкой. Однако значительно более низкая цена вторичного щебня делает целесообразным его использование для устройства дорог низких категорий, внутризаводских и транспортно-технологических путей предприятий.

Таблица 1. Физико-механические показатели вторичного и природного щебня

Показатель	Наименование организаций				
	КУП 3-д эффективных промышленных конструкций	РУП Ремпуть БелЖД	ОДО Высокий замок	ОООО Ремондис, г.Минск	РУПП Гранит
1	2	3	4	5	6
ТНПА на продукцию	ГОСТ 32495-2013	ТУ ВУ 6000495 06.001- 2018	ГОСТ 32495- 2013	ТУ ВУ 19130795 8.002- 2018	ГОСТ 32703- 2014
Вид матери- ала	Вторичный щебень				Щебень из плотных гор- ных пород
Марка по мо- розо-стойко- сти	F25	F25	-	-	F300
Марка по дробимости потеря массы,%	600 св.15 до 20	600 св.15 до 20	400 св.20 до 28	Не нор- миру- ется 18,9	1400 до 9 включ.
Марка по ис- тирае-мости потеря массы,%	И-3 св.35 до 45	И-2 св.25 до 35	И-3 св.35 до 45	-	И-1 до 15 включ.

### Литература

1. Борукаев С.Б. Применение вторичных материалов в ходе дорожных работ/С.Б.Борукаев. - Текст: непосредственный// Молодой ученый. – 2019. – № 28(266). – С.20–22.URL/<https://moluch.ru/archive/266/61564>.
2. Вавилов А.В. ТКО целлюлозобитумосодержащие и минерального происхождения: получение вторичных продуктов/ А.В.Вавилов – Минск: Жилкомиздат, 2018 – 178 с.

3. Вавилов А.В., Лобачевский В.И., Третьяк А.Н., Губская А.Г., Чигринова Ж.П. О решении в Беларуси проблемы получения продуктов из строительных отходов и местного природного сырья / Сборник материалов 5-го Белорусско-Балтийского форума, Минск, 9–10 октября 2019 г. – С.11–12.

**Секция  
«Геодезия и аэрокосмические  
геотехнологии»**

## **Автоматизированный способ поиска оптимального метода установления параметров преобразования плоских прямоугольных систем координат**

Будо А.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Спутниковые методы измерений плотно вошли в повседневную жизнь топографо-геодезических предприятий и активно используются при инженерном обеспечении дорожного строительства. Вместе с этим возрастает роль методов установления параметров связи между плоскими прямоугольными системами координат. Например, всё чаще появляется необходимость установить параметры преобразования между координатами пунктов государственной системы координат и местной (локальной) системы либо между координатами пунктов локальной системы и строительной системы координат.

Для решения задач подобного рода можно воспользоваться большим количеством методов, выбор в пользу одного из которых зачастую обусловлен лишь возможностями используемого спутникового полевого контроллера или программы постобработки измерений. Между тем, вычислительные возможности современного геодезического оборудования позволяют в кратчайшие временные промежутки выполнить необходимые расчёты по каждому из списка предполагаемых методов преобразования и установить параметры связи одновременно с их оценкой точности и определением результирующих ошибок в положении пунктов. А затем в автоматизированном режиме на основе выполненных расчётов подсказать пользователю какой из методов является оптимальным для двух наборов координат пунктов и предложить для дальнейших работ использовать именно его.

Для простоты изложения материала в данной статье ограничимся случаем, когда известны лишь плановые координаты десяти пунктов в двух следующих системах координат:

1. Государственная система координат 1995 года (СК-95 зона 5);
2. Локальная система координат;

В расчётах воспользуемся тремя наиболее известными и широко применяемыми в коммерческом ПО [1, с.24] методами установления параметров связи между плоскими СК:

- 1) по Гельмерту;
- 2) аффинное преобразование;
- 3) параллельный сдвиг.

Во всех трёх методах установление параметров выполним классическим методом наименьших квадратов (МНК). С выводом формул для расчётов можно ознакомиться, например, в [2].

Схема расположения пунктов в рассматриваемом примере представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема расположения пунктов

Плановые координаты всех десяти пунктов в обеих системах координат представлены в табл. 1.

Таблица 1. Плановые координаты пунктов в двух системах координат

№ п/п	Название пункта	СК-95 зона 5		Локальная СК	
		X, м	Y, м	X, м	Y, м
1	пп 1901	5968133,715	5571220,059	-7444,535	34604,949
2	пп 1902	5954960,221	5551300,312	-20617,821	14685,132
3	пп 1903	5975044,327	5554909,575	-533,857	18294,435
4	пп 1904	5985700,939	5548793,641	10122,799	12178,531
5	пп 1905	5986352,860	5553960,724	10774,690	17345,614
6	пп 1906	5973036,526	5559036,576	-2541,626	22421,456
7	пп 1907	5957441,402	5563367,017	-18136,732	26751,847
8	пп 1908	5958054,333	5573079,570	-17523,903	36464,420
9	пп 1909	5985470,638	5568215,978	9892,378	31600,888
10	пп 1910	5965869,114	5552848,693	-9708,994	16233,543

### ***Метод преобразования координат по Гельмерту.***

В данном методе углы не изменяются, а длины линий изменяются по всем направлениям с учётом единого масштабного коэффициента. При этом преобразование координат осуществляется по формулам

$$X = x_2 + m \cdot \cos(\alpha) \cdot (x - x_1) - m \cdot \sin(\alpha) \cdot (y - y_1), \quad (1)$$

$$Y = y_2 + m \cdot \sin(\alpha) \cdot (x - x_1) + m \cdot \cos(\alpha) \cdot (y - y_1), \quad (2)$$

где  $m$  – масштаб (отношение расстояний во второй СК к соответствующим расстояниям в первой СК);

$\alpha$  – угол разворота второй СК относительно первой;

$x_1, y_1$  – центр тяжести первой СК (средние арифметические значения координат по абсциссам и ординатам соответственно);

$x_2, y_2$  – центр тяжести второй СК (локальной СК для рассматриваемого примера);

$x, y$  – координаты пунктов первой СК (для рассматриваемого примера координаты десяти пунктов в СК-95 зона 5);

$X, Y$  – рассчитанные координаты во второй СК (локальной).

По исходным данным из табл.1 с использованием формул МНК из [2] вычислим параметры преобразования:

$$x_1 = 5971006,4075 \text{ м}; \quad x_2 = -4571,7601 \text{ м}; \quad m = 0,99998890708;$$

$$y_1 = 5559673,2145 \text{ м}; \quad y_2 = 23058,0815 \text{ м}; \quad \alpha = 0^\circ 00' 01''.$$

Подставив найденные параметры в (1) и (2), выполним расчёт координат  $X, Y$  для десяти точек из СК-95 в локальную СК. Затем вычислим разность (невязки  $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ ) исходных координат в локальной СК (представленных в табл.1) и вычисленных по формулам (1) и (2), а также плановую невязку для каждого пункта по формуле

$$\varepsilon^2 = (\varepsilon_x)^2 + (\varepsilon_y)^2. \quad (3)$$

Результаты расчётов представлены в сводной табл.2.

### ***Метод аффинного преобразования координат.***

В данном методе преобразования в зависимости от положения пункта изменяются длины линий и углы. Аффинное преобразование координат из одной плоской прямоугольной системы в другую производится по формулам

$$X = x_2 + a_1 \cdot (x - x_1) + b_1 \cdot (y - y_1), \quad (4)$$

$$Y = y_2 + a_2 \cdot (x - x_1) + b_2 \cdot (y - y_1), \quad (5)$$

где  $a_1, a_2, b_1, b_2$  – коэффициенты аффинного преобразования;

$x_1, y_1, x_2, y_2, x, y, X, Y$  – величины, аналогичные применяемым в методе преобразования координат по Гельмерту, описанному выше.

По исходным данным из табл.1 с использованием формул МНК из [2] вычислим параметры преобразования:

$$x_1 = 5971006,4075 \text{ м} \quad a_1 = 0,999996734750$$

$$y_1 = 5559673,2145 \text{ м} \quad a_2 = 0,000002365750$$

$$x_2 = -4571,7601 \text{ м} \quad b_1 = -0,000007195224$$

$$y_2 = 23058,0815 \text{ м} \quad b_2 = 1,000001405150$$

По аналогии с предыдущим методом подставим найденные параметры в (4) и (5), выполним расчёт координат  $X, Y$  для десяти точек из СК-95 в локальную СК, а также вычислим невязки по осям  $\epsilon_x, \epsilon_y$  и общую плановую невязку для каждого пункта по формуле (3). Результаты запишем в сводную табл.2.

***Преобразование координат методом параллельного сдвига осей.***

В данном методе преобразование координат выполняется по формулам

$$X = x + (x_2 - x_1), \quad (6)$$

$$Y = y + (y_2 - y_1), \quad (7)$$

где  $x, y$  – координаты пунктов первой СК (СК-95 зона 5);

$X, Y$  – рассчитанные координаты во второй СК (локальной).

$x_1, y_1$  – центр тяжести первой СК;

$x_2, y_2$  – центр тяжести второй СК.

По исходным данным из табл.1 вычислим координаты центров тяжести и их разности  $dX, dY$ :

$$x_1 = 5971006,4075 \text{ м}; \quad x_2 = -4571,7601 \text{ м}; \quad dX = -5975578,1676 \text{ м};$$

$$y_1 = 5559673,2145 \text{ м}; \quad y_2 = 23058,0815 \text{ м}; \quad dY = -5536615,1330 \text{ м}.$$

В табл.2 максимальные невязки планового положения для каждого из методов выделены полужирным шрифтом, а также приведены вычисленные

по формуле Бесселя среднеквадратические погрешности  $\mu$  общих отклонений координат между рассчитанными по установленным параметрам и исходными координатами локальной системы. Анализ полученных тремя методами значений  $\varepsilon$  и  $\mu$  приводит к выводу о целесообразности использования метода аффинного преобразования координат для рассмотренного объекта.

Таблица 2. Плановые невязки пунктов, полученные в трёх методах

Название пункта	Гельмерт			Аффинное			Параллельный сдвиг		
	$\varepsilon_x, \text{ м}$	$\varepsilon_y, \text{ м}$	$\varepsilon, \text{ м}$	$\varepsilon_x, \text{ м}$	$\varepsilon_y, \text{ м}$	$\varepsilon, \text{ м}$	$\varepsilon_x, \text{ м}$	$\varepsilon_y, \text{ м}$	$\varepsilon, \text{ м}$
пп 1901	0,045	-0,046	0,064	0,009	-0,014	0,016	0,082	-0,023	0,086
пп 1902	-0,079	0,000	<b>0,079</b>	-0,013	-0,003	0,013	-0,126	0,047	<b>0,134</b>
пп 1903	0,029	0,026	0,039	0,037	0,010	<b>0,039</b>	0,016	0,007	0,018
пп 1904	-0,006	0,040	0,041	0,003	-0,004	0,004	-0,028	-0,023	0,036
пп 1905	0,005	0,037	0,037	-0,007	0,005	0,008	0,002	-0,023	0,023
пп 1906	-0,016	-0,005	0,016	-0,018	-0,009	0,020	-0,016	-0,013	0,020
пп 1907	-0,031	-0,014	0,035	-0,016	0,010	0,019	-0,034	0,037	0,050
пп 1908	0,036	-0,043	0,056	0,014	0,005	0,015	0,068	0,017	0,070
пп 1909	0,047	-0,002	0,047	-0,016	0,003	0,017	0,092	-0,043	0,102
пп 1910	-0,030	0,007	0,031	0,006	-0,005	0,008	-0,060	0,017	0,062
$\Sigma \varepsilon^2$			0,0227			0,0034			0,0495

Описанный в статье способ поиска оптимального метода установления параметров преобразования плоских прямоугольных систем координат может быть легко автоматизирован путём разработки небольшого приложения на одном из высокоуровневых языков программирования и в дальнейшем использоваться в контроллерах спутникового оборудования или других мобильных устройствах для расчёта в режиме реального времени параметров между системами и пересчёта координат из одной плоской прямоугольной системы координат в другую. Рассмотренный подход позволяет дополнять описанные способы поиска параметров связи другими методами, например, конформными или полиномиальными второго или более высоких порядков.

В представленных в статье формулах вместо вычисления центров тяжести  $x_1, y_1$  и  $x_2, y_2$  могут назначаться координаты каждого из пунктов последовательным перебором с автоматизированным поиском пункта, для которого величины  $\varepsilon$  и  $\mu$  окажутся наименьшими. Также требует отдельного исследования ситуация, когда в координатах одного или нескольких пунктов будут содержаться грубые ошибки – модифицированный алгоритм должен отыскивать такие пункты и исключать их из дальнейших расчётов

Для полноценной работы с трёхмерными объектами должны быть учтены не только плановые, но и высотные координаты пунктов. Поэтому

заслуживает отдельного внимания разработка алгоритмов автоматизированного поиска оптимальных методов установления высотных параметров связи между системами: линейное смещение по высоте, аппроксимация точек плоскостью, параболой или другой поверхностью с последующим пересчетом высот по формулам выбранного метода.

### **Литература**

1. Руководство пользователя ТРАНСКОР 3.0. [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://credo-dialogue.ru/media/downloads/Documentation/ТРАНСКОР.%20Руководство%20пользователя.pdf> Дата доступа: 21.10.2020.

2. Михайлович, К. Геодезия: (уровнительные вычисления) / Михайлович К.; пер. с серб.-хорват. С. В. Лебедева ; под ред. В. Д. Большакова. – Москва : Недра, 1984. - 448 с. : ил. – Библиогр.: с. 445 (36 назв.).

УДК 528.5:624

## **Технология выполнения исполнительной съемки монтажа цилиндрического оборудования**

Кашура В.Н., Рак И.Е.

Белорусский национальный технический университет

Бадюкова К.В.

Представительства ПАО «Энергоспецмонтаж» РФ в РБ

*Современное развитие народного хозяйства приводит к необходимости создания различных инженерных сооружений, работа которых зависит от соблюдения высокой точности монтажа элементов технологического оборудования и стабильности их положения на всем протяжении их работы. К таким сооружениям относятся: промышленные, гидротехнические, транспортные, прецизионные и уникальные.*

Особое место среди промышленных сооружений занимает современная атомная электростанция (АЭС). Конструктивно АЭС состоит из энергоблока и ряда вспомогательных зданий и сооружений. Энергоблок является основным сооружением АЭС, в котором располагается машинное отделение и его составные части- турбинное отделение, генератор и реакторное отделение. Реакторное отделение относится к разряду особо сложных инженерных сооружений, к которым предъявляются повышенные требования

к точности выполнения строительно-монтажных работ в процессе строительства и монтажа технологического оборудования.

В состав геодезических работ при монтаже крупногабаритного технологического оборудования входят следующие виды работ:

- создание внутренней разбивочной сети и ее перенос на монтажный горизонт;
- разбивка технологических осей;
- геодезическая выверка закладных деталей и технологического оборудования.

Геодезическое сопровождение монтажа парогенератора в здании реактора АЭС относится к сложному и высокоточному виду геодезических работ, требующему специальной методики производства работ и использования прецизионного оборудования. Зачастую точность таких работ составляет десятые доли миллиметров.

В целях исключения отступления от проектных требований при монтаже на блоке, в цеху собирают укрупненный блок основание-ложемент с роликовой опорой парогенератора. На площадке монтируют уже полностью укрупненный блок опоры парогенератора.

Перед монтажом парогенератора на штатные места устанавливают опоры парогенератора. Монтаж опор парогенератора производится по монтажному чертежу МЧ «Детали закладные. Монтажный чертеж» (рисунк 1).

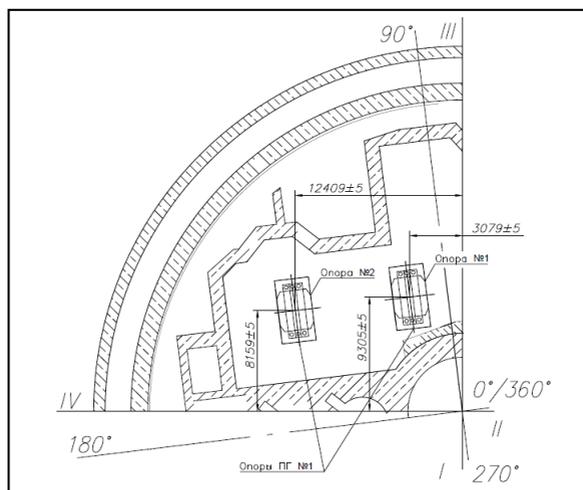


Рис. 1. Схема установки опор парогенератора

В монтажном чертеже привязки опор ПГ №1 указаны от осей реакторной установки, а оси реактора развернуты относительно осей здания реактора

на 7 градусов. Координаты установки опор ПГ указаны для «горячего» состояния главного циркуляционного контура (главный циркуляционный трубопровод + парогенератор). Для установки опор парогенератора рассчитываются разбивочные элементы в программе AutoCAD, определяются координаты центров опор, а также координаты продольных и поперечных осей закладных. Разбивочные работы выполняются тахеометром Leica FlexLine TS02.

*Выверка планового положения опор парогенератора.*

При сборке опоры парогенератора в цеху, на ложемент выносится продольная ось парогенератора, путем измерения центра основания ложемента. Ось закрепляется путем кернения (рисунок 2).

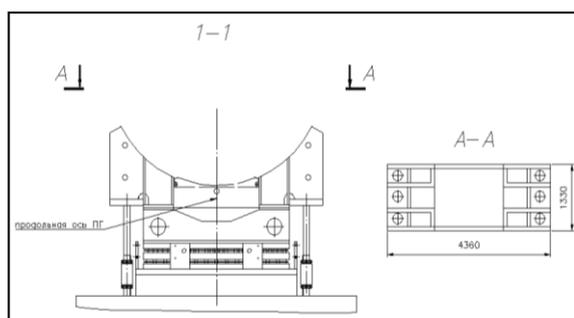


Рис. 2. Схема опоры парогенератора

Измерения планового положения каждой опоры производим относительно базовой линии (проектной оси закладной детали). Допустимые отклонения центров опор в плане составляет  $\pm 5$  мм. Для этого устанавливается тахеометр так, чтобы была видимость на точки внутренней основы и беспрепятственно обозреть наружные грани опоры. Прибор приводится в рабочее положение и определяется положение прибора методом обратной засечки от внутренней разбивочной основы.

Используя приложение *базовая линия* вводятся две координаты продольной оси опоры, которые предварительно вычислялись в программе AutoCAD. Марка прикладывается к керну продольной оси на ложементе и наводится перекрестие сетки нитей на марку, измерения производятся в режиме измерения на пленку (рисунок 3). Программа показывает смещение относительно проектной продольной оси, затем центр опоры определяется аналитически от наружных граней в AutoCAD. Действия повторяется относительно второй опоры парогенератора.

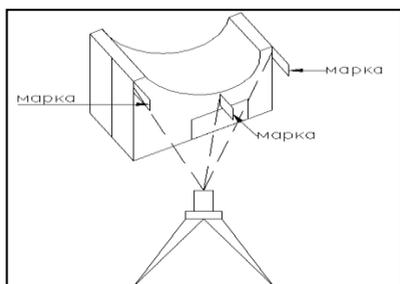


Рис. 3. Схема измерения опоры парогенератора в плане

Далее в соответствии с требованиями монтажного формуляра проекта производства работ, производятся измерения опор относительно друг друга по наружным граням. Измеряется проектное расстояние между опорами с двух сторон по внутренней грани, с помощью программы *базовая линия*. Затем по факту измеряется расстояния по диагоналям, для этого марка прикладывается внахлест с торцов опоры № 1 и № 2.

*Выверка высотного положения опор парогенератора.* Измерения высотной отметки ложемента производится тригонометрическим нивелированием с помощью тахеометра от репера на перекрытии. На репер устанавливается марка, в меню тахеометра выбирается *Съемка* → *Установка станции* → *передача Н*, вводится номер репера и его исходная высота, затем тахеометр определяет свою высоту относительно исходного репера. Далее устанавливается марка на поперечную балку ложемента и определяется его высота. Измерения можно производить по марке, путем наведения лазера на примыкание детали и марки у основания, при этом высота марки указывается ноль; и если на марке нанесены оси через определенный промежуток, то необходимо ввести высоту марки в меню прибора, для правильности измерений. Высотную отметку продольной оси парогенератора определяют аналитически, для этого измеряется расстояние от верха поперечной балки до внешней кромки ложемента (низ парогенератора), прибавляется внешний радиус парогенератора и получается предварительная высота продольной оси ПГ, это значение показывает правильность расчета высотной отметки ПГ, и правильность монтажа всех деталей, которые рассчитывались ранее.

*Сдвигка опор парогенератора.* Установка парогенератора на роликовых опорах позволяет увеличить срок службы эксплуатации парогенератора, так как он может свободно перемещаться во время эксплуатации относительно опорной плиты, что позволяет увеличить амортизацию и избежать микротрещин на корпусе ПГ.

Монтаж опор производится в «горячем» состоянии главного циркуляционного трубопровода, так как при высокой температуре трубопровод может расширяться и иметь давление на корпус ПГ, но окончательный монтаж ПГ производится в «холодном» состоянии главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ). Для этого согласно монтажному чертежу производится сдвигка опор ПГ в сторону реактора на величину  $\Gamma_3 = 50 + 2$  мм. Размер 50 мм является результатом смещения опор в продольном направлении  $A_1 = 44$  мм и в поперечном  $A_2 = 23$  мм (рисунок 4).

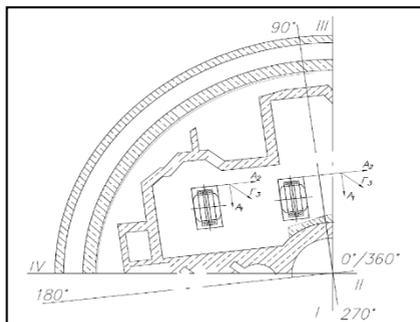


Рис. 4. Схема сдвигки опор в плане

Смещение  $A_2=23$  мм в поперечном направлении опор учтено при установке в проектное положение по МЧ «Детали закладные. Монтажный чертеж», это значит, что в поперечном направлении опоры уже были сдвинуты.

Результирующий вектор смещения рассчитывается по формуле

$$\Gamma_3 = \sqrt{A_1^2 + A_2^2} \quad (1)$$

и направлен в сторону.

Измерения сдвигки опор ПГ производились методом, описанным выше.  
*Монтаж парогенератора.*

Монтаж парогенератора выполняется по нанесенным заводским рискам осей, при невозможности установки парогенератора в проектное положение по нанесенным заводским рискам осей, проектом производства работ допускается устанавливать парогенератор в плане и по высоте по нижним торцам коллекторов 1 контура. Допускаемый уклон на срезе коллектора теплоносителя в продольном направлении составляет 0,3 мм и в поперечном 1 мм. Монтаж на объекте производился по патрубкам парогенератора.

По данным завода - изготовителя известны выверенные параметры расстояний от оси парогенератора до торцов патрубков, которые отображены в акте контрольной сборки ПГ.

### Выверка положения парогенератора в плане.

Выверка планового положения парогенератора производится до монтажа главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ) и по каждому этапу монтажу и сварки ГЦТ, так как в соответствии с монтажным чертежом разрешается смещение парогенератора при стыковке его патрубков, с условным диаметром 850 мм, с трубопроводами главного циркуляционного контура вместе с верхней плитой опоры роликовой относительно положения, выставленного на размере  $\Gamma_3$ , вдоль поперечной и продольной осей парогенератора не более  $\pm 10$  мм.

С помощью программы AutoCAD предварительно вычисляются координаты «холодного» и «горячего» патрубков. На монтажном горизонте устанавливается тахеометр. Используя метод обратной засечки определяют координаты точки стояния прибора от пунктов внутренней разбивочной основы. Плановое положение патрубков определяется с помощью подпрограммы *цилиндрический сдвиг*.

Эта подпрограмма позволяет определять координаты центральной точки объектов, имеющих цилиндрическую форму, и радиус этого цилиндра. Для этого выполняется измерение горизонтального угла между точками на левом и правом краях объекта, а также расстояние до него (рисунок 5) [10, 85 с].

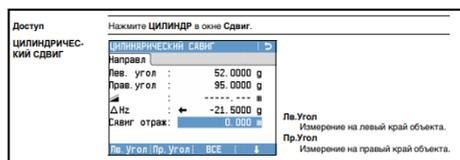


Рис. 5. Меню функции цилиндрический сдвиг

Горизонтальные углы измеряются по двум сторонам, и прибор вычисляет координаты центра патрубка, результаты сохраняются в приборе, и в дальнейшем в AutoCAD вычисляем продольный и поперечный сдвиг фактического центра патрубка относительно осей реакторной установки (рисунок 16).

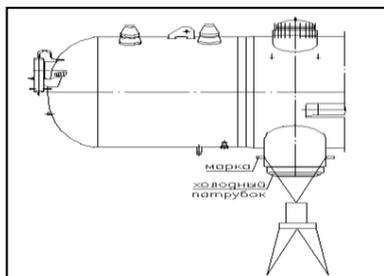


Рис. 6. Схема измерения патрубка в плане

Аналогичные измерения повторяются для горячего патрубка.

*Выверка высотного положения парогенератора.*

Проверку установки парогенератора по высоте выполняют по патрубкам, после снятия крышек, затем аналитически определяется фактическая высота продольной оси ПГ. Допустимое отклонение по внутренней кромке патрубка теплоносителя с условным диаметром 850 мм в продольном направлении 0,3 мм и в поперечном 1 мм.

Измерения выполняются цифровым нивелиром Trimble Dini 03 и штрих-кодовой рейкой 1 м. Для выполнения измерений определяется горизонт прибора относительно репера на перекрытии. Измерения производятся перевернутой рейкой: штрих-кодую рейку устанавливают пяткой на торец горячего, затем холодного патрубков на заранее отмеченные точки (рисунок 7). Точку измерения №1 горячего патрубка принимаем за условный ноль, и относительно него записываем смещения остальных точек горячего и холодного патрубков.

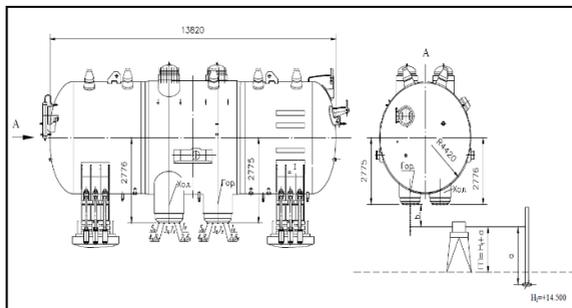


Рис. 7. Схема измерения патрубков по высоте

*Выверка высотного положения горизонтальной оси парогенератора* выполняем путем измерения погружного дырчатого листа (ПДЛ). ПДЛ расположен внутри корпуса парогенератора, выше продольной оси. Доступ

внутри корпуса парогенератора осуществляется через смотровые люки-Лаз с внутренним диаметром  $\varnothing 500$  мм (рисунок 8).

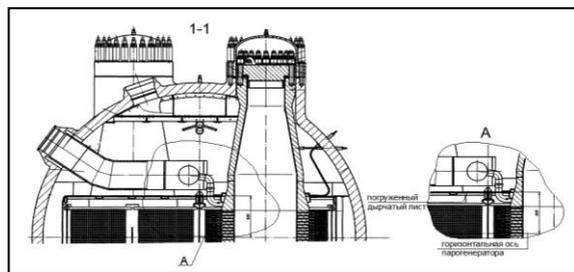


Рис. 8. Схема расположения погружного дырчатого листа

Для измерения ПДЛ внутри парогенератора в соответствии с техническим заданием изготавливается укороченный деревянный штатив, высотой 400 мм, так как стандартная высота геодезического штатива от 900 мм не подходит для измерений внутри корпуса.

Тригонометрическим нивелированием от репера в перекрытии передается отметка на внутреннюю кромку смотрового люка-Лаз №1 используя программу тахеометра *Меню* → *Съемка* → *Установка Станции* → *Передача Н* (рисунок 9).

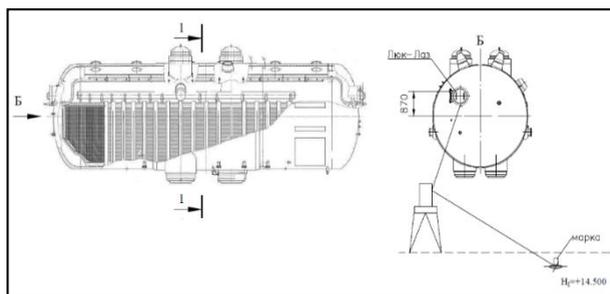


Рис. 9. Схема передачи отметки на внутреннюю кромку люка-Лаз

Затем передается отметка на центр погружного дырчатого листа. Внутри парогенератора устанавливается цифровой нивелир, приводится в рабочее положение, на внутреннюю кромку устанавливается штрих-кодовая рейка и определяется горизонт прибора, далее выносится отметка примерно на центр ПДЛ (рисунок 10).

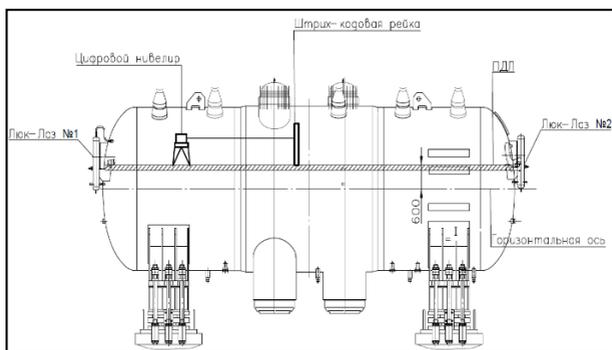


Рис. 10. Схема измерения ПДЛ  
внутри парогенератора

Измерения выполняются в положении полулежача, так как внутри корпуса много препятствий. Отметки погружного дырчатого листа определяются по всему периметру с помощью метровой штрих-кодовой рейки в две постановки прибора. Вторая постановка выполняется через смотровой люк-Лаз №2, также передается отметка на него и выносится вторая отметка на центр ПДЛ. Высотная отметка горизонтальной оси парогенератора определяется аналитическим путем по формуле

$$H_{\text{пг}} = H_{\text{ПДЛ}} - D, \quad (2)$$

где  $H_{\text{ПДЛ}}$  – средняя отметка ПДЛ в пределах горячего и холодного коллекторов;

$D$  – расстояние от ПДЛ до горизонтальной оси парогенератора.

*Порядок сдачи конструктива.*

При наличии, зафиксированных геодезистом, отклонений от проекта, исполнитель работ должен согласовать исполнительную схему с представителем разработчика проекта, после чего предоставить результаты строительно-монтажных работ техническому надзору.

Исполнительная документация по выполненному конструктиву, подлежащему освидетельствованию с участием лица, осуществляющий авторский надзор предоставляется за двое суток до сдачи выполненных работ по объектам «Ядерного и турбинного острова» группе авторского надзора.

Исполнительная документация по выполненным участкам работ, подлежащие освидетельствованию с участием Заказчика, предоставляется в отдел технического надзора управления строительства не менее, чем за трое суток до сдачи выполненных работ по объектам строительства АЭС, либо по договоренности.

Для проведения комиссионной приемки представители генподрядчика и заказчика вправе потребовать, по обоснованной необходимости, документацию, не отраженную в регламенте.

### Литература

1. Жуков, Б.Н. Руководство по геодезическому контролю сооружений и оборудования промышленных предприятий при их эксплуатации / Б. Н. Жуков, – Новосибирск : СГГА, 2004. – 376 с.
2. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски : СТБ 1941-2009. – Введ. с 01.08.2009. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2009. – 110 с.
3. Геодезические работы в строительстве. Пособие к ТКП 45-1.03-313-2018(33020). – Введ. с 01.05.2018. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь : Стройтехнорм, 2018. – 110 с.
4. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Контроль точности: ГОСТ 23616-79 (СТ СЭВ 4243-83). – Введ. с 01.01.1980. – Москва : ИПК издательство стандартов, 1979. – 19 с.
5. Организация строительного производства : ТКП 45-1.03-161-2009 (02250). – Введ. с 07.12.2009. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2009. – 51 с.
6. Электронный тахеометр Leica FlexLine TS02/TS06/TS09. Руководство по эксплуатации. Leica Geosystems AG. – Швейцария : Leica Geosystems AG, 2013. – 324 с.
7. Цифровой нивелир Trimble Dini. Руководство пользователя цифрового нивелира. / Trimble Comparison. США : Trimble Comparison, 2006. – 170 с.
8. Проект производства работ на геодезическое обеспечение строительства Блока №1,2 Белорусской АЭС, Книга 2 «Геодезические работы для устройства фундаментной части основных зданий и сооружений энергоблока № 1, № 2» Главный инженер проекта В.П. Подшивалов.

## **Использование лазерного сканера Leica ScanStation C10 для изучения Солигорского солеотвала**

Михайлов В. И, Кононович С. И, Куприенко Н. О.  
Белорусский национальный технический университет.

При переработке и обогащении сырья Солигорским горнодобывающим комплексом ежегодно образуются миллионы тонн твердых галитовых отходов и сотни тысяч тонн глинистосолевых шлаков, занимающих большие площади (около 3000 Га) под отвалы и шламохранилища с ориентированным объемом 1,5 млрд т.

Одним из перспективных и экономически целесообразных способов утилизации этих отходов является их переработка с получением поваренной соли. Вторым крупным потребителем галитовых отходов может быть производство кальцинированной соды. Однако они лишь частично могут быть переработаны в поваренную соль и содопродукты, значительная часть их не находит сбыта и подлежит захоронению.

В целях охраны окружающей среды и сохранения земельных угодий разработан и используется способ высотного складирования галитовых отходов в солеотвалы (рис. 1). На сегодняшний день они заметны за многие километры и представляют собой красноватые горы, достигающие в высоту 120–150 м.

Такой объем галитовых отходов с концентрированных в одном месте может повлечь за собой активизацию геодинамических процессов. Кроме того, к ежегодной осадки соляных холмов на несколько метров приводят эрозия и смыл дождевыми и тальми водами, что ухудшает экологическую ситуацию в данном районе. Солеотвалы становятся источником засоления почвогрунтов и подземных вод. Эти обстоятельство требуют действенной системы слежения, прогнозирования и управления процессами складирования галитовых отходов.

Наблюдения за процессом засоления подземных вод и грунтов в Солигорском промрайоне осуществляются с использованием инженерно-геологических, геохимических, геофизических и геодезических методов [1, 2]. Что, однако, пока не привело к существенному улучшению природных ландшафтов в регионе. На наш взгляд, одной из причин является отсутствие должного контроля за состоянием и динамикой солеотвалов.



Рис. 1. Солеотвалы. Использование лазерного сканера Leica ScanStation C10 для создания цифровой модели рельефа

Наряду с вышеперечисленными методами, одним из эффективных способов при охране и рациональном использовании окружающей среды этого района является изучение галитовых отходов с помощью инновационных технологий [3, 4].

В настоящее время при решении данной задачи весьма привлекательно использование принципиально новых геодезических приборов в комплексе с персональными компьютерами и специализированным программным обеспечением для обработки, планирования, интерпретации и документирования данных.

К разделу принципиально новых можно отнести спутниковые системы позиционирования (GPS-системы) и наземные лазерные 3D-сканеры.

Таким образом, полевые работы по измерению рельефа солеотвалов с учетом вышеизложенного сводятся к следующему:

- созданию с помощью GPS-системы планового и высотного обоснования для 3D съемки солеотвала;
- измерению с помощью наземного лазерного 3D-сканера.

Безусловно, регистрировать все рельефные точки на солеотвале можно только с использованием GPS-системы в реальном масштабе времени. Однако при этом исполнитель с GPS-приемником должен пешком пройти по всем точкам, что весьма трудоемко и требует больших временных затрат. Гораздо эффективнее применять GPS-приемник при создании планового и высотного обоснования по периметру галитовых отходов и на трассах перемещения по нему техники.

Затем на точках обоснования установить наземный лазерный 3D-сканер, например Leica ScanStation C10, с дальностью безотражательных измерений до 300 м. и выполнить окончательные наблюдения. По нашему мнению, наибольшую эффективность такая съемка может дать при разработке

участка галитовых отходов и отгрузке техногенной соли, а также для измерения деформаций земной поверхности вокруг солеотвалов.

Метод наземного лазерного сканирования характеризуется большой детализацией измерительных поверхностей, высокой производительностью, возможностью получения 3D-модели объекта местности [5, 6].

Лазерный сканер Leica ScanStation C10 (рис. 2) устанавливается на штатив. Исполнитель задает требуемую плотность облака точек (разрешение на местности, которое может быть порядка сантиметра) и область съемки, затем запускает процесс сканирования. Для получения полных данных о солеотвале выполняются аналогичные операции с нескольких станций (позиций), обеспечивающих полный обзор солевых отвалов.

После полевых измерений, облако точек импортируются в программный комплекс LISCAD Plus, в котором выполняется моделирование рельефа или, другими словами, формирование цифровой модели солеотвала (ЦМС) на основе метода строгой триангуляции. Этот комплекс предоставляет достаточно удобные возможности для работы с ЦМС и последующих вычислений объемов галитовых отходов. Так, LISCAD Plus позволяет создать базу ЦМС и затем сравнивать ее с другими аналогичными моделями, полученными на последующих эпохах съемок. Это необходимо для определения разностей объемов, а также для осуществления трехмерной визуализации и возможности вращения цифровой модели галитовых отходов.

Преимущество лазерного сканирования заключается в полном автоматическом сканировании галитовых отходов, что исключает субъективный фактор при выборе пикетных точек, например исполнителем тахеометрической съемки.



Рис. 2. Лазерный сканер Leica ScanStation C10

Фрагмент измерения объема части солеотвала лазерного сканера Leica ScanStation C10 приведен на рис. 3.

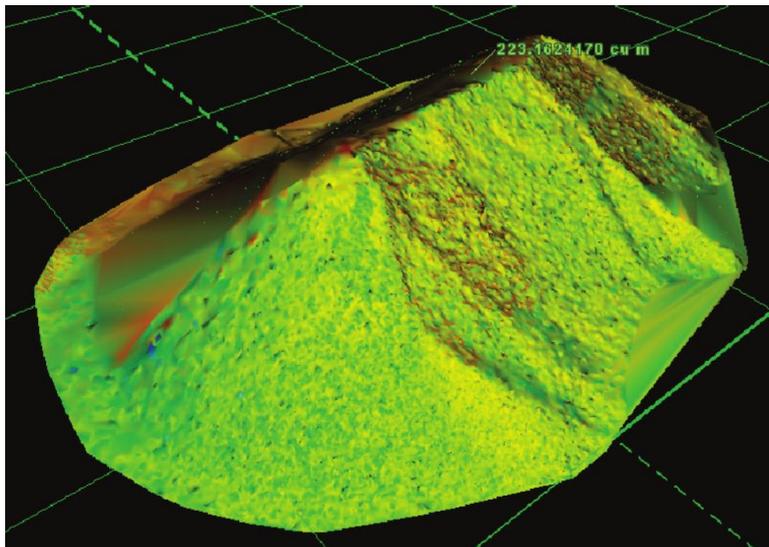


Рис. 3. Цифровая модель поверхности солеотвала

Сопоставительный анализ современной методики слежения за изменениями рельефа солеотвалов показал, что при использовании наземного лазерного 3D сканера существенно возросли точностные характеристики съемки. Кроме этого, если раньше полевые работы для съемки одного такого объекта требовали от двух дней до недели, то с использованием новых технологий их можно выполнить в течение одного дня.

Исходя из предоставленных доводов можно сделать следующие выводы:

1. Геодезическая методика изучения галитовых отходов на основе инновационных технологий позволяет более эффективно использовать GPS-приемник для создания пунктов съемочного обоснования по периметру солеотвалов и на трассе перемещения техники по соляным отвалам.
2. Проводимые измерения солеотвала лазерным сканером с нескольких станций показали высокую эффективность построения полной цифровой модели обследуемого объекта за короткий промежуток времени.

## Литература

1. Астровский, А.А. О возможности изучения Солигорских солеотвалов с помощью фототеодолитной съемки / А.А. Астровский, В.И. Михайлов // Калийные соли Беларуси: состояние, освоение месторождений, перспективы развития, проблемы: тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 1999. С. 137–139.
2. Михайлов, В.И. Изучение антропогенной геодинамики горнопромышленных районов, находящихся в экстремальных условиях / В.И. Михайлов, А.О. Серченя // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 11-й науч.-техн. конф. Минск: БНТУ, 2011. Т. 2. С. 46.
3. Изучение геодинамических явлений в Солигорском горнопромышленном районе инновационными технологиями / В.И. Михайлов [и др.] // Наука и техника. 2013. № 6. С. 60–63.
4. Экспериментальный геодезический мониторинг Солигорских солеотвалов на основе инновационных технологий / В.И. Михайлов [и др.] // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 12-й Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 2014. Т. 3. С. 47.
5. Шевченко, Е. Н. Наземная лазерная сканирующая система Riegl LMS-Z420i – новейший метод дистанционного зондирования / Е.Н. Шевченко, В.Ф. Кучук, Н.А. Дуброва // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. 2008. № 2. С. 125–131.
6. Медведев, Е.М. Преимущества применения лазерных сканирующих систем наземного и авиационного базирования / Е.М. Медведев, С.Р. Мельников // Горная промышленность. 2002. № 5. С. 2–4.

УДК 528.98 [621.64: 661.5]

### **Измерение осадочных деформаций производственных зданий и сооружений ОАО «Гродно Азот»**

Михайлов В.И., Мысливчик Е. Ю.  
Белорусский национальный технический университет

Для большинства стандартных и типовых сооружений точность определения осадок фундаментов обеспечивается геометрическим нивелированием, выполняемым по методике нивелирования II класса.

Осадочные марки заложены примерно на одном уровне по углам и периметру зданий, вдоль продольных и поперечных осей фундамента, на несущих

щих колоннах, в местах, где возможны наибольшие осадки: на стенах соседних блоков, по сторонам осадочных и температурных швов, вокруг зон с наибольшей динамической нагрузкой.

С целью измерения осадочных марок за исходную основу принимались реперы нивелирной сети, закрепленные в цоколях производственных зданий, которые расположены за пределами обследуемых объектов, на расстоянии 100—150 м от них.

Для геодезических наблюдений за деформациями зданий и сооружений использовался нивелир Кони 007. Ежегодно прибор подвергался проверке в РУП «Балгеодезия» на предмет годности к применению с выдачей соответствующего свидетельства. Зрительная труба нивелира перископическая, ломанная, прямого изображения с компенсатором, который обеспечивает горизонтальное положение визирной оси. Включение специального микрометричного устройства позволяет использовать прибор при высокоточных геодезических работах (рис. 1).



Рис. 1. Нивелир Кони 007

Техническая характеристика нивелира. Наименьшее расстояние визирования – 2,2 м. Увеличение зрительной трубы – 31,5 $\times$ . Цена деления круглого

уровня – 8'. Предельный угол стабилизации – 10'. Выпускается с горизонтальным кругом, имеющим деления в градусной мере. Предназначен для нивелирования II и III класса.

При геометрическом нивелировании II класса применялись односторонние специальные рейки, длиной 1,8, 1,2 и 0,3 м, на лицевой стороне которых вмонтирована инварная лента. На ленте имеются две шкалы с ценой деления 5 мм, которые смещены относительно друг друга на 2,5 мм. Рейки снабжены круглыми уровнями.

С целью периодических измерений деформаций осадочных марок, разработан порядок геодезических наблюдений каждого объекта в виде нивелирных ходов в прямом и обратном направлениях. Последующее нивелирование выполнялось по одной и той же схеме, чтобы добиться полного единообразия в определении величин осадок сооружений. В висячем ходе допускалось не более двух станций. Высота визирного луча над поверхностью земли или фундамента была не менее 0,5 м. Неравенство расстояний от нивелира до реек допускалось не более одного м. Длина визирного луча не превышала 30 м.

После окончания геодезических измерений превышения вычислялись по известной формуле:

$$h = a - b \quad (1)$$

где  $a$  – отсчет по задней рейке;

$b$  – отсчет по передней рейке.

Предельное расхождение между вычисленными превышениями по основной и дополнительной шкалам не превышало 4-5 делений барабана. Для получения превышения в мм, необходимо его среднюю величину разделить на 20.

Предельная невязка в замкнутом полигоне подсчитывалась по формуле

$$f = 1,0 \cdot n, \quad (2)$$

где  $n$  – число станций.

Высоты промежуточных точек определялись через превышение по основной и дополнительной шкалам рейки между задней связующей точкой и промежуточной.

Проведенные нами в последние десять лет высокоточные измерения деформаций осадочных марок в действующих цехах показали, существует ряд явлений, связанных с работой различных агрегатов и механизмов цехов, которые оказывают отрицательное влияние на точность геодезических наблю-

дений. Это вызвано недостаточной освещенностью, турбулентностью воздуха, рефракцией, резким перепадом температур, меняющейся влажностью, влиянием электромагнитных полей, сотрясений и вибраций от работающих механизмов [1].

Средняя квадратическая погрешность (СКП) визирования при плохой освещенности может быть в три раза больше, чем при хорошей.

Установлено, что расположение визирной цели в непосредственной близости (0,1 – 0,2) м к агрегату увеличивает ошибку наведения в 1,5 раза.

Снижение точности визирования в промышленных цехах осуществляется из-за вибрации основания, на котором устанавливается прибор. Специальные мероприятия по демпфированию колебаний включают подкладки из войлока, резины под ножки штативов или основания прибора, что погашает до 80% энергии вибрации.

В целом при организации измерений осадки фундаментов действующих промышленных цехов и башен следует учитывать, что СКП визирования в среднем в 1,5 – 2 раза больше, чем в обычных условиях.

В целях возможности применения новейших электронных геодезических приборов для мониторинга вертикальных перемещений сооружений нами были проведены экспериментальные высокоточные измерения осадок вытяжной трубы №273 цифровым нивелиром DNA03 (рис.2). В результате этих наблюдений выяснилось, что использование этого прибора для этих целей имеет ряд специфических особенностей и методических приемов, которые следует учитывать в ходе геодезических работ [2].



Рис. 2. Цифровой нивелир DNA03

При нивелировании II класса цифровым нивелиром в производственных условиях уменьшается расстояние от нивелира до рейки в пределах 30 м, что дает возможность повысить точность инструментальных наблюдений.

Нивелир не позволяет взять отчет, если его наклон выходит за рабочий диапазон компенсатора, что не исключает взятие ошибочных отчетов по кодовой рейке.

Есть возможность определения отметки для высоко заложённых марок или элементов конструкций по перевернутой рейке. Нивелир автоматически распознает, что рейка перевернута, и предлагает наблюдателю перейти в режим работы с перевернутой рейкой.

Применение в приборе подогрева дисплея при минусовых температурах и подсветки дисплея и уровня в темноте создает более комфортные условия для работы.

Сокращение на 50% времени на измерения по сравнению с обычным нивелированием. Безошибочные результаты наблюдений обусловлены почти полным отсутствием человеческого фактора.

Разработанные основные методические приемы использования нивелира DNA 03 для мониторинга вертикальных перемещений обследуемых объектов ОАО «Гродно Азот», могут быть приняты в качестве основы для формирования технологии работ со всеми необходимыми допусками. Они должны войти составной частью в существующие инструкции в раздел «Геодезические наблюдения за перемещениями и деформациями зданий и сооружений, в том числе и в ТКП 2006.

### **Литература**

1. Михайлов В.И. Особенности геодезического контроля стабильности инженерных сооружений на Гродненском производственном объединении «Азот» /В.И. Михайлов// Материалы междунар. научн.-техн. конф. – Минск, 2000. – С. 91.
2. Михайлов В. И. Геодезический мониторинг вертикальных перемещений сооружений ОАО «Гродно Азот» цифровым нивелиром DNA03/В. И. Михайлов//Вестник Белорусского национального технического университета. – 2010, № 1, – С. 12–17.

## **Историческая ошибка исследователей биографии генерала, геодезиста Иосифа Ходзько**

Мкртычян В.В.

Белорусский национальный технический университет

В книге авторов посвященной изучению биографии генерала (Большаков Н.Н., Вайнберг В.В., Никитин П.Н. Иосиф Иванович Ходзько. Ученый-геодезист. М., 1960), изданной в 1960 году на странице 39 утверждается, «Похоронен И. И. Ходзько на тифлисском римско-католическом Петропавловском кладбище». В приложении к этой книге, среди используемых архивных материалов, за № 35 есть ссылка на «Свидетельство прелата Орловского о погребении И. И. Ходзько». Исходя из этой информации в 2005 году мною была предпринята попытка поиску места захоронения генерала, именно на Петропавловском кладбище г. Тбилиси. Результаты поиска оказались безрезультатными.

Во многих изданиях того времени, списки генералов и офицеров с указанием их воинских званий, должностей, адресов публиковались в свободном доступе. Казалось, что при такой открытости информации определить точное место захоронения генерала не составит труда. Но все оказалось сложнее.

Поиском места захоронения Иосифа Ходзько занимался польский исследователь жизни и деятельности генерала, профессор Щецинского университета, кавказовед Анджей Фурье, но тоже безрезультатно.

Работая над материалами книги, в газете «Кавказъ» № 42 за 1881 год, нашел на передовой странице опубликованное извещение о кончине генерального штаба генерал-лейтенанта Иосифа Ивановича Ходзько.

Из сообщения видно, что вынос тела покойного генерала осуществляется в Кукийскую католическую церковь. Именно эта церковь и значится в сообщении о кончине Иосифа Ивановича Ходзько, опубликованное в газете «Кавказъ». Недалеко от этой церкви расположено Кукийском кладбище, где находится так называемая «Польская горка», место захоронения католиков.

Если посмотреть на план города Тифлиса видно, что Петропавловское кладбище находится в другом конце города на значительном расстоянии от Кукийской католической церкви. Сопоставляя эти факты, становится очевидным, что Иосиф Иванович похоронен именно на Кукийском кладбище, а не на Петропавловском.

Для окончательного уточнения места захоронения автор посетил Кукийское кладбище г. Тбилиси. Директор кладбища, оказавшимся отставным полковником, узнав, о том, что мы ищем могилу уроженца Беларуси, военного геодезиста генерал-лейтенанта он любезно откликнулся на нашу просьбу связал нас со смотрителем кладбища Чанкотадзе Нодарием. Ему показали имевшуюся фотографию предполагаемой могилы генерала. Он, немного подумав сказал: *«Я знаю приблизительное расположение этого места, но от могилы ничего не осталось. В 1922 году был разрушен памятник Воронцову, а в следующем году большевики уничтожили все могилы военных на нашем кладбище. Все кресты вывернули...»*

С трудом пробираясь между могилами, через узкие дорожки, заросшие колючими кустарниками, мы дошли до предполагаемого места захоронения и остановились. Ничего не подсказывало, что здесь когда то, была могила выдающегося человека, сделавшего очень много для развития Кавказа.

Что бы окончательно прояснить ситуацию с местом захоронения Иосифа Ходзько, мы запросили из фондов Российского государственного военно – исторического архива копию указанного выше свидетельства прелата Орловского о погребении генерала.

Ниже приводится полный текст свидетельства подготовленный автором.

*ПО УКАЗУ ЕГО ИМПЕРАТОРСКОГО ВЕЛИЧЕСТВА  
АЛЕКСАНДРА АЛЕКСАНДРОВИЧА  
САМОДЕРЖЦА ВСЕРОССИЙСКАГО,*

*и прочая, и прочая, и прочая.*

*Выпись изъ метрической и погребеніи умершихъ Тифлискай Петропавловскай Римско – Католическай приходскай церкви книги, в коей на оборотъ листа 89 за №27 записано следующего содержания.*

*«Тысяча восемьсотъ восемьдесятъ первого года февраля двадцать второго (Ошибочно указана дата смерти Иосифа Ходзько. Он скончался 21 февраля) дня въ Г. Тифлисъ скончался отъ паралича головного мозга Генераль-Лейтенантъ Иосифъ Ходзько былъ приобщаемый ЕЕ Таинъ, отъ роду имель лѣтъ 81; оставилъ жену именемъ Марію.*

*Тѣло покойнаго на Тифлискомъ Р.К.П кладбищъ Визитаторъ Прелатъ М. Орловскій 24 февраля того же 1881 года похоронилъ.*

*Что выпись сія съ подлинною въ книгъ метрикою върна, въ томъ подписанъ моимъ и приложеніемъ печати удостоверяю. Тифлис, 20 марта 1881 года.*

*Визитаторъ РК церквей на Кавказъ и Закавказомъ. Прелатъ М. Орловскій»*

Тифлисская Петропавловская Римско–Католическая приходская церковь (Тифлисская Петропавловская Римско–Католическая приходская церковь имела разные названия: Кукийская католическая церковь, Польский костел, Новый католический собор и т.д.) или Костел Святых Апостолов Петра и Павла, о которой говорить в этом свидетельстве находится возле Кукийского католического кладбища.

В этом свидетельстве не сказано о погребении Иосифа Ходзько именно на Петропавловском кладбище г. Тифлиса. Тифлисская Петропавловская Римско–Католическая приходская церковь и Петропавловское кладбище находятся на разных окраинах города.

Становится явным, почему поиски места захоронения Иосифа Ивановича Ходзько, предпринятые в разные годы исследователями его биографии, не принесли результата. Все исследователи исходили от информации, помещенной в различных послевоенных исследованиях, публикациях и справочниках, где местом захоронения генерала указывалась Петропавловское католическое кладбище города Тифлиса.

Исследователи биографии Иосифа Ходзько просто перепутали Петропавловскую церковь с Петропавловским кладбищем.

Так мы ставим точку в вопросе места захоронения Иосифа Ивановича Ходзько и исправляем историческую ошибку.

Судьба могилы Иосифа Ходзько кому то, может показаться не самой насущной. Важными символами национальной истории и культуры Беларуси являются в том числе, монументы и могилы своих достойных сынов, щедро разбросанных по всему миру. Каждое посещение такой могилы какого-то кладбища, свидетельствует о вере человека в связь духа предков и места захоронения с Родиной.

Могила Ходзько не сохранилась, но известно предполагаемое место захоронения. Оно является свидетельством пребывания нашего соотечественника на Кавказе, знаком того, что он жил здесь, работал и обрел на этой земле, по собственной воле последний приют. В исчезновении старинного захоронения следует винить прежде всего время, которое одинаково безжалостно к живым и мертвым, генералам и солдатам, русским, белорусам, грузинам, армянам или полякам.

## Инженерно-геодезическое обеспечение строительства линейных сооружений

Подшивалов В. П., Кабацкий А.В.  
Белорусский национальный технический университет

В математической картографии широко используются методы изыскания проекций наиболее подходящих для создания карт различного назначения. При формировании координатной среды для математической обработки геодезических измерений и представления баз геодезических данных в общегосударственных масштабах используют в мировой практике весьма ограниченное число геодезических проекций, основанных на конформном отображении поверхности земного эллипсоида на плоскости (поперечно-цилиндрические Гаусса-Крюгера и UTM, коническая Ламберта). Это было обусловлено большим объемом вычислений потому, что здесь требуется существенно более высокая точность. В настоящее время при наличии современных вычислительных средств такой проблемы не существует. На этом основании нами предложена теория формирования класса геодезических проекций, отвечающих критерию Чебышева-Граве о наилучших проекциях [2–3 и др.]. В этот класс входят как частные случаи все известные в мировой геодезической практике геодезические проекции, а также новые проекции с формой изоколы, приспособляемой к форме границ изображаемой территории (что определено критерием Чебышева-Граве). Таким образом стало возможным формировать высокоточную координатную среду геоинформационных технологий с обеспечением минимально возможных искажений геометрических элементов земного эллипсоида на плоскости проекции.

Проблема координатного обеспечения транспортного строительства и транспортной логистики в современных условиях требует строгого математического сопровождения, что невозможно обеспечить как применением условных (внесистемных) координат, так и применением традиционных зональных систем координат. Отдельно взятые известные поперечно-цилиндрические или конические проекции удобны либо для объектов, вытянутых вдоль меридиана или вдоль параллели. А транспортный объект может иметь произвольную конфигурацию и большую протяженность. Для Беларуси, территория которой является транзитной, решение этой задачи в оптимальном режиме является актуальной.

На основе общего алгоритма вычислений в программу «Кредо ТРАНСКОР 3.0» добавлен функционал вычисления оптимальных парамет-

ров композиционной проекции, которая обеспечивает минимальные искажения для больших площадных и протяженных линейных объектов произвольной ориентации. [1]. Это системы координат, полученные композицией (объединением) двух проекций: конической и поперечно-цилиндрической с различной степенью их участия, при условии, что суммарное значение композиционных коэффициентов равно 1.0. При этом значения приращений координат отличаются от приращений в проекции Гаусса-Крюгера или Ламберта на малые величины третьего порядка. Реализованной в программе метод «Поиска параметров композиционной проекции» позволяет добиться оптимальных условий отображения конкретной области. Такие проекции объединяют достоинства геодезических и картографических проекций: высокую точность, разнообразие и приспособляемость к форме и размерам изображаемой территории. Расчет оптимальных коэффициентов влияния двух проекций в системе выполняется автоматически, он зависит от полноты указанных пользователем пунктов, описывающих объект. Моделирование масштабов изображений в композиционной проекции сохраняет и основное преимущество исходных проекций – они остаются конформными, перспективными и симметричными.

Наличие современных средств геодезических измерений (электронные тахеометры, спутниковые системы позиционирования, наземные и аэрокосмические системы дистанционного зондирования) позволяет описывать проектные параметры элементов транспортных объектов любой протяженности в координатном режиме. Это возможно в том случае, если проектирование выполняется в системе координат, полученной на основе описанных нами методов. В этом случае нет проблем установления взаимосвязи различных систем координат потому, что все они имеют математическое обоснование, следовательно, и параметры связи.

Рассмотрим участок трассы от начальной точки  $A$  до конечной точки  $D$  с левосторонним и правосторонним углами поворота в точках  $B$  и  $C$  соответственно и плановое положение элементов фрагмента оси трассы задано: координатами вершин углов поворота трассы  $x_A, y_A; x_B, y_B; x_C, y_C; x_D, y_D$ ; углами поворота оси трассы  $\theta_1, \theta_2$ ; радиусами круговых кривых  $R_1, R_2$ .

Для определения координат текущих точек оси трассы, как на прямолинейных, так и на круговых участках используем известные уравнения прямой и окружности в прямоугольной системе координат:

– уравнение прямой  $AB$  на участке от точки  $A$  до начала круговой кривой  $H_{K1}$  имеет вид:

$$y = y_A + (x - x_A)tg\alpha_{AB} \quad \text{или} \quad y = y_A + S_i \sin\alpha_{AB}; \quad (1)$$

– уравнение круговой кривой при вершине  $B$  от начала  $H_{K1}$  до конца кривой  $K_{K1}$  соответственно:

$$y = y_{01} \pm \sqrt{R_1^2 - (x - x_{01})^2} \quad (2)$$

Дирекционный угол  $\alpha_{AB}$  и расстояние  $S_{AB}$  вычисляются по координатам точек  $A$  и  $B$  по известным формулам:

$$\alpha_{AB} = \arctg\left(\frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}\right), \quad S_{AB} = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2}, \quad (3)$$

Координаты центра круговой кривой получают из выражений

$$x_{O1} = x_A + (S_{AB} - R_1 \operatorname{tg} \frac{\theta_1}{2}) \cos \alpha_{AB} - R_1 \sin \alpha_{AB} = x_{H_{K1}} - R_1 \sin \alpha_{AB} \quad (4)$$

$$y_{O1} = y_A + (S_{AB} - R_1 \operatorname{tg} \frac{\theta_1}{2}) \sin \alpha_{AB} + R_1 \cos \alpha_{AB} = x_{H_{K1}} + R_1 \cos \alpha_{AB}. \quad (5)$$

Текущие значения ординат точек трассы  $y$  получают для соответствующих значений абсцисс  $x$ .

При выносе в проектное положение на местности текущие значения абсцисс на прямолинейных участках трассы могут быть привязаны к пикетажным точкам, отстоящим на оси трассы от начальной точки  $A$  на расстоянии  $S_i$ .

$$x = x_A + S_i \cos \alpha_{AB} \quad (6)$$

Для того, чтобы проконтролировать результаты вычислений и определить пределы действия формул (1) и (2) на оси трассы, вычисляем координаты главных точек кривой:

Координаты начала и конца кривой радиусом  $R_1$ :

$$x_{HK1} = x_B + T_2 \cos \alpha_{BA} = x_B + R_1 \operatorname{tg} \frac{\theta_1}{2} \cos \alpha_{BA}; \quad (7)$$

$$y_{HK1} = x_B + T_1 \sin \alpha_{BA} = y_B + R_1 \operatorname{tg} \frac{\theta_1}{2} \sin \alpha_{BA}; \quad (8)$$

$$x_{KK1} = x_B + T_1 \cos \alpha_{BC} = x_B + R_1 \operatorname{tg} \frac{\theta_1}{2} \cos \alpha_{BC}; \quad (9)$$

$$y_{KK1} = y_B + T_1 \sin \alpha_{BC} = y_B + R_1 \operatorname{tg} \frac{\theta_1}{2} \sin \alpha_{BC}. \quad (10)$$

Координаты середины кривой:

$$x_{CK1} = x_B + R_1 \left( \frac{1}{\cos \frac{\theta_1}{2}} - 1 \right) \sin \left( \frac{\theta_1}{2} + \alpha_{BA} \right); \quad (11)$$

$$y_{CK1} = y_B - R_1 \left( \frac{1}{\cos \frac{\theta_1}{2}} - 1 \right) \cos \left( \frac{\theta_1}{2} + \alpha_{BA} \right). \quad (12)$$

Уравнение прямой  $BC$  на участке от точки  $KK_1$  до начала круговой кривой  $HK_2$ :

$$y = y_{KK_1} + (x - x_{KK_1}) \operatorname{tg} \alpha_{BC}; \quad (13)$$

Уравнение круговой кривой при вершине  $C$ :

$$y = y_{02} \pm \sqrt{R_2^2 - (x - x_{02})^2}; \quad (14)$$

Здесь дирекционный угол  $\alpha_{BC}$  и расстояние  $S_{BC}$  вычисляются по координатам точек  $B$  и  $C$  по формулам:

$$\alpha_{BC} = \operatorname{arctg} \left( \frac{y_C - y_B}{x_C - x_B} \right), \quad S_{BC} = \sqrt{(x_C - x_B)^2 + (y_C - y_B)^2} \quad (15)$$

а координаты центра круговой кривой при вершине  $C$  имеют выражения:

$$x_{02} = x_{HK_2} + R_2 \sin \alpha_{BC}; \quad y_{02} = y_{HK_2} - R_2 \cos \alpha_{BC} \quad (16)$$

Уравнение прямой  $CD$ :

$$y = y_C + (x - x_C) \operatorname{tg} \alpha_{CD}; \quad (17)$$

Координаты главных точек кривой при вершине  $C$  имеют выражения:

– координаты начала и конца кривой радиусом  $R_2$ :

$$x_{HK_2} = x_C + T_2 \cos \alpha_{CB} = x_C + R_2 \operatorname{tg} \frac{\theta_2}{2} \cos \alpha_{CB}; \quad (18)$$

$$y_{HK_2} = y_C + T_2 \sin \alpha_{CB} = y_C + R_2 \operatorname{tg} \frac{\theta_2}{2} \sin \alpha_{CB}; \quad (19)$$

$$x_{KK_2} = x_C + T_2 \cos \alpha_{CD} = x_C + R_2 \operatorname{tg} \frac{\theta_2}{2} \cos \alpha_{CD}; \quad (20)$$

$$y_{KK_2} = y_C + T_2 \sin \alpha_{CD} = y_C + R_2 \operatorname{tg} \frac{\theta_2}{2} \sin \alpha_{CD}. \quad (21)$$

– координаты середины кривой:

$$x_{CK2} = x_C - R_2 \left( \frac{1}{\cos \frac{\theta_2}{2}} - 1 \right) \sin \left( \alpha_{CB} - \frac{\theta_2}{2} \right); \quad (22)$$

$$y_{CK2} = y_{BC} + R_1 \left( \frac{1}{\cos \frac{\theta_2}{2}} - 1 \right) \cos \left( \alpha_{CB} - \frac{\theta_2}{2} \right). \quad (23)$$

Ось трассы представлена сочетанием прямолинейных отрезков и круговых кривых. Таким образом, получаем формулы для вычисления всех элементов оси трассы, независимо от ее конфигурации и комбинации данных элементов.

Для детальной разбивки на местности пикетажных точек электронным тахеометром или тахеометром в сочетании со спутниковой системой позиционирования, независимо от их положения, как на прямолинейных, так и криволинейных участках в координатном режиме с точностью, необходимой и достаточной для конкретного вида сооружения. Для этого необходимо в меню прибора внести соответствующие проектные значения координат, вычисленных по предлагаемым формулам.

### **Литература**

1. Будо А.Ю., Гриб В.Г. Новые возможности КРЕДО ТРАНСКОР версии 3.0 // Геопрофи. – 2018 – № 3. М., с. 46–49.
2. Подшивалов В.П. Координатная среда для геоинформационных систем. Геодезия и картография, № 6. М., 1997. с. 51–55.
3. Подшивалов В.П. Композиционные геодезические проекции. Геодезия и картография, № 8. М., 2000. с. 39–43.

УДК 629.735

### **Тенденции развития ГИС**

Радевич Е.И., Кабацкий А.В., Крупица С.М.  
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время геоинформационные системы применяют практически во всех сферах человеческой деятельности, а именно в геодезии, картографии, геологии, метеорологии, землеустройстве, транспорте, экономике, экологии, обороне и других областях. Применяют как для решения научных, так и практических задач на локальном, региональном, республиканском и глобальном уровнях.

Геоинформационные системы (ГИС) – информационные системы, которые обеспечивают сбор, обработку, хранение, доступ, отображение и распространение пространственно-координированных данных. В основном, эти системы позволяют автоматизировать процесс составления карт. Другими словами, если раньше на создание картографического продукта традиционным способом, уходило недели или даже месяцы, то теперь, используя ГИС, можно разработать общегеографическую либо тематическую карту всего лишь за несколько часов. Исключая процесс составления карт, геоинформационные системы сегодня являются мощным инструментом для проведения пространственного и геостатистического анализа геообъектов, процессов и явлений, а также их моделирования, в том числе и в трехмерном виде.

Геоинформационные системы появились в 1960-х годах как средство отображения в памяти компьютера объектов, расположенных на поверхности Земли. Первые ГИС были разработаны военными ведомствами СССР и США как часть системы навигации ракет. Этот этап являлся первоначальным в развитии ГИС.

Спустя время, применять ГИС стали и в мирных целях. В 1970-х годах геоинформационные системы применялись для вывода пространственных данных на экран монитора, а также, для редактирования и печати карт на бумаге, что сильно упростило жизнь картографам.

Широкое распространение в Республике Беларусь ГИС получили только в конце 1990-х - в начале 2000-х годов с появлением персональных компьютеров.

Сегодня геоинформационные системы является одной из наиболее стремительно развивающихся отраслей рынка высоких компьютерных технологий, в котором задействовано большое количество крупных фирм, таких как Google, NASA, Refrations Research, Intergraph, Grass Development Team (GRASS GIS), Microsoft, ESRI (ARC GIS), Autodesk, CalComp и многие другие.

Геоинформационные системы позволяют выдавать в наиболее удобной пользователю форме информацию по запросу в виде карт, таблиц, схем и предоставляют различные технологии обработки и преобразования этих данных. Привычно геоинформационные системы, помимо цифровых карт, содержат и разнообразные базы данных, имеющие связи с картами.

Основные инновации, влияющие на развитие ГИС-индустрии, проходят скачками. Некогда на развитие ГИС большое влияние оказали данные лазерного сканирования, после образовался и стал развиваться сервис Google Earth, появились геоинформационные системы с открытым исходным кодом, стали распространяться смартфоны, с поддержкой GPS. Сегодня наблюдаются два параллельных направления: развитие корпоративных ГИС и получение данных с беспилотных летательных аппаратов и технология их обработки.

Корпоративные ГИС дают возможность с легкостью обмениваться геопространственными данными внутри организации, помимо этого, проводить анализ этих данных, даже если ГИС находится вне пределов их компетенции. Не смотря на присутствие на рынке дорогих коммерческих продуктов, благодаря Google, AWS и другим простым в использовании бесплатным или недорогим веб-ГИС-инструментам, таким, как Global Mapper, можно достаточно просто осуществить этот процесс. Из-за развития ГИС с открытым исходным кодом и совершенствованием мобильных устройств, расширение корпоративных ГИС будут продолжать развиваться поскольку пользователи и менеджеры программного обеспечения вводят новшества с доступными наборами инструментов. Это не должно быть дорогостоящим, процессом.

В последнее время появление недорогих беспилотных летательных аппаратов (дронов) стало настоящим подспорьем для геодезистов, у которых появилась возможность получать изображения с высоким разрешением. Улучшения в способности программного обеспечения, такого как Global Mapper и Pix4D, обрабатывать эти изображения в производные продукты, такие как облака точек, ортоизображения и др., создали многие дополнительные возможности. Еще недавно процесс автоматизированного преобразования растровых изображений в векторные был несбыточной мечтой. В ближайшие годы будут продолжать развитие способы обработки и получения различных продуктов, связанных с БПЛА, что позволит получать данные высокого качества, которого невозможно было достигнуть еще несколько лет назад.

Увеличение количества БПЛА для картографирования будет одним из основных факторов развития отрасли в настоящее время.

Хотя это и не ново, одной из отраслей, для которых дроны особенно полезны, является горнодобывающая, и эта тенденция не изменится. Камеры, установленные на дронах, позволяют заменить традиционные съемки и регулярно выполнять расчеты объемов пород. Это приводит к экономии средств и времени, что будет способствовать росту его популярности технологии.

Будут развиваться технологии, способные комбинировать различные источники данных, такие как лазерное сканирование и фотосъемка. Возможность интеграции нескольких типов данных вместе приводит к гораздо более ценным наборам данных.

В ближайшие годы продолжится отход от универсальных объемных ГИС-решений. По мере развития отрасли и привлечения внимания к новым стартапам, будет замечен отход от классических (но громоздких) решений. Крупные поставщики программного и аппаратного обеспечения не заинтересованы в разработке гибких рабочих процессов. «Дилемма инноватора» была проблемой в ГИС-отрасли в течение многих лет, но ближайший год

даст сигнал к большим изменениям, поскольку более гибкие ГИС-решения появятся на рынке.

Мобильные программные решения будут играть большую роль в этих переменах. Дорогое оборудование и громоздкое программное обеспечение давно пора заменить. В ближайшее время ожидаются более современные пользовательские интерфейсы и оптимизированные рабочие процессы.

Имеются, в частности, тенденции, которые уже сыграли свою роль в прошлом, но значение которых не уменьшилось на сегодняшний день.

Во-первых, продолжится общая тенденция использования для авиасъемки гибридных сенсорных систем, объединяющих однокамерную или многокамерную систему с блоком лазерного сканирования, гиперспектральным сканером или другим устройством сбора данных. Получение всех соответствующих данных одновременно во время полета экономически выгодно, а сочетание нескольких источников данных приводит к высокой степени полноты и надежности набора данных, поскольку недостатки одного метода могут быть компенсированы другим.

Еще одна продолжающаяся тенденция – использование БПЛА для съемки. БПЛА имеют широкий спектр возможных применений. Гибридные агрегаты, которые сочетают в себе преимущества самолетов и вертолетов, по-видимому, приобретают все большее значение в этом секторе. Это сопровождается постоянным требованием, чтобы детали и узлы были небольшими и легкими. По мере того как оборудование становится все меньше и меньше, данные и их точность все больше и больше возрастают, что потребует эффективных программных средств для обработки такого объема больших данных.

Расширение доступности геопространственных данных и потребность в 3D-аналитике будут стимулировать инновации уже сегодня.

Благодаря дронам, автономным транспортным средствам и широко распространенной доступности сенсоров геопространственные данные с высоким разрешением собираются чаще и становятся более доступными, чем когда-либо прежде.

Спрос на программное обеспечение, которое может извлечь ценную информацию из этих данных, быстро растет. Геопространственные программные платформы, такие как Cesium, которые обеспечивают фундаментальные строительные блоки для разработчиков приложений станут центральными для геопространственной отрасли. Чтобы обеспечить совместимость этой экосистемы, открытые стандарты будут продолжать играть ключевую роль.

Актуальность исследования современных тенденций рынка ГИС обусловлена широким потенциалом его развития. Несмотря на сравнительно небольшую историю, ранок ГИС - одно из стремительно прогрессирующих направлений совершенствования информационных технологий. В последнее время происходит активное распространение ГИС. Они появляются не

только в профессиональной работе с науками о Земле, но и во множестве иных областей: бизнесе, государственных структурах, службах экстренного реагирования, военных ведомствах, лесном хозяйстве, градостроении и т.д. ГИС необходима при использовании территориально распределенной информации и проведении территориального анализа, оценки и прогноза.

Обобщая, можно выделить следующих основные тенденции развития ГИС:

1. Распределенные ГИС развиваются по нескольким направлениям: порталы, онлайн-картографические сервисы, применение вычислительных кластеров, системы облачных сервисов. Все большую популярность приобретают интеллектуальные ГИС, по которым еще не устоялась определенная терминология.

2. Развитие технологий, способных комбинировать различные источники данных, такие как лазерное сканирование и фотосъемка. Возможность интеграции нескольких типов данных вместе приводит к гораздо более ценным наборам данных.

3. ГИС объединены с данными дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Это иная мощная система получения и представления географической информации из космоса, которая сегодня становится все более точной и разнообразной. Интенсивное развитие систем ДЗЗ резко увеличило информационные потоки пространственных данных. Около 300 космических аппаратов из разных стран предоставляют информацию о земной поверхности. Интеграция систем ДЗЗ обеспечивает сбор геоданных для ГИС, их обновление и проверку. Именно за счет ДЗЗ сегодня во всем мире актуализируется множество разных электронных атласов.

4. Совместно и широко используются данные, получаемые через системы ГЛОНАСС (Россия) и GPS (США). Они обеспечивают высокоточное глобальное позиционирование тех или иных объектов на суше и воде. Их использование в сочетании с ГИС и ДЗЗ образуют мощнейшую триаду территориальной информации, отличающуюся высокой точностью, актуальностью, постоянством обновления, объективностью и плотной насыщенностью. Использовать такие данные можно практически везде.

5. Развитие ГИС тесно связано с развитием телекоммуникационных систем, главным образом, сети Интернет. Здесь можно выделить самостоятельные направления:

- развитие крупнейших компаний и управленческих структур, которые имеют удаленный доступ (с использованием Интранета), что подкрепляется их финансовыми ресурсами и задачами, решаемыми ими с помощью пространственного анализа;

- дальнейшее развитие сети Интернет, в результате которого традиционные ГИС, объединяясь и приобретая новые качества, из обычных систем для отдельных структур превращаются в мощные интерактивные сервисы глобального масштаба.

В заключение можно отметить, что современный рынок ГИС имеет огромный потенциал развития. Объединение возможностей ГИС с ДЗЗ, GPS и сети Интернет позволяет создать мощнейшую базу пространственной информации. Реализация рассмотренных перспектив может сделать ГИС целой системой специальных знаний, которая будет использовать самые передовые технологии по переработке, обновлению огромных объемов пространственной информации.

### Литература

1. Гусева А.В. Геоинформационные системы // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 5. – С. 50–55.
2. Дуепенко, А.Г. Этапы и тенденции развития геоинформационных систем / А.Г. Дуепенко. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2015. — № 9 (89). — С. 115-117. — URL: <https://moluch.ru/archive/89/18321/> (дата обращения: 15.10.2020).
3. Темербаева А.А., Ганцен Н.Ф. Проблемы географических информационных ресурсов страны / VII Международная студенческая научная конференция. Студенческий научный форум – 2015 // <https://files.scienceforum.ru/pdf/2015/14001.pdf/> (дата обращения: 16.10.2020).
4. Шокин И.Ю., Потапов В.П. ГИС сегодня: состояние, перспективы, решения // ИВТ СО РАН. – 2015. – № 5 (Том 2). – С. 175-213.
5. Елистратова А.А., Коршакевич И.С. Применение и перспективы развития российских геоинформационных систем // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2013. – С. 424–425.

**Секция  
«Математические методы  
в строительстве»**

## **Операторный метод расчета напряженно-деформированного состояния дорожного покрытия**

Акимов В.А, Гончарова С.В.

Белорусский национальный технический университет

*К настоящему времени разработано значительное количество расчетных моделей, позволяющих с той или иной степенью точности описать процесс накопления остаточных деформаций и их образования. Многие из известных к настоящему времени работ касаются, как правило, одного из конструктивных слоев покрытия-основания или грунта земляного полотна. Большинство методик требует значительного объема лабораторных и полевых испытаний, затрудняющих их практическое применение. Некоторые из упрощенных отечественных и зарубежных методов не достаточно обоснованы с физической точки зрения, т.к. носят чисто эмпирический характер, а, следовательно, область их применения остается неясной из-за небольшого числа входных расчетных показателей, являющихся основными в которых получены соответствующие уравнения. Другие разработки напротив представляются чрезвычайно сложными для применения. В их основу положены фундаментальные физико-математические модели с большим числом расчетных параметров, определение которых зачастую не представляется возможным, а решение задачи требует значительных ресурсов памяти ЭВМ. В этой работе авторы предлагают новый оригинальный аналитический метод расчета дорожного полотна, в основу которого положена модель равновесия изотропной полосы жестко сцепленной основанием с неподвижным твердым телом.*

Решение рассматриваемой задачи записано в символическом виде, содержащем операторы бесконечно высокого порядка. Аргументом этих операторов является произведение продольной координаты полосы на поперечную производную. Представленное таким образом решение тождественно удовлетворяет уравнениям равновесия внутри области. Часть граничных условий выполняется за счет операторных коэффициентов, а оставшаяся часть - за счет входящих в решение двух произвольных аналитических функций. Построено три вида решения, соответствующих трем классам произвольно выбранных функций.

Решение для функций I класса представлено в виде ортогональных рядов, II класса в интегральном виде. Для интегральных решений дано срав-

нение с известным результатом. Решение III класса записано в неортогональных рядах. Для определения коэффициентов в этих рядах при построении инженерных аналитических решений, авторы используют теорию псевдодифференциальных операторов специального вида [2].

Рассмотрим равновесие упругой изотропной полосы жестко сцепленной основанием  $z=0$  с неподвижным твердым телом, т.е. когда перемещения  $U_0 = U|_{z=0}$  и  $W_0 = W|_{z=0}$  тождественно равны нулю  $U_0=0, W_0=0$ .

Предположим, что на верхней кромке полосы  $z=h$  перпендикулярно к ее поверхности приложена некоторая нагрузка  $F(x)$ , допускающая разложение в ряд Фурье

$$F(x) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos \delta_n x + B_n \sin \delta_n x),$$

где  $A_0, A_n, B_n, \delta_n$  – известные величины.

Для удобства разложения разобьем общую смешанную задачу на две: симметричную относительно серединной плоскости  $z=h/2$  (задача *A*) и антисимметричную (задача *B*) [1,2].

В соответствии с [2] представим решение поставленной задачи в виде:

Задача A.

$$\begin{aligned} U &= -\frac{1}{2}[(\gamma-1)z \sin(z\partial_1)]f(x); \\ W &= \frac{1}{2}\left[(\gamma+1)\frac{\sin(z\partial_1)}{\partial_1} - (\gamma-1)z \cos(z\partial_1)\right]f(x) \end{aligned} \quad (1)$$

Задача B.

$$\begin{aligned} U &= \frac{1}{2}\left[(\gamma-1)z \cos(z\partial_1) + (\gamma+1)\frac{\sin(z\partial_1)}{\partial_1}\right]g(x); \\ W &= -\frac{1}{2}[(\gamma-1)z \sin z\partial_1]g(x), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\gamma = \frac{2(1-\nu)}{1-2\nu}$ ;  $\nu_2 = \nu - 2$   $\nu$  – коэффициент Пуассона,  $\partial_1 = \frac{\partial}{\partial x}$ ,  $f(x)$  и  $g(x)$  – произвольные функции. Формулы (1) и (2) тождественно удовлетворяют граничному условию  $U|_{z=0}=0, W|_{z=0}=0$  и уравнению равновесия внутри области

$$\nabla^2 U + (\gamma - 1) \frac{\partial \theta}{\partial x} = 0; \quad \nabla^2 W + (\gamma - 1) \frac{\partial \theta}{\partial z} = 0,$$

где  $U$  и  $W$  – соответственно горизонтальное и вертикальное перемещение частиц упругой среды,

$$\theta = \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial W}{\partial z}; \quad \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}.$$

Составим выражения для напряжений

$$\tau_{zx} = G \left( \frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial x} \right) \text{ и } \sigma_{zz} = G \left( \gamma \frac{\partial W}{\partial z} + \gamma_2 \frac{\partial U}{\partial x} \right)$$

В результате получим:

Задача А.

$$\begin{aligned} \tau_{zx} &= G \left[ \sin z \partial_1 - (\gamma - 1) z \partial_1 \cos z \partial_1 \right] f(x); \\ \sigma_{zz} &= G \left[ \gamma \cos z \partial_1 + (\gamma - 1) z \partial_1 \sin z \partial_1 \right] f(x) \end{aligned} \quad (3)$$

Задача В.

$$\begin{aligned} \tau_{zx} &= G \left[ \gamma \cos z \partial_1 - (\gamma - 1) z \partial_1 \sin z \partial_1 \right] g(x); \\ \sigma_{zz} &= -G \left[ \sin z \partial_1 + (\gamma - 1) z \partial_1 \cos z \partial_1 \right] g(x) \end{aligned} \quad (4)$$

Теперь надо удовлетворить граничным условиям в напряжениях на основании

$$z = h: \tau_{zx} \Big|_{z=h} = 0, \quad \sigma_{zz} \Big|_{z=h} = F(x)$$

Полагаем

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} (a_k \cos \lambda_n x + b_n \sin \lambda_n x), \quad (5)$$

С учетом (5) уравнения (1), (2), (3), (4) примут вид:

Задача А.

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{\gamma-1}{2} z \sum_{k=1}^{\infty} sh(z\lambda_k) (a_k \sin \lambda_k x - b_k \cos \lambda_k x) \\
 W &= \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{\infty} \left[ (\gamma+1) \frac{sh(z\lambda_k)}{\lambda_k} - (\gamma-1) z ch(z\lambda_k) \right] (a_k \cos \lambda_k x + b_k \sin \lambda_k x) + a_0 z \quad (6) \\
 \tau_{zx} &= G \sum_{k=1}^{\infty} [sh(z\lambda_k) - (\gamma-1) z \lambda_k ch(z\lambda_k)] (a_k \cos \lambda_k x - b_k \sin \lambda_k x) \\
 \sigma_{zz} &= G \sum_{k=1}^{\infty} [\gamma ch(z\lambda_k) - (\gamma-1) z \lambda_k sh(z\lambda_k)] (a_k \cos \lambda_k x + b_k \sin \lambda_k x) + G \gamma a_0
 \end{aligned}$$

Задача В.

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{\infty} \left[ (\gamma-1) z ch(z\mu_k) + (\gamma+1) \frac{sh(z\mu_k)}{\mu_k} \right] (c_k \cos \mu_k x + d_k \sin \mu_k x) + z \gamma c_0 \\
 W &= \frac{\gamma-1}{2} z \sum_{k=1}^{\infty} sh(z\mu_k) (c_k \sin \mu_k x - d_k \cos \mu_k x) \\
 \tau_{zx} &= G \sum_{k=1}^{\infty} [\gamma ch(z\mu_k) + (\gamma-1) z \mu_k sh(z\mu_k)] (c_k \cos \mu_k x + d_k \sin \mu_k x) + G \gamma c_0 \quad (7) \\
 \sigma_{zz} &= G \sum_{k=1}^{\infty} [sh(z\mu_k) + (\gamma+1) z \mu_k ch(z\mu_k)] (c_k \sin \mu_k x - d_k \cos \mu_k x)
 \end{aligned}$$

Слагаемые  $a_0$  и  $\tilde{n}_0$  в (6) и (7) являются частью элементарного решения, позволяющего получить точное решение задачи для слоя при равномерном его обжатии и сдвиге. Формальным основанием для включения этих слагаемых служит то обстоятельство, что полные системы функций  $\cos \lambda_k x$  и  $\cos \mu_k x$  содержат константы.

Вводя обозначения

$$\begin{aligned}
 D_{1k} &= -(\gamma-1) h \lambda_k ch(h\lambda_k) + sh(h\lambda_k); & D_{2k} &= \gamma ch(h\lambda_k) - (\gamma-1) h \lambda_k sh(h\lambda_k); \\
 D_{3k} &= \gamma ch(h\mu_k) + (\gamma-1) h \mu_k sh(h\mu_k); & D_{4k} &= sh(h\mu_k) + (\gamma+1) h \mu_k ch(h\mu_k),
 \end{aligned}$$

запишем граничные условия  $\tau_{zx}|_{z=h}=0$ ,  $\sigma_{yy}|_{z=h}=F(x)$  в виде

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{\infty} D_{1k} (a_k \cos \lambda_k x - b_k \sin \lambda_k x) + \sum_{k=1}^{\infty} D_{3k} (c_k \cos \mu_k x + d_k \sin \mu_k x) + G\gamma c_0 &= 0 \quad (8) \\ \sum_{k=1}^{\infty} D_{2k} (a_k \cos \lambda_k x + b_k \sin \lambda_k x) + \sum_{k=1}^{\infty} D_{4k} (c_k \sin \mu_k x - d_k \cos \mu_k x) + G\gamma a_0 &= \\ &= A_0 + \sum_{n=0}^{\infty} (A_n \cos \delta_n x + B_n \sin \delta_n x) \quad (9) \end{aligned}$$

### I класс

$$\lambda_n = \mu_n = \delta_n = \frac{\pi n}{h}.$$

В этом случае  $c_0=0$ ;  $D_{1k}a_k = -D_{3k}c_k$ ,  $D_{1k}b_k = D_{3k}d_k$ ;  $G\gamma a_0 = A_0$ ;

$$D_{2k}a_k - D_{4k}d_k = A_k; \quad D_{2k}b_k + D_{4k}c_k = B_k.$$

Отсюда находим:

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{A_0}{G\gamma}; \quad a_k = \frac{D_{2k}D_{3k}A_k + D_{1k}D_{4k}B_k}{\Delta \cdot D_3}; \quad b_k = \frac{D_{2k}D_{3k}B_k + D_{1k}D_{4k}A_k}{\Delta \cdot D_3}; \\ c_k &= -\frac{D_{1k}}{D_{3k}}a_k; \quad d_k = \frac{D_{1k}}{D_{3k}}b_k; \quad \text{где } \Delta = D_{2k}^2 - (D_{1k}D_{4k}/D_{3k})^2. \end{aligned}$$

### II класс

$$\text{Полагая } f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} A e^{-i\lambda x} d\lambda, \quad g(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} B e^{-i\lambda x} d\lambda$$

и используя теорему о дифференцировании под знаком интеграла по параметру  $x$ , получим

$$f^{(n)}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} (-i\lambda)^n A e^{-i\lambda x} d\lambda, \quad g^{(n)}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} (-i\lambda)^n B e^{-i\lambda x} d\lambda$$

На основании этих формул устанавливаем

$$\begin{aligned}
[\sin(z\partial_1)]f(x) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \sin(iz\lambda) A e^{-i\lambda x} d\lambda = \frac{-i}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} A \operatorname{sh}(z\lambda) e^{-i\lambda x} d\lambda \\
[\cos(z\partial_1)]f(x) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} A \operatorname{ch}(z\lambda) e^{-i\lambda x} d\lambda \\
[z\partial_1 \sin(z\partial_1)]f(x) &= -\frac{i}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} A z \cdot \operatorname{sh}(z\lambda) \frac{d}{dx} (e^{-i\lambda x}) d\lambda = \\
&= -\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} A z \lambda \cdot \operatorname{sh}(z\lambda) e^{-i\lambda x} d\lambda \\
[z\partial_1 \cos(z\partial_1)]f(x) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} A z \cdot \operatorname{ch}(z\lambda) \frac{d}{dx} (e^{-i\lambda x}) d\lambda = \\
&= -\frac{i}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} A z \lambda \cdot \operatorname{ch}(z\lambda) e^{-i\lambda x} d\lambda
\end{aligned} \tag{10}$$

Аналогичные соотношения получаются и для функций  $g(x)$ . Используя (10), запишем выражения для напряжений

$$\begin{aligned}
\frac{\tau_{rz}}{G} &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} A i [(\gamma-1)z\lambda \cdot \operatorname{ch}z\lambda - \operatorname{sh}(z\lambda)] \cdot e^{-i\lambda x} d\lambda + \\
&+ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} B [\gamma \cos(z\lambda) + (\gamma-1)z\lambda \cdot \operatorname{sh}(z\lambda)] \cdot e^{-i\lambda x} d\lambda; \\
\frac{\sigma_{zz}}{G} &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} A [\gamma \operatorname{ch}(z\lambda) - (\gamma-1)z\lambda \cdot \operatorname{sh}(z\lambda)] \cdot e^{-i\lambda x} d\lambda + \\
&+ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} B i [\operatorname{sh}(z\lambda) + (\gamma-1)z\lambda \cdot \operatorname{ch}(z\lambda)] \cdot e^{-i\lambda x} d\lambda.
\end{aligned} \tag{11}$$

Рассмотрим случай сжатия полосы сосредоточенной силой  $P$ , приложенной в точке  $x=0$ ,  $z=h$  перпендикулярно верхнему основанию. Тогда  $\tau_{rz}(z=h)=0$ ;  $\sigma_{zz}(z=h)=-P\delta(x)$ , где  $\delta(x)$  – дельта функция. Умножим уравнение (11) на  $e^{i\lambda x} dx$  и проинтегрируем по всей длине полосы. Используя основную формулу интегрального преобразования Фурье

$$f(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-i\lambda x} dx \right\} e^{i\lambda x} dx$$

и свойство дельта функции  $\int_{-\infty}^{\infty} \delta(x) e^{i\lambda x} dx = 1$ , получим для определения  $A(\lambda)$  и  $B(\lambda)$  систему уравнений при  $z = h$ .

$$\begin{cases} Ai[(\gamma-1)h\lambda \cdot ch(h\lambda) - sh(h\lambda)] + B[\gamma \cdot ch(h\lambda) + (\gamma-1)h\lambda \cdot sh(h\lambda)] = 0 \\ A[\gamma \cdot ch(h\lambda) - (\gamma-1)h\lambda \cdot sh(h\lambda)] + Bi[sh(h\lambda) + (\gamma-1)h\lambda \cdot ch(h\lambda)] = -\frac{P}{\sqrt{2\pi G}} \end{cases}$$

Вычисляем определитель полученной системы

$$\Delta = sh^2(h\lambda) - \gamma^2 ch^2(h\lambda) - (\gamma-1)^2 h^2 \lambda^2$$

и находим  $A$  и  $B$

$$A = -\frac{[\gamma \cdot ch(h\lambda) + (\gamma-1)h\lambda \cdot sh(h\lambda)]P}{\sqrt{2\pi G\Delta}};$$

$$B = \frac{[(\gamma-1)h\lambda \cdot ch(h\lambda) - sh(h\lambda)]Pi}{\sqrt{2\pi G\Delta}}$$

Приведем расчетные формулы для напряжений в заделанном основании  $z=0$ :

$$\tau_{zx} = \frac{2\gamma P}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{(\gamma-1)h\lambda \cdot ch(h\lambda) - \gamma sh(h\lambda)}{sh^2(h\lambda) - \gamma^2 ch^2(h\lambda) - (\gamma-1)^2 h^2 \lambda^2} \sin(\lambda x) d\lambda;$$

$$\sigma_{zz} = -\frac{2\gamma P}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\gamma ch(h\lambda) + (\gamma-1)h\lambda \cdot sh(h\lambda)}{sh^2(h\lambda) - \gamma^2 ch^2(h\lambda) - (\gamma-1)^2 h^2 \lambda^2} \cos(\lambda x) d\lambda.$$

С учетом  $\left(\frac{1}{\gamma-1}\right)^2 = (1-2\nu)^2$ ,  $\left(\frac{\gamma}{\gamma-1}\right)^2 = 4(1-\nu)^2$  определяем:

$$\begin{aligned} \Delta &= sh^2(h\lambda) - \gamma^2 ch^2(h\lambda) - (\gamma-1)^2 h^2 \lambda^2 = (\gamma-1)^2 [(1/(\gamma-1))^2 sh^2(h\lambda) - (\gamma/(\gamma-1))^2 * \\ &* ch^2(h\lambda) - h^2 \lambda^2] = (\gamma-1)^2 [(1-2\nu)^2 sh^2(h\lambda) - 4(1-\nu)^2 (sh^2(h\lambda) + 1) - h^2 \lambda^2] = \\ &= -(\gamma-1)^2 [(3-4\nu)sh^2(h\lambda) + h^2 \lambda^2 + 4(1-\nu)^2]. \end{aligned}$$

Вынося в числителе выражений  $\tau_{zx}$  и  $\sigma_{zz}$  за скобки  $(\gamma-1)$ , после элементарных преобразований получим

$$\begin{aligned} \tau_{zx} \Big|_{z=0} &= \frac{2(1-\nu)P}{\pi h} \int_0^\infty \frac{\mu \cdot ch(\mu) - (1-2\nu)sh(\mu)}{(3-4\nu)sh^2(\mu) + \mu^2 + 4(1-\nu)^2} \sin\left(\frac{x}{h}\right) d\mu, \\ \sigma_{zz} \Big|_{z=0} &= -\frac{2(1-\nu)P}{\pi h} \int_0^\infty \frac{\mu \cdot sh(\mu) + 2(1-\nu)ch(\mu)}{(3-4\nu)sh^2(\mu) + \mu^2 + 4(1-\nu)^2} \cos\left(\frac{x}{h}\right) d\mu, \end{aligned}$$

где принято  $\mu = \lambda h$ .

Полученный результат совпадает с [1, стр. 40-41].

Численные результаты здесь обычно получают с помощью теоремы о вычетах [1].

### III класс.

Условию  $\tau_{zx} \Big|_{z=h} = 0$  можно удовлетворить, если в задаче  $A$  в качестве  $\lambda_n$  взять корни трансцендентного уравнения  $th(h\lambda) = (\gamma-1)h\lambda$ . Тогда в задаче  $B$   $\mu_n$  будут корнями трансцендентного уравнения  $cth(h\mu) = -\frac{\gamma-1}{\gamma}h\mu$  и  $c_0=0$ .

Не умоляя общности, а лишь для упрощения выкладок, считаем внешнюю нагрузку  $F(x)$  симметричной, т.е.

$$F(x) = A_0 + \sum_{k=0}^{\infty} A_k \cos \delta_k x,$$

где  $\delta_k, A_0, A_k$  – известные величины.

Вводя новые переменные

$$\begin{aligned} X_k &= G[\gamma ch(h\lambda_k) - (\gamma-1)h\lambda_k sh(h\lambda_k)] a_k = G[\gamma - (\gamma-1)^2 h^2 \lambda_k^2] a_k ch(h\lambda_k), \\ Y_k &= G[\sin(h\mu_k) + (\gamma-1)z\mu_k ch(z\mu_k)] d_k = \frac{G}{\gamma}[\gamma - (\gamma-1)^2 h^2 \mu_k^2] d_k sh(h\mu_k), \end{aligned}$$

запишем граничное условие  $\sigma_{zz}(z=h) = F(x)$  в виде

$$\sum_{n=1}^{\infty} X_n \cos \lambda_n x - \sum_{n=1}^{\infty} Y_n \cos \mu_n x + G\gamma a_0 = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos \delta_k x \quad (12)$$

Для нахождения коэффициентов разложения (12) будем использовать операторы

$$D_0(d_x) = [tg(hd_x) - (\gamma - 1)hd_x] \cdot [\gamma \cdot ctg(hd_x) + (\gamma - 1)hd_x] / d_x,$$

$$D_1(d_x) = \frac{\lambda_n^2 d_x^2}{\lambda_n^2 + d_x^2} D_0(d_x); \quad D_2(d_x) = \frac{\mu_n^2 d_x^2}{\mu_n^2 + d_x^2} D_0(d_x), \text{ где } d_x = \frac{d}{dx}.$$

Применяя метод, подробно изложенный в [2], находим

$$a_0 = \frac{1}{\gamma G} \left( A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k D(\delta_k) \right);$$

$$X_n = \frac{2\mu_n ch^2 h \lambda_n}{h[(\gamma - 1)ch^2 h \lambda_n - 1]} \sum_{k=1}^{\infty} A_k \frac{\delta_k^2 D(\delta_k)}{(\lambda_n^2 - \delta_k^2)(\lambda_n^2 - \mu_k^2)};$$

$$Y_n = \frac{2\lambda_n^2 sh^2 h \mu_n}{h[(\gamma - 1)sh^2 h \mu_n - 1]} \sum_{k=1}^{\infty} A_k \frac{\delta_k^2 D(\delta_k)}{(\lambda_n^2 - \delta_k^2)(\lambda_n^2 - \mu_k^2)};$$

где  $D(\delta_k) = [th(h\delta_k) - (\gamma - 1)h\delta_k] \cdot [\gamma \cdot ctg(h\delta_k) + (\gamma - 1)h\delta_k] / \delta_k$ ;  $\lambda_n \neq \delta_n$ ;  $\mu_n \neq \delta_n$ .

После этого из (12) находим коэффициенты  $a_k, d_k$  и тем самым окончательно получаем решение поставленной задачи в виде неортогональных рядов. Полагая в (6) и (7)  $z = 0$ , получим расчетные формулы для напряжений в заделанном основании.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что предложенный метод является достаточно универсальным. Он позволяет с единых позиций получить как известные, так и новые аналитические решения, удобные для проведения инженерных расчетов. Использование общих операторно-символических решений в большинстве случаев требует в дальнейшем меньших вычислительных работ и выигрывает с точки зрения представления вида решения. За счет надлежащего выбора входящих в решение произвольных аналитических функций можно получить более полную и точную информацию о физической сущности решаемой задачи, а в ряде

случаев дать оценку приближенным численным методам и той математической модели, которая положена в основу расчета.

### Литература

1. Я.С. Уфлянд. Интегральные преобразования в задачах теории упругости. // АН СССР, М. – Л., 1963г. – 367 с.
2. В.А. Акимов. Операторный метод решения задач теории упругости. Монография / Мн.:УП «Технопринт», 2003. – 101 с.

УДК 517.9

## Определение вида кривой по заданному радиусу ее кривизны

Акимов В.А, Гончарова С.В.

Белорусский национальный технический университет

*Автомобильные дороги являются одними из наиболее рентабельных сооружений. Проектирование автомобильных дорог должно быть направлено на достижение их высоких транспортно-эксплуатационных качеств. Правильно запроектированная дорога обеспечивает безопасность движения как одиночных автомобилей с расчетными скоростями, так и транспортных потоков с высокими уровнями удобств даже в самые напряженные периоды работы дорог. Авторы данной работы предлагают при проектировании закруглений, наряду с известными переходными кривыми использовать новые типы кривых, задаваемых посредством переменного радиуса кривизны.*

Первоначально примем проекцию радиуса кривизны  $R$  на ось абсцисс равной постоянной величине  $a = 1$ . Найдем уравнение кривой, если она проходит через начало координат и в этой точке ортогональной оси абсцисс.

Радиус кривизны  $R = \frac{(1 + y'^2)^{3/2}}{y''}$ . Направляющий косинус радиуса кривизны как направляющий косинус нормали  $\cos \alpha = \frac{y'}{\sqrt{1 + y'^2}}$ .

По условию задачи  $R \cos \alpha = a$ , откуда дифференциальное уравнение искомого семейства кривых  $y'(1 + y'^2) = ay''$ .

По условию задачи  $R \cos \alpha = a$ , откуда дифференциальное уравнение искомого семейства кривых  $y'(1 + y'^2) = ay''$ .

Решаем это уравнение типа  $y'' = f(y')$  и получаем его общий интеграл

$\frac{x-C_1}{a} = \ln \sin \frac{y-C_2}{a}$  или общее решение  $y = a \arcsin e^{\frac{0-C_1}{a}} + C_2$  и, так как

$$y' = \frac{e^{\frac{x-C_1}{a}}}{\sqrt{1-e^{\frac{2(x-C_1)}{a}}}}, \text{ то } \infty = \frac{e^{\frac{0-C_1}{a}}}{\sqrt{1-e^{\frac{2(0-C_1)}{a}}}}.$$

Для определения постоянных интегрирования имеем систему уравнений

$$\begin{cases} a \arcsin e^{-\frac{C_1}{a}} + C_2 = 0, \\ 1 - e^{-\frac{2C_1}{a}} = 0. \end{cases}$$

Отсюда  $C_1 = 0$ ;  $C_2 = -\frac{a\pi}{2}$ .

Подставляем найденные значения в общее решение и получаем

$$y = \arcsin e^{\frac{x}{a}} - \frac{a\pi}{2}.$$

При  $a = 1$  имеем уравнение искомой кривой  $y = \arcsin e^x - \frac{\pi}{2}$  или

$$x = \ln \cos y. \quad (1)$$

А теперь полагаем, что радиус кривизны кривой имеет флуктуацию вида

$$R = \sqrt{a^2 - y^2}.$$

По аналогии с приведенным выше решением получим следующее дифференциальное уравнение (ДУ)  $y'(1 + y'^2) = \sqrt{a^2 - y^2} y''$ .

Понизим порядок уравнения, полагая  $y' = P(y)$ .

Тогда  $y'' = P \frac{dP}{dy}$  и ДУ принимает вид  $1 + P^2 = \sqrt{a^2 - y^2} \frac{dP}{dy}$ .

Разделяя переменные, получим  $\frac{dP}{1 + P^2} = \frac{dy}{\sqrt{a^2 - y^2}}$ .

Интегрируя полученное уравнение, приходим к соотношению  $\arctg P = \arcsin\left(\frac{y}{a} + C_1\right)$ . Считая, что кривая выходит из точки  $(0; a)$  горизонтально, получим  $C_1 = 0$ . С учетом  $\operatorname{tg}(\arcsin b) = \frac{b}{\sqrt{1-b^2}}$ , имеем  $\frac{dy}{dx} = \frac{y}{\sqrt{a^2 - y^2}}$ . Разделяя переменные, находим  $\int y^{-1} \sqrt{a^2 - y^2} dy = x + C_2$ .

Стоящий слева интеграл, находим в /1/ стр. 65, пример 361.01

$$\int y^{-1} \sqrt{a^2 - y^2} dy = \sqrt{a^2 - y^2} - a \ln \left| \frac{a + \sqrt{a^2 - y^2}}{y} \right|.$$

Тогда будем иметь  $x + C_2 = \sqrt{a^2 - y^2} - a \ln \left| \frac{a + \sqrt{a^2 - y^2}}{y} \right|$

Так как прямая проходит через точку  $(0, a)$ , то  $C_2 = 0$ , окончательно получим зависимость вида  $x = f(y)$ :

$$x = \sqrt{a^2 - y^2} - a \ln \left| \frac{a + \sqrt{a^2 - y^2}}{y} \right| \quad (2)$$

То обстоятельство, что радиус кривизны заранее известен, делает более удобным расчет динамических характеристик движущегося по дороге автотранспорта. В этом и заключается преимущество данного подхода.

### Литература

1. Г.Б. Двайт Таблицы интегралов и другие математические формулы. М., 1973 г., 228 стр. с илл.

## Оптимизация многослойной плиты на упругом основании методом сокращения ресурсов

Вербицкая О.Л., Шевчук Л.И.

Белорусский национальный технический университет

*В статье ставится задача оптимизации прямоугольной многослойной прямоугольной плиты на упругом основании. Предложен порядок расчета методом сокращения ресурсов прочности и жесткости. Приведен пример расчета трехслойной плиты, загруженной в средней части давлением оси автомобиля.*

Ставится задача оптимизации многослойной плиты на упругом основании по стоимости затраченных материалов на ее изготовления. Статический расчет прямоугольной плиты выполняется методом конечных элементов. Численная модель построена из прямоугольных изгибных конечных элементов с четырьмя узлами и двенадцатью степенями свободы. Нагрузка прикладывается в виде вертикальных узловых сил. Используется винклеровское основание, представленное в виде упругих вертикальных стержней, прикрепляемых одним концом к узлам конечно-элементной модели, а другим – к жесткой опоре.

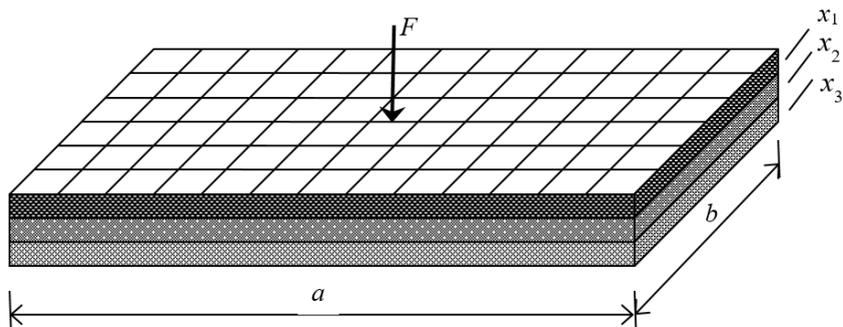


Рис. 1. Конечно-элементная сетка и многослойная плита

Жесткость основания принимается по перемещению стандартного штампа. Для этого устанавливается закон изменения осадки абсолютно жесткой плиты от жесткости стержней, моделирующей винклеровское основание. Учет собственного веса плиты исключает ее отрыв от основания.

Стоимость материалов, затраченных на изготовление плиты, зависит от объемов ее слоев и цены материалов этих слоев  $C(\vec{X})$ ,  $\vec{X} \in R^n$ . Параметры оптимизации ограничены сверху и снизу.

$$x_{k \min} \leq x_k \leq x_{k \max}, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Кроме того, поставлено ограничение по прочности и жесткости

$$R_k - \sigma_{k \max} \geq 0, \quad w_{adm} - w_{\max} \geq 0 \quad (2)$$

где  $x_{k \min}$ ,  $x_{k \max}$  – максимальная и минимальная толщина  $k$ -ого слоя,

$R_k$  – расчетное сопротивление материала  $k$ -го слоя

$w_{adm}$ ,  $w_{\max}$  – допускаемый и максимальный прогибы

Разработан алгоритм и составлена программа оптимизации прямоугольной многослойной плиты с выбором шага поиска решения по ресурсам прочности и жесткости. Для сокращения времени статического расчета плиты используется средне взвешенный модуль

$$E_{eq} = \frac{\sum_{k=1}^n E_k x_k}{\sum_{k=1}^n x_k} \quad (3)$$

Расчет начинается с назначения стартовой точки, расположенной в неограниченной области поиска [1]. Для определения очередной точки поиска оптимального решения использованы ресурсы прочности и жесткости (1), (2).

$$x_k^z = \min \begin{cases} x_k^0 - \omega(x_k^0 - x_{kadm}); \\ x_k^0 - \omega\left(\frac{w_{adm} - w_0}{w_s - w_0}\right)(x_k^0 - x_k^s); \\ x_k^0 - \omega\left(\frac{R - \sigma_0}{\sigma_s - \sigma_0}\right)(x_k^0 - x_k^s), \end{cases} \quad (4)$$

где  $x_k^z$ ,  $x_k^0$  – прогнозируемый и текущий параметры оптимизации;

$\omega$  – множитель релаксации  $0 < \omega \leq 1$ ;

$x_{kadm}$ ,  $w_{adm}$  – минимально допустимые толщина и прогиб пластины;

$w_0$  – прогиб пластины в центральной точке;

$w_s$  – прогиб пластины в базовой точке, в направлении которой совершается движение;

$x_k^s$  – параметр оптимизации в базовой точке, соответствующей наименьшему объему пластины, т.е. в направлении которой совершается движение;

$R$  – расчетное сопротивление материала;

$\sigma_0$ ,  $\sigma_s$  – максимальные напряжения в пластине, соответствующее центральной точке и базовой точке;

$s$ ,  $k$  – номера базовой точки и параметра оптимизации;

По результатам, полученным из выражения (4), определяется шаг текущего приближения

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_k^z - x_k^0)^2}, \quad (5)$$

Рассмотрен пример оптимизации трехслойной плиты на упругом основании. Приняты следующие исходные данные: размеры плиты в плане  $5 \times 3,75$  м; коэффициент жесткости основания  $k_o = 50$  МПа/м; классы бетонов слоев плиты – модули и цена бетона слоев плиты  $C^{45/55}$ ,  $C^{25/30}$ ,  $C^{12/15}$ . Коэффициент поперечной деформации  $\nu = 0,18$ ; плотность бетонов слоев плиты  $\rho = 2500$  кг/м<sup>3</sup>; сила давления оси автомобиля на плиту  $F = 65 \times 2 = 130$  кН; динамический коэффициент  $k_d = 1,44$ .

По программе *PlitaFund* рассчитаем плиту при сосредоточенной нагрузке в виде двух сил  $F = 100$  кН, приложенных на левых углах плиты.

В результате оптимизации заданной плиты получены толщины слоев плиты  $h_1 = 5$  см,  $h_2 = 5$  см,  $h_3 = 8$  см, приведенный момент  $M_{eq} = 4,86$  кНм/м и эквивалентное напряжение  $\sigma_{eq} = 20,27$  МПа, максимальный прогиб  $w = 2,79$  мм и ее стоимость  $C = 306,4$  руб.

Выводы.

1. Поставлена задача оптимизации многослойной прямоугольной плиты на винклеровском основании.

2. Для расчета использован средне взвешенный модуль упругости многослойной плиты.

3. Предложен метод поиска направления и величины шага при оптимизации плиты с учетом сокращения ресурсов прочности и жесткости.

4. Получена конструкция оптимальной трехслойной прямоугольной плиты, загруженной вертикальными силами в ее середине.

## Литература

1. Вербицкая О.Л. «Алгоритм оптимизации прямоугольных пластинок методом градиентного спуска с навигацией направления поиска вблизи границ». Научно-технический журнал «Вестник БНТУ» № 2, Мн. 2004, с. 15–21.

УДК 624.131

### Выбор термодинамических параметров для процесса сушки торфа

Воронова Н.П.

Белорусский национальный технический университет

*В строительной отрасли использование торфа нашло свое применение. Насущным вопросом является качественная добыча и обработка материала. В работе исследуется вопрос первоначальной сушки торфа на основе баланса удельных тепловых потоков.*

Рассмотрим процесс подсушивания слоя торфа на глубину  $h$  на основе исследования уравнения баланса удельных тепловых потоков,  $\frac{Вт}{m^2}$  [1]:

$$q = \sum_{i=1}^3 q_i, \quad (1)$$

где  $q$  – удельный тепловой поток, поступающий на поверхность ( $q = \alpha(T - T_{нов.})$ );  $q_1$  – часть удельного потока, идущая на нагрев сухого слоя

( $q_1 = \frac{cp}{2} \left[ \frac{dh}{dt} (T_{нов.} - T_m) + h \frac{dT_{нов.}}{dt} \right]$  [2]);  $q_2$  – часть удельного теплового по-

тока, идущая на нагрев влажной зоны ( $q_2 = \frac{\lambda(T_m - T_o)}{\sqrt{\pi at}}$ );  $q_3$  – часть удельного

потока, идущая на испарение влаги ( $q_3 = L \frac{dh}{dt} \rho (W_o - W_p)$ ), где  $c$  – удельная

теплоемкость сухого торфа,  $\frac{Дж}{кг \cdot К}$ ;  $\rho$  – плотность сухого торфа,

$\frac{\text{кТ}}{\text{м}^3}$ ;  $\lambda, a$  – теплопроводность и температуропроводность влажной породы,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$  и  $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ ;  $T_{\text{нов}}$  – температура поверхности торфа, К;  $T_m$  – температура мокрого термометра, К;  $T_o$  – начальная температура торфа, К;  $\frac{dh}{dt}$  – скорость движения фронта фазового превращения вода-пар,  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $W_o$  и  $W_p$  – влагосодержание в начальный момент времени и равновесное влагосодержание;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ;  $L$  – теплота фазового перехода,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ ;  $T_o$  – температура теплоносителя, К.

На основании преобразования (1) выражение для определения времени сушки в критериальной форме [3] имеет вид:

$$t = \frac{K[(B_i + 2)B_i - 2\ln(B_i + 1)]\varepsilon^2}{4a^2(\varepsilon^2 + Fe \cdot L_u)} \cdot \left( \frac{T - T_m - 2T_o}{T - T_m} + \frac{2K_o}{\varepsilon} \right),$$

где  $k$  – коэффициент теплоусвоения;  $\varepsilon$  – критерий фазового превращения вода-пар;  $B_i$  – критерий Био;  $K_o$  – критерий Коссовича;  $F_e$  – критерий Федорова;  $L_u$  – критерий Лыкова.

### Литература

1. Математическое моделирование и управление теплотехнологиями промышленных производств: монография/Н.П. Воронова. – Минск: БНТУ, 2009. – С. 260.
2. Техническая термодинамика: учеб. для студентов строит. и энергет. специальностей: в 2 ч. / Б.М. Хрусталева, А.П. Несенчук, В.Н. Романюк, В.Д. Акельев. – Минск: Технопринт, 2004. – Ч.2. – С. 558.
3. Термодинамические процессы: учеб. для вузов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2009. – С. 397.

## **Некоторые математические методы в дорожном строительстве**

Мороз О.А.

Белорусский национальный технический университет

*В статье разбираются некоторые задачи, связанные с вопросами проектирования и строительства автомобильных дорог, содержащие учебный математический контент.*

Математике в техническом вузе отводится роль общеобразовательной дисциплины. Являясь основным инструментом инженерных исследований, математика помогает решать инженеру профессиональные задачи. Поэтому важно понимать и отслеживать тесную связь преподавания этой дисциплины с потребностями конкретной профессии, а именно, в данном случае, с вопросами, связанными с дорожным проектированием и строительством.

Студент-первокурсник слабо представляет себе роль математики в будущей профессии, что свидетельствует об отсутствии преемственности между курсами высшей математики и специальными дисциплинами, о слабой профессиональной направленности в преподавании фундаментальных разделов математики. Даже можно говорить о некоторой автономности существования математики и профильных дисциплин. Поэтому при изложении курса высшей математики для студентов факультета транспортных коммуникаций видится два основных направления:

во-первых, это ознакомление с новыми узловыми понятиями курса – матрицы, векторы, кривые и поверхности 2-го порядка, производные, интегралы, дифференциальные уравнения, ряды, вероятность, элементы математической статистики.

во-вторых, разбор прикладных направлений этих понятий на конкретных примерах, связанных с проектированием и строительством автомобильных дорог.

Вспоминая известного «первого инженера» Архимеда, убеждаемся, что полученные абстрактные математические понятия часто непосредственно применяются при решении вполне конкретных практических задач.

Рассмотрим задачу исследования рисков при производстве дорожно-строительных материалов для обеспечения качества дорожного строительства [1]. Определение оптимальных составов щебеночно-мастичного асфальтобетона с применением трехфакторного плана эксперимента начина-

ется с построения матрицы, описывающей пределы варьирования для получения адекватной модели зависимости прочности асфальтобетонной смеси от расхода наполнителя, гранитного отсева и отношения битумного связующего к целлюлозной добавке.

Таблица 1.

N п/п	Наименование варьируемого фактора	Математ. символ	Значение фактора на нуле- вом уровне $X$	Интервал варьи- ро-ва- ния	Область измене- ния фактора -1	Область измене- ния фак- тора + 1
1	Битум/целлю- лозная добавка	$X_1$	11,40	0,50	10,90	11,90
2	Содержание шлакового за- полнителя, %	$X_2$	69,70	10	59,70	79,70
3	Содержание гранитного от- сева, %	$X_3$	11,70	1	10,70	12,70

Таким образом, студенты должны быть ознакомлены с таким понятием как матрица, уметь с ним работать. Далее, по результатам расчетов было получено уравнение регрессии, а проверку значимости коэффициентов и адекватности модели проводили с помощью  $t$  - критерия Стьюдента и  $F$  – критерию Фишера. Отсюда следует необходимость знания уравнения регрессии, критериев Стьюдента и Фишера, доверительных интервалов, т.е. изучить теорию вероятностей и математическую статистику. Методы теории вероятностей и математической статистики можно использовать для оценки качества прочности дорожно-строительных материалов, в частности для их исследования на водонасыщение, износ и деформацию.

Известно, что распределение температуры в асфальтобетонном покрытии во времени описывается известным уравнением Фурье-Кирхгофа:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \operatorname{div}(\lambda \nabla T).$$

А в общем случае закон теплопроводности в дифференциальной форме выражается зависимостью

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial z} dF d\tau .$$

Значит, нужно изучать и обыкновенные дифференциальные уравнения и уравнения в частных производных.

В построении системы «Дорожная конструкция – Транспортное средство» используются структурные матрицы

$$B_F = \begin{pmatrix} b_a & 0 & 0 \\ 0 & b_k & 0 \\ 0 & 0 & b_d \end{pmatrix}, \text{ где } b_a - \text{коэффициент демпфирования элементов под-}$$

вески транспортного средства,  $b_k$  – коэффициент демпфирования шины,  $b_d$  – коэффициент демпфирования дорожной конструкции;

$$X_F = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Тогда матрица демпфирования имеет вид  $B = X_F B_F X_F^T$ .

Таким образом, нужно не только представлять себе такой математический объект как матрица, но и уметь проводить с ними различные операции.

Рассматривая подобные примеры на лекциях и практических занятиях, мы не только обучаем математике, но и вовлекаем студентов в специфическую профессиональную тематику.

Глубоко познать специальные дисциплины можно лишь имея высокий уровень математического мышления и овладения соответствующими терминами и понятиями. Поэтому факт изучения курса высшей математики на факультете транспортных коммуникаций на протяжении двух лет обучения является очень важным. Желательно было бы добавить в учебный процесс комплексы лабораторных работ.

### Литература

1. Штефан Ю.В., Зорин В.А. Методы выявления и оценки рисков в дорожном строительстве и машиностроении. Монография. – М: МАДИ, 2017. – С. 17.

## Расчёт и построение геодезических на поверхностях в системе Wolfram Mathematica 12.1

Хотомцева М.А.

Белорусский национальный технический университет

*Рассматривается расчёт и построение семейства геодезических на параметризованных поверхностях с использованием системы Wolfram Mathematica 12.1 при изучении курса «Дифференциальная геометрия и основы теории поверхностей»*

Одним из важных понятий курса дифференциальной геометрии и основ теории поверхностей является понятие геодезической линии. Линия  $\ell$  на поверхности  $V$  называется геодезической, если в каждой ее точке геодезическая кривизна равна нулю. Если  $V : \mathbf{r} = \mathbf{r}(u, v)$  параметризованная поверхность и кривая  $\ell$  на  $V$  задана уравнениями

$$u = u(t), v = v(t),$$

то геодезические линии определяются дифференциальным уравнением второго порядка

$$u'v'' - v'u'' + Bu' - Av' = 0, \tag{1}$$

где  $A = \Gamma_{11}^1 (u')^2 + 2\Gamma_{12}^1 u'v' + \Gamma_{22}^1 (v')^2$ ,  $B = \Gamma_{11}^2 (u')^2 + 2\Gamma_{12}^2 u'v' + \Gamma_{22}^2 (v')^2$ .

Функции  $\Gamma_{jk}^i$  выражаются через коэффициенты  $E, F, G$  первой квадратичной формы поверхности и называются символами Кристоффеля.

В окрестности регулярной точки на поверхности существует двухпараметрическое семейство геодезических линий, причем через каждую точку этой окрестности проходит пучок геодезических — одна в каждом направлении. Геодезические линии на плоскости — прямые, на сфере — большие круги, т. е. окружности, диаметр которых равен диаметру сферы; они высекаются плоскостями, проходящими через центр сферы.

Геодезические линии на поверхности, как и прямые на плоскости, являются кратчайшими путями. Справедлива следующая теорема

**Теорема.** Кратчайшим расстоянием на поверхности между близкими точками А и В является дуга геодезической, соединяющая эти точки.

Кратчайшие расстояния между точками на земной поверхности находят, принимая форму Земли за шар радиуса 6378 км и параметризуя поверхность как сферу. Затем отмечая широту  $\theta$  и долготу  $\varphi$  точек, между которыми следует найти кратчайшее расстояние, соответственно индексами 0 и 1, получают косинус центрального угла  $\alpha$  дуги геодезической, проходящей через рассматриваемые точки.

$$\cos \alpha = \sin \theta_0 \sin \theta_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_0) + \cos \theta_0 \cos \theta_1$$

Подставляя значения координат, находят  $\cos \alpha$ . Кратчайшее расстояние равно длине дуги геодезической  $s = 6378 \cdot \alpha$ .

Если поверхность имеет более сложную форму, то аналитическое решение уравнения (1) затруднительно, требуется численное решение. Поэтому использование программы Wolfram Mathematica 12.1 позволяет сравнительно легко провести необходимые приближённые вычисления и построить геодезические на поверхностях. Это улучшает наглядность в преподавании курса дифференциальной геометрии. Разработчиками программы созданы специальные программные модули **unitnormal**, **metric**, **shape** для вычисления первой и второй квадратичных форм поверхности. Модули **gcurv** и **mcurv** используют для вычисления кривизн, модуль **christoffel2** позволяет вычислить символы Кристоффеля.

Применение программы позволило получить графическое представление о пучке геодезических линий, проходящих через заданную точку поверхности (Рис.1–6).

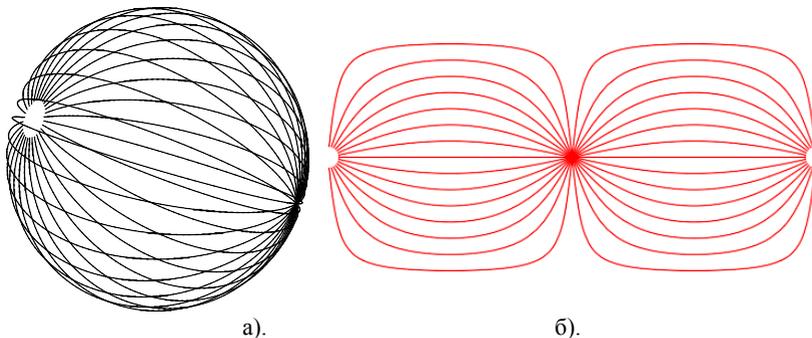


Рис.1. а) пучок геодезических на сфере; б) пучок на плоскости

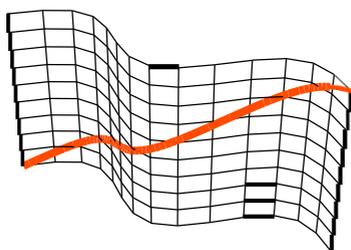


Рис. 2. Геодезическая на параболическом цилиндре

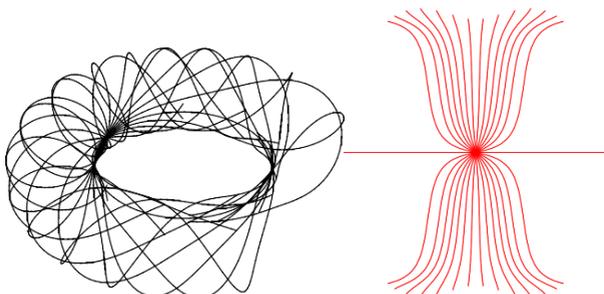


Рис. 3. а). пучок геодезических на торе; б). пучок на плоскости

Самая простая координатная сеть на плоскости — декартова, она состоит из двух ортогональных семейств геодезических (прямых). Самые простые координаты на сфере — географические, широта и долгота. Соответствующая координатная сеть состоит из семейства геодезических — меридианов и семейства ортогональных к ним линий — параллелей. По аналогии ортогональную сеть на произвольной поверхности  $V$ , одно семейство линий которой состоит из геодезических линий, называют **полугеодезической** сетью. Таким образом, декартова и полярная сети на плоскости, географическая сеть на сфере являются полугеодезическими сетями. Применение программы Wolfram Mathematica 12.1, позволяет построить полугеодезическую сеть в окрестности регулярной точки на любой гладкой поверхности и представить её наглядно.

## **Применение компьютерных технологий при преподавании математики студентам строительных специальностей**

А.В. Капуто

Белорусский государственный университет

Е.А. Крушевский, А.А. Кузнецова

Белорусский национальный технический университет

Стремительно развивающиеся запросы современного рынка труда требуют от молодого специалиста строительного профиля не формального наличия соответствующего диплома с перечнем освоенных на бумаге дисциплин, а владение определенным объемом знаний по изученным предметам и умение применить их на практике. В частности, тесное знакомство с программным обеспечением (ПО) и знание соответствующих специализированных пакетов программ уже не обсуждается при приеме на работу как некое дополнительное достоинство кандидата, а рассматривается как элемент обязательных базовых параметров. На самом деле, персональный компьютер и гаджеты прочно вошли в повседневную жизнь, информационное пространство стало доступным, в чем-то даже излишне доступным, поэтому назрела необходимость внесения определенных корректировок в образовательный процесс.

Главные цели изменений в организации обучения на наш взгляд таковы: 1) правильно сориентировать начинающего студента в потоке информации, сформировать рациональный подход, как к подбору, так и к изучению материала, 2) привить навыки и выработать умения грамотного использования достижений информационных технологий для решения задач (сначала академических, а затем и практических). И первой из учебных дисциплин, которая должна изменить классические подходы к обучению студентов строительного профиля, а если смотреть масштабнее – всех инженерно-технологических специальностей, становится математика. Именно математические знания являются базой для изучения технических дисциплин, поэтому к уровню математической подготовки обучающихся и предъявляются высокие требования.

Затронув вопрос доступности информации, нельзя не упомянуть ставшую крылатой известную фразу Н. Ротшильда «Кто владеет информацией, тот владеет миром». Вырванная из контекста, она формирует у студента убежденность, что знания и умения можно получить, введя в поисковике браузера нужный запрос, а воспроизведение найденной информации уже есть гарантия как, в первую очередь, хорошей отметки, так и использования

ее в дальнейшем в случае необходимости. Такой подход к получению знаний, да и отчасти к образованию в целом, вырабатывается не за день или месяц, это результат многолетних нововведений и оптимизаций учебного процесса, сначала в средней школе, а затем и в высшей. Абсолютизация тестирования, как формы итогового контроля, привела в математике к отсутствию у большинства выпускников школ логического мышления, умения грамотного и последовательного изложения материала, навыков решения задач с формулировкой, которая несколько отличается от школьного учебника или сборника для подготовки к тестированию. Поэтому первоочередной задачей преподавателя математики в техническом университете становится вовлечение студента в осознанный им процесс продуктивного обучения.

Адаптация первокурсника в систему высшей школы не только проходит на глазах у математика-педагога, но отчасти им и определяется. Органичность и скорость адаптации напрямую зависят от грамотной организации как учебного процесса в аудитории, так и самостоятельной работы студента. Не стоит также упускать из виду и уровень знаний, полученных в школе. Кроме того, важным фактором мотивации к обучению является профессиональная ориентация вчерашнего абитуриента. В этом направлении можно выделить три основные группы [1, с. 37]: студенты, ориентированные на образование, как на профессию; студенты, ориентированные на образование как на одну из ступеней к занятию бизнесом; «неопределившиеся» студенты, которые сделали свой выбор исходя из проблем личного, бытового плана. Подчеркнем, что в последние годы процент случайных людей в студенческой аудитории увеличивается, что обусловлено желанием попасть на бюджетное место, иногда даже не представляя сферу будущей профессиональной деятельности. Абитуриент, готовый обучаться на любой из специальностей строительного, энергетического, радиотехнического профиля, не редкость в последний день приема документов.

Таким образом, на данном этапе актуальной становится именно задача вовлечения студентов в процесс продуктивного обучения. Отметим, что наиболее сложным для первокурсника является восприятие значительного объема теоретического материала. Студенты воспринимают лекционный материал и задачи на практических занятиях не как единое целое, некоторые даже с удивлением воспринимают то, что отдельные примеры на лекции сходны с предложенными для решения на практике. Кроме того, «отсутствие навыков чтения как изучения и осмысления содержания текстового источника – практически повсеместная беда выпускников школы. Первокурсники знают буквы, но не умеют анализировать даже трехстрочные объемы текста. Они, как правило, ждут пояснений от преподавателя и

руководства к действию» [2]. Отдельное внимание следует уделить практическим занятиям. Первокурсников приводит в замешательство отсутствие привычных схем проведения урока, а именно, каждое практическое занятие – новые типы задач и методов решения. Причем, следует отметить, что со времен школы критериями оценки для обучающегося является либо (часто субъективная) оценка учителя (преподавателя), либо сравнение полученного в задаче ответа с ответами, опубликованными в самом задачнике. Понятно, что ни тот, ни другой вариант интереса к обучению не добавляет, а скорее наоборот. И вот тут на помощь может придти компьютер или даже гаджет в виде планшета или обычного мобильного смарт-фона. Чуть выше мы писали, что знания нельзя получить только путем поиска нужной информации в интернете. Однако, совмещение изучения математики традиционными методами (лекция, конспект, практическое занятие, задачник, индивидуальные задания, проверка тетради преподавателем, оценка), с компьютерными возможностями возводит процесс обучения математике на совершенно новый уровень.

Именно смещение акцента при преподавании дисциплины математика на современные методы прикладной, вычислительной математики на основе компьютерных технологий позволяет сделать это.

Один из таких примеров – пакет «WolframMathematica». Возможно-сти системы огромны: решение уравнений, неравенств, нахождение пределов, интегрирование и дифференцирование функций, решение дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных, численные расчеты (решение систем дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных и т.д.); линейная алгебра (операции с матрицами, поиск собственных значений и собственных векторов); кроме того, она обладает и большим графическим потенциалом. Рассмотрим простейший пример применения: вычисление определителей. При свободном доступе к ПО преподавателю достаточно отработать в аудитории вычисление определителей второго и третьего порядка, затем – показать, как вычислять в приложении определители как второго-третьего, так и более высоких порядков. Более того, можно предложить студентам заняться самопроверкой. А именно, сначала решать задачу стандартными методами (по конспекту), а после получения ответа – проверить его, например, на смартфоне на сайте [www.wolframalpha.com](http://www.wolframalpha.com). Доступ к вычислительным ресурсам на данном сайте для учебных целей дается бесплатно, необходим только доступ в интернет. Понятное дело, что разные математические задачи требуют обращения к различным встроенным функциям языка wolfram alpha, причем на английском языке. На самом деле это даже способствует изучению английского языка студентами, а в случае непонимания на помощь приходит Гугл переводчик для поиска со-

ответствия между русскими и английскими названиями тех или иных математических операций. На помощь также могут придти специально написанные пособия ([3–4]), в которых стандартные математические задачи решаются с помощью компьютерной математики.

Вместе с тем есть одна достаточно сложная, но вполне решаемая проблема: после исключения из учебных планов дисциплины лабораторных работ занятия по математике не проводятся в компьютерных классах, да и часы уже минимизированы до предела. Решение можно предложить следующее: связать учебные программы по математике и информатике в единый интегрированный учебный модуль. Ведь не секрет, что большая часть программы по информатике для строительных специальностей повторяет студентам то, что часть из них освоила еще в общеобразовательной школе.

На наш взгляд, математическую подготовку в технических университетах следует развивать по следующим направлениям: 1) определение базового универсального «минимума», обязательного для включения во все учебные программы, и на основе этого унификация учебных программ; 2) вариация вузовского компонента для подготовки будущих инженеров с учетом их специализаций; 3) внедрение независимой оценки качества усвоения материала в систему контроля образовательного процесса; 4) смещение акцентов обучения на качественный анализ результата решения на основе быстрой визуализации полученных результатов при помощи компьютерных систем; 5) внедрение на основе компетентностного подхода [5] в процесс обучения дополнительных спец-курсов, имеющих приложения к решению прикладных задач по специальности.

### **Литература**

1. Дьяченко М.И. Психология высшей школы. – Мн.: Тесей, 2003. – 352 с.
2. Ларионова О.Г. Консерватизм и современность в образовании / Проблемы социально-экономического развития Сибири. Психология, педагогика, философия. БрГУ. 2010, № 1. С. 88–91.
3. Крушевский Е.А. Практикум по математике: пособие по курсу «Математика. 1-й семестр» для студентов-заочников специальности 1-56 02 01 «Геодезия» / Е.А. Крушевский, А.А. Кузнецова. – Минск : БНТУ, 2020. – 56 с.
4. Крушевский Е.А. Практикум по математике: пособие по курсу «Математика. 2-й семестр» для студентов-заочников специальности 1-56 02 01 «Геодезия» / Е.А.Крушевский, А.В. Капусто, А.А. Кузнецова. – Минск : БНТУ, 2020. 33 с.

5. Капусто А.В. Компетентностный подход в процессе обучения математике студентов строительных специальностей / А.В. Капусто, А.А. Кузнецова. Вестник Полоцкого государственного университета. Серия Е. Педагогические науки. № 7, 2015. С. 39 – 46.

УДК 519:85

### **Методические особенности реализации прикладной направленности курса математики при подготовке будущих инженеров-строителей**

Капусто<sup>1</sup> А.В., Крушевский<sup>2</sup> Е.А., Кузнецова<sup>2</sup> А.А.

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

*Представлены требования современного рынка труда к выпускникам. Обосновано использование компетентностного подхода в обучении как результативного средства построения образовательной среды. Показана прикладная направленность курса математики. Приведено понятие прикладной задачи и сформулированы требования к задачам данного плана. Перечислены результаты целенаправленного и системного использования прикладных задач в обучении математике.*

Современный рынок труда предъявляет все более растущие требования к специалистам разных направлений и сфер деятельности. Работодатель при приеме на работу оценивает не только имеющиеся знания, умения и навыки соискателя, но и его потенциальные возможности в дальнейшем обучении, профессиональном совершенствовании и развитии. Чтобы получить место в престижной компании сейчас уже недостаточно только наличие диплома, будущему работнику придется пройти собеседование, потом возможен еще и испытательный срок. Конкуренция на рынке труда становится все более явной. И если у тех, кто решил сменить место работы, уже есть стаж, профессиональный опыт, сформировано представление о потенциальных направлениях реализации своих способностей и умений, то у вчерашних студентов, зачастую, имеется только самое общее соображение о своей предстоящей трудовой деятельности. Не являются исключением здесь и выпускники строительных специальностей. Несмотря на то, что для инженеров строительных специальностей практически всегда есть вакансии, следует отметить и высокие требования работодателей к соискателям. В связи

с этим возрастает ответственность учебного заведения за подготовку конкурентоспособного специалиста, отвечающего запросам потребностей строительной отрасли. В свою очередь это требует определенных изменений основных функций системы образования в целом, а также корректировки задач дисциплин, предусмотренных учебными планами специальностей.

На наш взгляд, одним из наиболее результативных направлений построения образовательной среды для овладения студентами как системными, так и специальными знаниями и умениями при достаточном внимании на формирование социально-личностных качеств выступает компетентностный подход. «Основная концепция компетентностного подхода – смещение акцентов с совокупности знаний на способности выполнять определенные функции, используя знания. А это ведет к изменению конечной цели образования выпускника – с объема усвоенных знаний на сформированные компетенции. Компетентность стала пониматься как характеристика успешности обучения, а компетенции – как цели учебного процесса» [1].

Остановимся на реализации компетентностного подхода в математическом обучении студентов строительных специальностей. Математика как учебная дисциплина является обязательным компонентом цикла естественнонаучных дисциплин учебного плана для всех строительных специальностей. «Анализ имеющихся подходов к определению компетенции и компетентности позволяет нам рассматривать данные понятия в разрезе математической подготовки будущих инженеров-строителей следующим образом: «компетенция» – совокупность математических знаний, умений и навыков, необходимых для решения как чисто теоретических, так и задач прикладного содержания; «компетентность» – способность использовать математические знания и умения в комплексе с приобретенными знаниями и умениями по другим дисциплинам в профессиональной сфере деятельности» [2].

Содержание дисциплины, умения и навыки выпускников определяются образовательными стандартами. Для каждой специальности базовый минимум дисциплины «Математика» представлен перечнем определенных разделов математической науки, а компетенции предполагают знания понятий и методов, изучаемых в указанных разделах, и умения по решению соответствующих задач. Вместе с тем большая часть общепрофессиональных и специальных дисциплин основывается на использовании теоретико-прикладных знаний высшей математики и применении математического аппарата при их изучении. Например, в таких специальных основополагающих для строительных специальностей дисциплинах, как «Строительная механика» и «Строительное материаловедение», «используются следующие разделы и темы математики: «Элементы линейной алгебры» (решение систем линейных уравнений методом Гаусса, матрицы и операции над ними); «Элементы

аналитической геометрии» (системы координат, кривые и поверхности второго порядка, квадратичные формы); «Введение в математический анализ» (функции, виды функций); «Интерполяция» (интерполяционные полиномы Лагранжа и Ньютона); «Интегральное исчисление функций одной переменной» (приближенные методы вычисления определенных интегралов); «Аппроксимация функций» (метод наименьших квадратов); «Дифференциальные уравнения и системы» (методы решения дифференциальных уравнений); «Ряды» (разложение функций в ряд Фурье)» [2]. Качественное и осознанное использование студентами математических знаний при изучении других дисциплин возможно только при достаточном уровне их подготовки, который и необходимо обеспечить при обучении математике.

Исходя из данной задачи, «целью математического образования является получение математических знаний и выработка умения применять эти знания либо в решении прикладных задач, либо в строительстве и перестройке самого постоянно развивающегося здания математики. Поскольку научить рецептам решения всех задач, встречающихся специалисту в его работе, невозможно, то важно выработать культуру мышления, умение творчески подходить к решению возникающих задач. Таким образом, имеется тенденция усиления прикладной направленности курса математики и одновременно повышения уровня фундаментальной математической подготовки» [3].

Таким образом, использование прикладных задач в процессе обучения математике обусловлено потребностью системы образования настоящего времени. Отметим также, что понятие «прикладной задачи» при изучении математики будем трактовать по определению Столяра А.А. «Когда в какой-нибудь области науки (не математики), техники или практической деятельности возникает задача, она не является математической по своему содержанию. Это задача физическая, биологическая, химическая, техническая и т. д. Когда же хотят такую задачу решать математическими средствами, ее называют прикладной (по отношению к математике)» [4]. Другими словами, к прикладным задачам можно отнести задачи, которые поставлены вне математики, но требуют использование математического аппарата при решении.

При постановке прикладных задач, используемых на лекциях и практических занятиях, следует придерживаться определенных требований:

- задача должна соответствовать реальной теоретической проблеме или практической ситуации;
- постановка задачи должна быть выполнена в соответствии с терминологией области ее возникновения;
- задача должна соответствовать возможностям применения уже изученного математического материала;

- решение задачи должно способствовать усвоению математических знаний, выработке навыков использования математических методов;
- содержание задачи и ее решение должны демонстрировать связь математики с общепрофессиональными или специальными дисциплинами;
- в процессе решения задачи необходимо придерживаться как формы представления ответа, так и точности вычислений, принятых для инженерных дисциплин;
- обязательный анализ полученного результата на соответствие исходным данным задачи.

В учебных пособиях по математике имеется определенный набор прикладных задач для студентов инженерного профиля, в том числе и строительного направления. Заметим, что разработка и постановка прикладных задач, имеющих прямое отношение к специальности будущего инженера, является задачей достаточно сложной. Для формулировки такой задачи требуется глубокое знание специфики специальности, поэтому достаточно результативным является изучение спецдисциплин и сотрудничество с выпускающими кафедрами. Следует подчеркнуть, что прикладная задача, соответствующая профессиональной ситуации по специализации обучаемого, выходит на качественно новый уровень: профессионально ориентированная прикладная задача.

Продемонстрируем прикладной задачи и ее модификации в профессионально ориентированную прикладную задачу на классической модели Лотки-Вольтерра взаимодействия двух популяций. Представляемая модель описывается системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} x' = (a - by)x, \\ y' = (-c + dx)y, \end{cases}$$

где  $x$  – численность популяции жертв,

$y$  – численность популяции хищников,

$a$  – скорость размножения жертв,

$b$  – вероятность того, что при встрече с хищником жертва будет съедена,

$c$  – скорость смертности хищников при отсутствии жертв,

$d$  – коэффициент прироста хищников за счет поедания жертв;  $a > 0$ ,

$b > 0$ ,  $c > 0$ ,  $d > 0$ .

Заметим, что первоначальная модель этой задачи, предложенная американским ученым А.Дж. Лотка, описывала кинетику химических цепных реакций. Впоследствии появились, как дополнения и модификации модели,

описывающие взаимодействие двух популяций с учетом внутривидовой конкуренции; закон конкурентного исключения.

Модификации модели имеют приложения в различных сферах деятельности человека, в частности: математическая модель взаимодействия окружающей среды с загрязняющей средой, математическая модель очистки сточных вод [5]. Данная модификация модели отки-Вольтерра представляет собой профессионально ориентированную прикладную задачу для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана природных ресурсов».

Математическая модель процесса очистки сточных вод основывается на следующих положениях. Процесс биохимического окисления загрязнителя трактуется как «поедание» его микроорганизмами активного ила, при этом загрязнитель рассматривается как «жертва», а биологически активный ил как «хищник». Предполагается, что источник загрязнения носит постоянный характер. Кроме того, активный ил способен перерабатывать загрязнение до определенного предела. Изменение концентрации активного ила в чистой воде убывает по экспоненциальному закону. Тогда динамика системы биологической очистки сточных вод может быть описана системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} x' = a - bf(x) - cg(x, y), \\ y' = -dy + eh(x, y), \end{cases}$$

где  $x$  – концентрация загрязнения воды,

$y$  – плотность биомассы активного ила,

$a$  – мощность источника загрязнения,

$b$  – постоянная, характеризующая скорость очистки,

$d$  – постоянная, характеризующая скорость убывания массы активного ила в чистой воде;  $c$  и  $e$  – коэффициенты пропорциональности,  $a > 0$ ,  $b > 0$ ,  $c > 0$ ,  $d > 0$ ,  $e > 0$ ;  $f(x)$  – функция диссипации, характеризующая естественный распад загрязнения;  $g(x, y)$  и  $h(x, y)$  – трофические функции, характеризующие процесс очистки загрязнителя биологически активным илом.

Кроме того, модель Лотки-Вольтерра является эффективным методологическим средством при изложении студентам основ качественной теории дифференциальных уравнений [6,7]. Введение общих понятий: фазовой плоскости, фазовых кривых, особых точек и их типов, а также порядка определения и анализа состояний равновесия для динамических систем первого порядка из двух дифференциальных уравнений, наглядно иллюстрируется

примером модели Лотки–Вольтерра. Точку равновесия системы сначала можно определить для общего вида системы дифференциальных уравнений, а затем – для конкретных наборов параметров. Привлечение программного обеспечения (в данном случае можно ограничиться Microsoft Excel) позволяет не только получить графическое представление кривых  $x(t)$  и  $y(t)$ , но и построить фазовые траектории, отследить влияние изменения начальных данных и параметров модели на решения исходной задачи.

Результатом целенаправленного и систематического использования прикладных задач в обучении математике студентов инженерных специальностей станет:

- формирование мотивации и развитие познавательного интереса к изучению математики;
- рост эффективности теоретической подготовки студентов;
- приобретение навыков формализации прикладных задач математическими моделями и их решение с привлечением математических средств;
- проведение анализа адекватности результатов решения прикладных задач исходным данным;
- повышение качества математической подготовки будущих инженеров-строителей, как компонент реализации компетентностного подхода в обучении.

### **Литература**

1. Тонкович, И.Н. Компетентностный подход в высшем образовании: содержательно-логический анализ
2. / И.Н. Тонкович // Информационные образовательные технологии. – 2011. – № 3. – С. 33–38.
3. Капусто А.В. Компетентностный подход в процессе обучения математике студентов строительных специальностей / А.В. Капусто, А.А. Кузнецова // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия Е. Педагогические науки. № 7, 2015. – С. 39–46.
4. Ермолаева Е.И., Куимова Е.И. О важности фундаментальной математической подготовки студентов по направлению «Строительство» // Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского. 2011. № 26. – С. 463–467.
5. Столяр, А. А. Педагогика математики: Учебное пособие / А. А. Столяр. – Минск: Высшая школа, 1986. – 414 с.
6. Братусь А.С., Новожилов А.С., Платонов А.П. Динамические системы и модели биологии // М: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 400 с.

7. Вакульчик В.С., Капусто А.В. Методологические аспекты обучения моделированию систем управления в физико-химических, биологических и экологических процессах с применением модели Лотки-Вольтерра и ее модификаций // «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика» (сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции «Современные проблемы анализа динамических систем. Приложения в технике и технологиях»), №8 ч.1 (34-1), ФГБОУ ВО «ВГЛУ», 2017, – С. 74–77.

8. Вакульчик В.С., Капусто А.В., Мателенок А.П. Принцип прикладной направленности математики в процессе обучения на технических специальностях: методические аспекты реализации с привлечением информационных технологий // Вестник ПГУ. Педагогические науки, № 7, 2013, – С. 49–56.



**Секция  
Студенческая**

## **Развитие транспортной инфраструктуры республики Таджикистан в рамках международного сотрудничества**

Исмоилов Зеваршо Муродович, Шокиров Имомали Валиджонович,  
студенты 4-го курса кафедры «Автомобильные дороги»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель – Шохалевич Т.М., старший преподаватель)

Территория Таджикистана с древнейших времен лежала на важных исторических путях Великого Шелкового Пути, соединяющего Восток и Запад. Великий Шелковый Путь играл выдающуюся роль в передаче материальных и культурных ценностей, связывая воедино своеобразные и неповторимые цивилизации Ближнего, Среднего и Дальнего Востока, Центральной Азии. Восстановление и развитие транспортной системы для Республики Таджикистан является основой экономики.

Сегодня ни одно производство не может стабильно развиваться без странственного перемещения сырья, комплектующих, средств труда, готовой продукции и рабочей силы. Развитая транспортная система даёт возможность обеспечивать быстро, удобно и комфортно это перемещение, создавая объективные условия для непрерывного функционирования производства, комплексного и взаимосвязанного развития всех его секторов. Для поощрения экономического сотрудничества между странами Центральной Азии и близлежащими частями Закавказья и Южной Азии в 1997 году разработана международная Программа Центральноазиатского регионального экономического сотрудничества ЦАРЭС преследует цель упрощения и либерализации национальных торговых режимов, сокращения торговых барьеров и присоединения всех экономик ЦАРЭС к Всемирной торговой организации (ВТО). Разработана платформа, на которой все ее члены, присоединившиеся к ВТО, могут поделиться своим опытом с другими членами.

Программа ЦАРЭС объединила шесть многосторонних институтов-партнеров:

- Азиатский банк развития (АБР). АБР выполняет функции Секретариата ЦАРЭС.
- Европейский банк реконструкции и развития (ЕБРР)
- Международный валютный фонд (МВФ)
- Исламский банк развития (IsDB)
- Программа развития ООН (ПРООН)
- Всемирный банк



Рис. 1. Прохожая часть моста

За эти годы с помощью программы ЦАРЭС в секторе транспорта реализовано 107 проектов вдоль 6 транспортных коридоров, построено или реабилитировано 4970 километров автомобильных и 3190 км железных дорог, при этом размер освоенных инвестиций составил 19,6 млрд. долл. В том числе, в Республике Таджикистане построено свыше 2000 километров автодорог; 240 единиц мостов; 214 километров железных дорог; свыше 31 километра автодорожных тоннелей и противолавийных галерей. В целом реализовано 44 проекта на общую сумму 1,4 млрд долл. США.

Одними из крупных и значимых проектов для РТ стали такие транспортные объекты как:

Реабилитация автодороги Душанбе-Кульма-гр. КНР, участок Душанбе-Дангара со строительством тоннеля Хатлон.

Общая протяжённость дороги составляет 136 км. Сложность строительства заключалась в устройстве тоннеля протяжённостью 4,450 км. Стоимость проекта составила 256,3 млн. долларов США. Основным инвестором выступил Эксимбанк КНР предоставив средства в размере – 243,5 млн долл. США.



Рис. 2. Портал тоннеля

Строительство дороги Душанбе- Турсунзода -граница Узбекистан общей протяжностью -57 км. Стоимость строительства составила -131,2 млн. дол. США. Основные средства предоставил Азиатский банк развития АБР- 120 млн. дол. США. Реабилитация автодорог Айни-Панджакент- граница Узбекистана с протяжённостью дороги -112,6 км. Стоимость строительства составила -115,3 млн. дол. США. Из этого вклад АБР- 100 млн. дол. США вклад Фонд ОПЕК – 14 млн. дол. США вклад правительство Республики Таджикистана -1,3 млн. дол. США



Рис. 3. Автомобильная дорога



Рис. 4. Автомобильная дорога и портал тоннеля

Реабилитация автодороги Душанбе-Чанак со строительством тоннеля Шахрисьон. Общая протяжённость дороги составляет 335,9 км. Протяжённость тоннеля составляет 5,253 км. Стоимость проекта обошлось 304,5 млн. долл. США. Из этого вклад Эксимбанка КНР – 289,7 млн долл. США вклад правительство РТ составило – 14,8 млн. США.

Для дальнейшего развития транспортных коридоров в Республике Таджикистан разработаны следующие задачи и направления действий путем:

- формирования и развития транзитных транспортных коридоров и
- обеспечения выхода на морские порты;
- приведения в соответствие с требованиями международных стандартов всех транспортных объектов, включая логистические центры с целью увеличения объемов перевозки грузов и пассажиров;
- строительства приграничных терминалов по современным
- международным требованиям;
- приобретения автотранспортных средств для международных перевозок;
- реализации инвестиционных проектов, которые позволят значительно уменьшить зависимость транзитных путей от одной страны и расширение возможностей страны по выходу на морские порты.

Реализация этих проектов предполагает активные внешние усилия Таджикистана по работе с торговыми партнерами в Центральной Азии и других соседних стран:

Создания не менее 4 приграничных транспортно-логистических центров (Нижний Пяндж, Турсунзаде, Худжанд и Хорог);

Строительства и реконструкции автодорог и мостов в соответствии с требованиями международных стандартов.

Проект помог повысить экономический уровень населения за счет снижения стоимости автомобильных перевозок и улучшение доступа к рынкам, и дал возможность расширить региональную торговлю и сотрудничество

путем реабилитации дороги, связывающей Республику Таджикистан с Китайской Народной Республикой. Реализация проекта повлекла за собой расширение торговли в Центральной Азии и увеличения экономического роста в Душанбе и Раштской долине. Он также внес вклад в создание и совершенствование устойчивых национальных и региональных дорожных сетей.

Реализация проекта позволила сократить транспортные расходы и будет в дальнейшем способствовать развитию региональной торговли и активному сотрудничеству между КНР, Таджикистаном и другими странами членами ЦАРЭС посредством улучшения состояния участков регионального дорожного коридора между Таджикистаном и другими странами ЦАРЭС.

### **Литература**

1. Развитие дорожного строительства и транспорта в Таджикистане в годы независимости (1991-2016 гг.), Гафурова Г.А., Худжанд, 2019 г.

2. Развитие транспортной инфраструктуры в регионах республики Таджикистан: анализ и оценка состояния. Часть I, Бобоев К.О.

УДК 625.7

## **Автомобильные дороги Китая**

Тан Дунян

Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель – Мытько Л.Р., ктн, доцент)

В Китае в 1949 году автомобильные дороги находились в крайне низком эксплуатационном состоянии. Общая протяженность пригодных для движения транспорта автомобильных дорог всей страны составляла всего 80,7 тыс. км, плотность дорог составляла всего 0,8 км/100 км<sup>2</sup>. На начальном этапе создания КНР автомобильные дороги получили значительное развитие. В 1952 году протяженность автомобильных дорог составила 126,7 тыс. км. В конце 50-х годов, исходя из нужд экономического развития и освоения приграничных районов, в Китае началось масштабное строительство автомобильных дорог в приграничные и горные районы страны. В этот период были построены трассы Сычуань - Тибет, Цинхай – Тибет. В юго-восточных, прибрежных, северо-восточных и юго-западных районах страны были построены дороги для использования в оборонных целях. Протяженность дорог к 1959 году резко возросла и составила более 500 тыс. километров.

В 60-х годах заметно возросла протяженность дорог, имеющих дорожное покрытие. В середине 70-х годов в Китае началась техническое переоснащение трассы Цинхай - Тибет, которое было полностью завершено в 80-х годах. Была построена автомобильная дорога с асфальтобетонным покрытием на самой большой высоте над уровнем моря в мире. Вместе с развитием строительства автомобильных дорог, получило развитие и строительство автомобильных мостов. Была построена целая группа мостов, обладающих китайской спецификой: каменных арочных мостов, арочных мостов с двойным изгибом, железобетонных арочных мостов, а также разнообразных бетонных и балочных мостов с предварительным напряжением. За период с 1949 по 1978 годы протяженность автомобильных дорог страны продолжала расти стабильными темпами и к концу 1978 года составила 890 тыс. км, что в среднем составило увеличение протяженности дорог на 30 тыс. км в год. Плотность автомобильных дорог Китая достигла 9,3 км/100 км<sup>2</sup>.

В дальнейшем экономика страны продолжала развиваться с высокой скоростью, что сопровождалось небывалым ростом потребности в автомобильных перевозках. В этот период в строительстве автомобильных дорог произошел исторический перелом: строительство дорог начало активно поддерживаться как центральным правительством, так и местными властями на всех его уровнях. Как говорилось тогда, «если мы хотим разбогатеть, нужно сначала строить дороги». Постепенно важность строительства автомобильных дорог стала общепризнанным фактом во всем обществе. На базе единого планирования, началось строительство дорожной инфраструктуры во всей стране.

В начале 80-х годов был принят и начал осуществляться план строительства сети государственных магистралей и системы национальных скоростных автомагистралей. Наряду с расширением масштабов строительства автомобильных дорог, первоочередной задачей стало повышение уровня качества выполнения работ. Быстрое развитие скоростных автомагистралей и прочих автомобильных дорог высокого класса коренным образом изменило некогда отсталую отрасль дорожного строительства. Финансовые средства на дорожное строительство были найдены с принятием Госсоветом в 1984 году решения о повышении размера сборов за обслуживание дорог, начале сбора дополнительных пошлин при покупке машины и разрешении введения сбора за проезд по шоссе высокого класса для возвращения кредита. Начиная с 1985 года, соответствующие законодательные акты обеспечили стабильный источник финансирования для дорожного строительства. К 1999 году общая протяженность автомобильных дорог страны составила 1 млн. 350 тыс. км, плотность дорог достигла 14,1 км/100 км<sup>2</sup>, что в 1,5 раза больше по сравнению с показателями 1978 года. Значительно улучшилось

состояние автомобильных дорог, соединяющих основные города. Быстрыми темпами росла протяженность и качество уездных и сельских автомобильных дорог. В некоторых провинциях все автомобильные дороги имели асфальтные покрытия. Были построены автомобильные дороги между 100 % уездов, 98 % деревень и 89 % административных деревень.

Особого внимания заслуживает строительство скоростных автострад. В 1988 году была сдана в эксплуатацию первая скоростная автострада Китая Шанхай - Цзядин (протяженностью 18,5 км). Затем одна за другой построены скоростная автострада Шэньян- Далянь общей протяженностью 375 км и скоростная автострада Пекин – Тяньцзинь - Тангу общей протяженностью 143 км. К концу 1999 года, общая протяженность сданных в эксплуатацию скоростных автострад Китая уже достигла 11605 км. За 10 лет в строительстве скоростных автострад в Китае были достигнуты такие результаты, на которые у развитых стран уходило до 40 лет.

К концу 2008 года, общая протяженность автомобильных дорог в Китае достигла уже 3 730 тыс. км, в том числе протяженность скоростных автострад составила 60 300 км, шоссе первого класса – 54 200 км, шоссе второго класса – 285 200 км. Скоростные автомобильные дороги составляют около 11 % из общей протяженности всех дорог. Плотность дорог увеличилась с 0,8 км/100 км<sup>2</sup> в 1949 году до 39 км/100 км<sup>2</sup>, что составляет увеличение в 46 раз по сравнению с 1949 годом. Общая протяженность сельских автомобильных дорог в стране составила 3 125 тыс. км, что в 4 раза больше показателей 1978 года.

Строительство скоростных автострад и прочих автомобильных дорог высокого класса повысило технический класс дорожного строительства в Китае, позволило уйти от отсталого состояния в отрасли дорожного строительства, и вместе с этим значительно сократило разрыв между Китаем и развитыми странами.

## Технология устройства асфальтоцементобетонных дорожных покрытий

Самец Ольга Владимировна

Студент 5-го курса кафедры «Автомобильные дороги»

Белорусский национальный технический университет

(Научный руководитель – Ходан Е.П., старший преподаватель)

*Использование надежных покрытий позволяет создавать дорожные конструкции, обладающие повышенными эксплуатационными качествами. Отличным примером выступает асфальтоцементобетон, который представляет собой композитный строительный материал, в основе которого положено применение дренирующего уплотняемого асфальтобетона, дополненного цементной смесью.*

*В статье рассмотрена технология устройства асфальтоцементобетонных покрытий, а также актуальность и перспективы применения асфальтоцементобетона в дорожном строительстве.*

Асфальтоцементобетон (АЦБ) – это комплексный строительный материал, совмещающий в себе свойства асфальтобетона и цементобетона. Основой данного материала является высокопористый дренирующий асфальтобетон, выполняющий роль каркаса (по своему гранулометрическому составу асфальтобетонная смесь в составе асфальтоцементобетона больше похожа на черный щебень), пустоты заполняет высокопрочный цементный раствор — наполнитель.



Рис. 1. Асфальтоцементобетон (вид готового покрытия)

В отличие от некоторых других композитных дорожно-строительных материалов (сероасфальтобетона, резино- или стеклоасфальтобетона и пр.), получаемых в процессе укладки и уплотнения соответствующей смеси (серо-, резино- или стеклоасфальтобетонной), асфальтоцементобетон не может быть получен аналогичным путем, в виду того, что сочетает в себе два материала с кардинально отличающимися условиями не только приготовления, но и укладки.

Так, в процессе производства асфальтобетонной смеси и на этапе ее укладки, обязательным условием является поддержание высокой температуры смеси (не ниже 120 °С), в то время как приготовление и укладка цементного раствора выполняется при температуре не выше 30 °С. По этой причине, совмещение горячей асфальтобетонной смеси и цементного раствора в один композитный материал возможно только путем их отдельного приготовления и поочередной укладки непосредственно в процессе устройства покрытия.

Поэтому технология будет состоять из 2 последовательных этапов:

- 1) Укладка и последующие уплотнение асфальтобетонной смеси;
- 2) Нанесение и равномерное распределение по ранее уложенному слою асфальтобетона жидкого цементного раствора.

1 этап (асфальтирование). Перед укладкой асфальтобетонной смеси необходимо подготовить нижележащий слой, произвести подгрунтовку битумной эмульсией.

Асфальтирование происходит традиционно, с применением асфальтоукладчиков. Укладка в труднодоступных местах производится вручную.



Рис. 2. Слои асфальтобетона из смесей специального состава, фрагмент покрытия

Смесь укладывается толщиной 3-10 см. Толщину подбираем из прогнозируемой нагрузки на покрытие. Рекомендуемая толщина 5 см. Укладка

производится при температуре смеси 130–150 °С. Температура воздуха должна быть выше +5 °С.

Для уплотнения используют гладковальцовые статические катки. Остаточная пористость уплотненного слоя должна составлять 25–30 % для оптимального проникновения цементного раствора на всю глубину асфальтобетонного слоя и получения покрытия, устойчивого впоследствии к трещинообразованию.

2 этап (цементирование). Основой этого этапа является приготовление и равномерное нанесение цементного раствора на поверхность уже уложенного асфальтобетонного покрытия. Готовим раствор на месте производства работ. Сухой цементный раствор затворяется водой и перемешивается в смесительной установке.

Для хорошего проникновения в поры цементный раствор должен иметь жидкую консистенцию.

После остывания асфальтобетона до температуры равной 25–30 °С можно приступить к нанесению цементного раствора. При температуре, превышающей этот предел, начнутся процессы приводящие к быстрому испарению воды и как следствию снижению текучести. А из-за этого раствор хуже заполнит поры, а также значительно потеряет в прочности.



Рис. 3. Пропитка асфальтобетона цементным раствором

Температура воздуха должна быть выше +5 °С, но ниже +30 °С (причем при температуре выше 25 °С необходимо использовать солнцезащитные тенты).

После нанесения цементного раствора покрытие обрабатывается изолирующей смесью, которая препятствует быстрому высыханию цементного раствора и снижению его вязкости. В среднем расход цементного раствора 25–26 кг на один метр квадратный.

На рисунке 4 приведен вид готового асфальтоцементобетонного покрытия.



Рис. 4. Вид готового асфальтоцементобетонного покрытия

Последовательная технология выполнения работ представлена на рисунке 5.

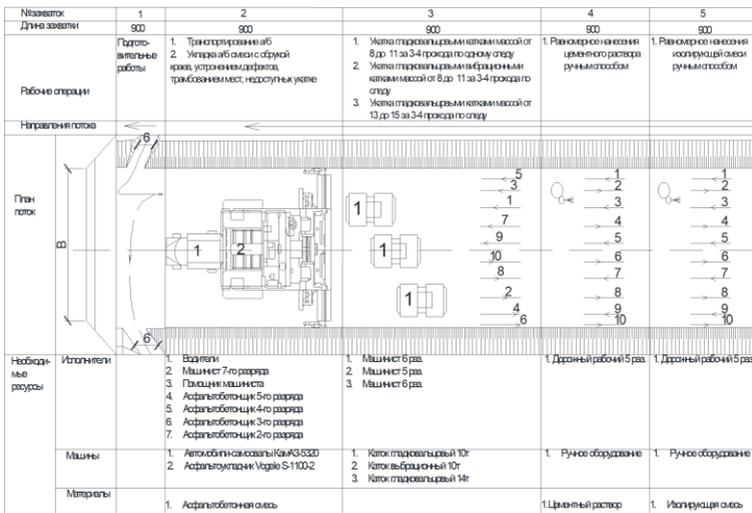


Рис. 5. Технологическая схема производства работ по устройству асфальтоцементобетонных покрытий

Применение асфальтоцементобетона становится актуальным и целесообразным в тех случаях, когда традиционный асфальтобетонный материал не справляется с повышенными нагрузками, а устройство покрытия из цементобетона является слишком трудоемким и дорогостоящим. Таким образом, устройство покрытий из асфальтоцементобетона может являться хоро-

шей альтернативой традиционному асфальтированию по прочности и долговечности покрытия, а дорожному цементобетону — по цене и трудоемкости работ.

Применение асфальтоцементобетонного материала позволяет существенно увеличить срок службы дорожного покрытия на участках с интенсивным транспортным движением, а также в местах наиболее подверженных воздействию сдвиговых нагрузок — перекрестки, пункты оплаты на платных участках дороги, остановки общественного транспорта, автостоянки, парковочные площадки, железнодорожные переезды, площадки АЗС. На асфальтоцементобетонных покрытиях практически полностью исключено образование колеи вследствие накопления пластических деформаций и напряжений (небольшая колеиность может возникать только в результате естественного долговременного износа покрытия по полосам наката).

#### **Литература:**

1. Семец, О. В. Исследования асфальтоцементобетона и сравнение его свойств с широко используемыми материалами / О. В. Семец ; науч. рук. Е. П. Ходан // Автомобильные дороги : материалы 76-й студенческой научно-технической конференции [Электронный ресурс] / редкол.: С. И. Зиневич (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2020. – С. 17–20
2. Применение асфальтоцементобетона [Электронный ресурс] –Архитектурно строительный портал ais.by – Режим доступа: <https://ais.by> – Дата доступа: 26.10.2020.
3. Покрытие для автомобильных дорог с использованием асфальтоцементного композиционного материала (АЦМ) [Электронный ресурс] -Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ»: Режим доступа: <http://www.beldornii.by> – Дата доступа:26.10.2020.
4. Общие сведения об асфальтоцементобетоне [Электронный ресурс] – ЮнидорСтрой – Режим доступа: <http://www.unidorstroy.kiev.ua> – Дата доступа: 26.10.2020.

## Фронтальные удерживающие устройства

Косухин В.

Студент 6-го курса кафедры «Автомобильные дороги»  
Белорусский национальный технический университет  
(Научный руководитель – Шишко Н.И., старший преподаватель)

*Безопасность автомобильных дорог многогранный критерий, влияние на который оказывают различные факторы и совокупность взаимосвязанных параметров. На наиболее аварийно-опасных участках предусматриваются дополнительные меры по повышению безопасности дорожного движения.*

К числу мер, повышающих безопасность дорожного движения на отдельных участках автомобильных дорог и транспортных объектов, относятся применение технических средств организации дорожного движения различного назначения, а также своевременное предупреждение участников дорожного движения об аварийно-опасных участках.

Среди ТСОДД, которые не только косвенно, но и фактически участвуют в повышении безопасности, стоит выделить применение удерживающих и ограждающих устройств различного назначения. В соответствии с принятой классификацией [1] удерживающие устройства или ограждения делятся на несколько типов в зависимости от назначения: транспортные, пешеходные и специальные.

Основное назначение транспортных ограждений — это устранение и минимизация последствий дорожно-транспортного происшествия, связанных с выездом транспортного средства за пределы проезжей части, а также на полосы встречного движения.

В связи с особенностями работы транспортные ограждения подразделяются на два типа: боковые удерживающие системы и фронтальные конструкции. Дорожное удерживающее боковое ограждение – вид ТСОДД, представляющий собой конструкции и устройства, предназначенные для предотвращения съездов транспортных средств за пределы дороги, с мостов, путепроводов и эстакад, наездов на массивные препятствия и столкновений со встречными транспортными средствами, предотвращения наездов на людей. Дорожное фронтальное ограждение – отдельная конструкция или часть конструкции дорожного ограждения, предназначенная для удержания, гашения энергии движения автомобиля при ударе как сбоку, так и в

торец ограждения под углом, близким к  $90^\circ$ , а также перенаправления его движения.

Особое внимание стоит уделить повышению безопасности дорожного движения в местах разветвления транспортных потоков. Местами сосредоточения такого рода конфликтных точек являются транспортные развязки, а именно совмещенные переход-скоростные полосы (рис. 1).



Рис. 1. Места сосредоточения дорожно-транспортных происшествий на транспортных развязках

Однако это далеко не единственные места, где необходима установка фронтальных удерживающих устройств. Они находят широкое применение в местах пунктов взимания платы и таможенного контроля, а также с успехом могут заменять классические конструкции начальных участков.

При торцевом ударе близком к  $90^\circ$  с удерживающим устройством велика вероятность вхождения деталей барьерного ограждения в салон автомобиля (рис. 2), что серьезно увеличит последствия от столкновения, поэтому к конструкциям фронтальных ограждений должны предъявляться особые требования. Дорожное фронтальное ограждение предназначено для снижения уровня последствий при наезде транспортного средства на массивные препятствия и сооружения, путем поглощения и рассеивания энергии торцевого удара за счет комбинации упругих, эластических, упругопластических

деформаций материала и трения при вхождении одних элементов конструкции в другие.



Рис. 2. Тяжесть последствия фронтального удара при ДТП

На сегодняшний день в Республике Беларусь используется несколько типов конструкций фронтальных удерживающих устройств [2]. Довольно распространенная конструкция с ярко желтым цветом, привлекающая внимание водителей и акцентирующая внимание на конфликтной точке разветвления потоков (рис. 3). Однако, данная конструкция представляет собой емкость определенных размеров, заполненная песчаной смесью на половину. Такие конструкции во время аварии и попадании в них автомобиля не амортизируют удар, как фронтальное ограждение, а просто разлетятся на части, поэтому не целесообразно относить такую конструкцию к полноценному фронтальному удерживающему устройству.



Рис. 3. Пластиковая желтая тумба

Относительно недавно на автомобильной дороге МКАД (внешнее кольцо) съезд на ул. Кижеватова и 45 км (съезд к д. Зацень), была установлена полноценная конструкция, которая способна воспринять торцевой удар и сработать как удерживающее устройство (рис. 4).



Рис. 4. Конструкция фронтального барьерного устройства (производство г. Санкт-Петербург, РФ)

Итальянская фирма Industry AMS [3], которая работает в области дорожной безопасности, разработала и запатентовала высокоэффективную систему энергопоглощения, состоящую из специальных металлических пластин в форме сот.

Энергопоглощающие барьерные ограждения SMA (Safety Modular Absorber – «модульный амортизатор безопасности») были сертифицированы в Европе в соответствии с требованиями Стандарта EN1317. Новая энергопоглощающая система также была успешно протестирована в США на соответствие стандарту NCHRP при фронтальном столкновении автомобиля типа «пикап» с установленным антропоморфным (человекообразным) дорожным манекеном, получив высшую оценку безопасности Euro NCAP.

Согласно данным компании AMS, эффективность гарантирует высокопрочная сталь, которая поглощает энергию удара посредством пластической деформации сот (шестигранных ячеек), установленных внутри системы.

На основе такой сотовой системы, поглощающей энергию удара, компания Industry AMS srl разработала серию барьерных ограждений (параллельных, широких и узких), сертифицированную стандартом EN1317 и рассчитанную на скорость классов 50, 80, 100 и 110 км/ч.

Использование сотовой поглощающей структуры создает почти равномерное поглощение энергии во время всего процесса деформирования защитного барьера. Это предотвращает пиковые силы и последующие пиковые значения отрицательного ускорения и перегрузок, которые свойственны системам с прерывистым, быстроменяющимся поглощением энергии.

После стандартного удара, за счет использования высокопрочной стали барьеры могут быть быстро восстановлены – меняются только недорогие сотовые решетки, поглощающие удар. Барьерные ограждения итальянской компании являются самыми короткими и универсальными на рынке. Энергопоглощающие ограждения можно установить там, где раньше это было невозможным, в частности, в тоннелях, на нестандартных участках дорог.

Существует два простых варианта установки ограждений. Ограждения крепятся болтами к гайкам, установленным в бетонное основание. Второй способ – использование стержневых анкеров, закрепляемых в бетоне клеящим составом (химических анкеров). Первый способ не создает дополнительных препятствий на дороге и особенно подходит для выдерживания нескольких последовательных ударов.

Энергопоглощающие барьеры не нуждаются в проведении технического обслуживания, если в них не врезался автомобиль. Кроме того, за счет компактных размеров и класса пожароопасности, их можно устанавливать в тоннелях.

Несмотря на высокую эффективность работы, итальянские барьерные ограждения имеют невысокую стоимость. Процесс производства в большой степени автоматизирован. Кроме того, существенно снижается время на транспортировку и установку барьеров, так как к месту установки на дорогу ограждения привозят уже полностью собранными, и их нужно только укрепить.

Такое секционное фронтальное ограждение [4] имеет следующую конструкцию (рис. 5).

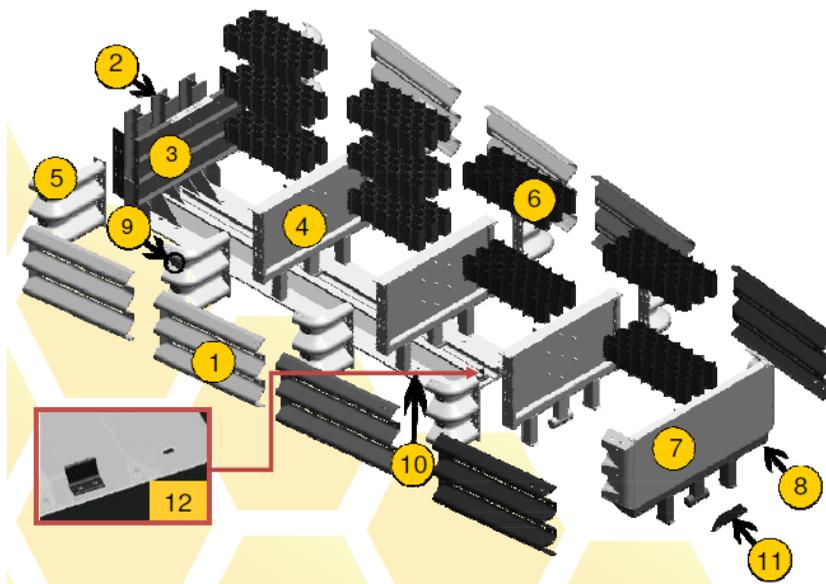


Рис. 5. Фронтальное барьерное ограждение Амортизаторы SMA® Leonidas (Industry AMS, Италия):

1 – боковые телескопические направляющие W-образной формы; 2 – задний бампер и направляющая планка; 3 – концевая опора; 4 – промежуточные кронштейны; 5 – прокладки промежуточных кронштейнов для моделей Wide и Semi-Wide; 6 – модули амортизации с сотами из стали; 7 – передний бампер; 8 – направляющая каретка; 9 – тягово-сдвижные салазки; 10 – основание с отверстиями для крепления к земле; 11 – заглушки рельса; 12 – монтажные кронштейны

Амортизаторы Leonidas оснащены сотовыми модулями поглощения (100 % сталь). Эти модули имеют цветové указатели, соответствующие их типу. В зависимости от установленного амортизатора (в зависимости от необходимой степени удержания) существует особый план нагрузки (сборки) сотовых модулей (рис. 6).

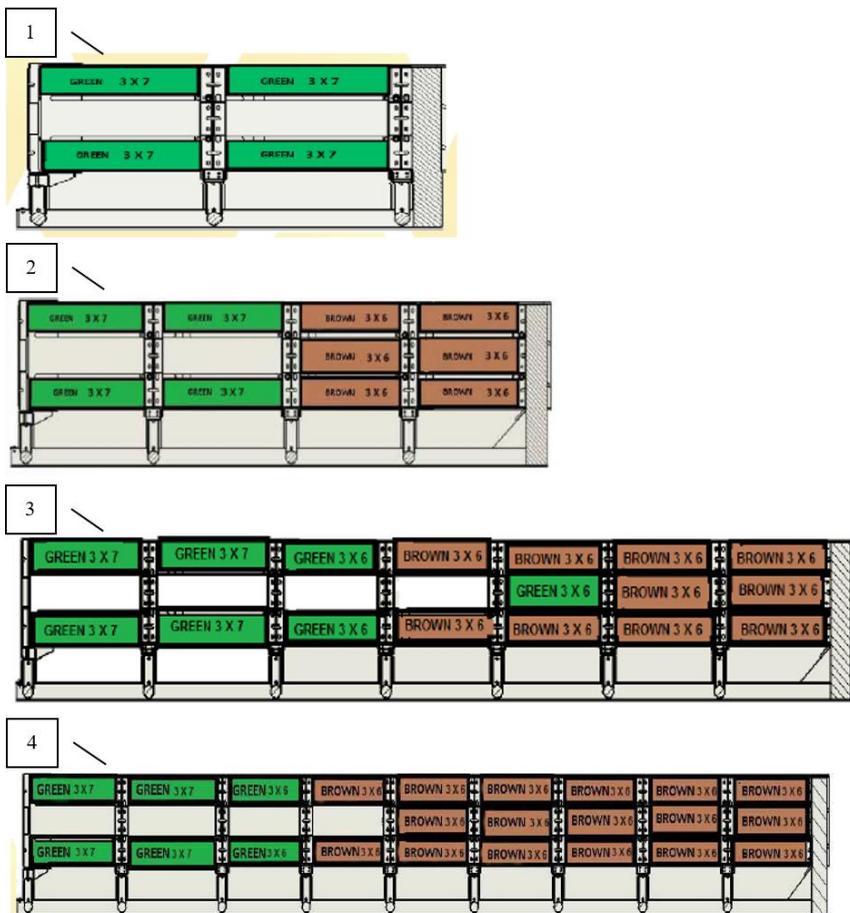


Рис. 6. Конфигурации компоновки амортизаторов SMA®:

- 1 – схема сборки SMA® Leonidas класса 50;
- 2 – схема сборки SMA® Leonidas класса 80;
- 3 – схема сборки SMA® Leonidas класса 100;
- 4 – схема сборки SMA® Leonidas класса 110

Цветовое исполнение отдельных модулей дает возможность сборки полноценной конструкции без ошибок с заданными рабочими характеристиками. Еще одной разновидностью фронтальных амортизаторов от производителя Industry AMS могут быть ударные глушители типа Agies, 80 NR и 80 WZ (рабочие зоны) (рис. 1.7), а также концевые участки барьерных ограждений Ermes, основанные на технологии «аварийных боксов». Эти

«аварийные боксы» соответствуют сжимаемым абсорбционным модулям, которые легко заменяются после удара.

Фронтальные конструкции собираются в заводских условиях, поэтому сборочные операции на местах устройствах не требуются. На месте осуществляются только услуги по установке анкеров и монтажу соединительных деталей, что снижает затраты и время установки.

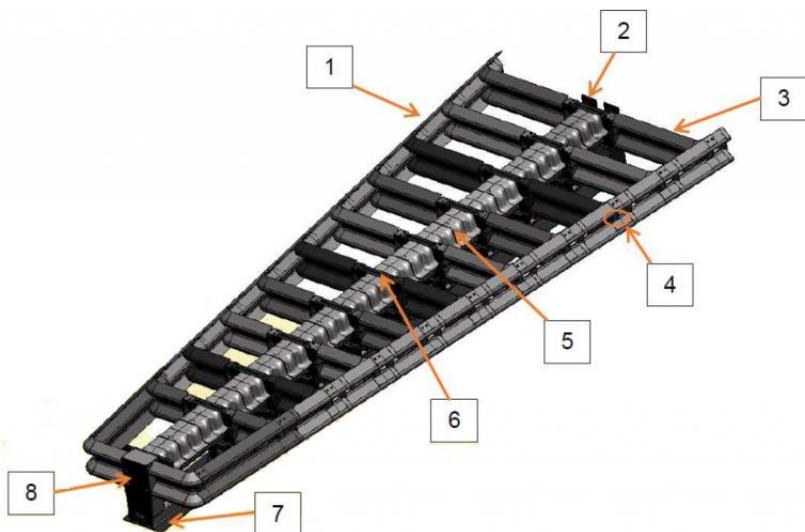


Рис. 7. Ударные глушители типа Agies, 80 NR и 80 WZ SMA® (Industry AMS, Италия):

1 – двухволновые телескопические боковые балки; 2 – концевой стопор, приваренный к направляющей; 3 – боковые распорки промежуточной опоры для моделей "Wide"; 4 – соединительные и скользящие направляющие; 5 – сжимаемые модули амортизации; 6 – промежуточные опоры; 7 – основание с отверстиями для крепления; 8 – передний бампер со скользящей направляющей кареткой

Во время восстановления поврежденного устройства количество и модель абсорбционных модулей должны быть определены в соответствии с экспертизой поврежденного устройства.

Все амортизаторы SMA® (Safety Modular Absorber) успешно прошли испытания на удар, предусмотренные европейским стандартом NF EN 1317-3: 2010, и получили маркировку CE в соответствии с согласованным европейским стандартом NF EN 1317-5: 2007, A2: 2012 / AC: 2012. Эти испытания были проведены испытательными лабораториями AISICO S.r.l. и CSI (Италия).

В зарубежных странах фронтальные ограждения применяются повсеместно и признаны средствами технической безопасности на дорогах в 60 странах мира. Они сокращают количество смертельных аварий с 60 до 12 процентов. По статистике, они принимают на себя примерно 7000 столкновений ежегодно.

### Литература

1. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения: СТБ 1300-2014. – Минск : Государственное предприятие «БелдорНИИ», 2014. – 154 с.

2. На МКАД появились новые ограждения — у нас таких еще не было. Как они защитят водителей при аварии <https://auto.tut.by/news/road/660636.html> – Date of access: 15.10.2020.

3. <https://www.smaroadsafety.com/en/gamma/category/1/leonidas-parallel> – Date of access: 18.10.2020.

4. Atténuateurs de choc SMA® : une technologie novatrice et durable <https://routequip.fr/solutions-services> – Date of access: 18.10.2020.

УДК 69.05 – 82 – 229.384

## Модернизация гидравлического оборудования дорожно-строительных машин

Петкевич В.В.

Белорусский национальный технический университет, г.Минск  
(Научный руководитель – Котлобай А.Я., к.т.н., доцент)

*В статье отражены преимущества применения дозирующих систем, описана значимость технического диагностирования, рассмотрена система диагностирования гидроприводов, а также предложены практические рекомендации для повышения эффективности использования и уровня технической готовности строительно-дорожных машин.*

При создании мобильных дорожно-строительных машин большой единичной мощности, выполняющих за один проход комплекс технологических операций, возможности реализации объединения ряда активных и пассивных рабочих органов в одной мобильной машине ограничиваются технологической совместимостью, габаритами, системой отбора мощности силовой установки на привод оборудования.

Существенным резервом повышения конкурентоспособности гидравлического оборудования дорожно-строительных машин является уменьшение удельного веса механических передач в кинематической цепи привода ходового и рабочего оборудования при создании гидрообъемных многомоторных приводов.

Такая задача может решаться посредством: создания дозирующих систем, работающих в режимах деления – суммирования потока рабочей жидкости насоса стандартной конструктивной схемы; модернизации конструктивной схемы основных типов насосов.

Рациональным является создание дозирующих систем на основе принципиального технического решения, состоящего в дискретной подаче фиксированных объемов рабочей жидкости последовательно по напорным магистралям потребителей [1]. Насос многомоторного привода работает каждый дискретный промежуток времени с контуром одного потребителя, подключаясь далее последовательно к контуру каждого потребителя гидросистемы.

Возможно создание дозирующих систем рабочей жидкости насоса посредством установки в цепи гидрочерпывающей связи насоса с рядом потребителей гидрораспределителя, подключающего насос последовательно в контур каждого потребителя на малое, точно фиксированное время. Такой гидрораспределитель может быть решен как роторный (крановый) с гидравлическим, либо механическим приводом [2].

В роторном гидрораспределителе полость ротора с рабочей жидкостью периодически включается на строго определенное время в напорные магистрали потребителей в очередности, заданной алгоритмом работы дозирующей системы. Время подключения определяется соотношением геометрических параметров каналов ротора и статора.

Дозирующие системы позволяют достигнуть:

- независимость работы контуров потребителей при дискретно синхронном расходе рабочей жидкости по напорным магистралям потребителей;
- возможность изменения числа насосов и контуров потребителей в соответствии с потребностями реализуемого гидропривода;
- возможность регулирования параметров расхода рабочей жидкости по напорным магистралям потребителей данного насоса.

В рамках реализации второго направления в аксиально-поршневом насосе стандартной конструктивной схемы может быть применен опорно-распределительный диск с двумя (и более) группами полукольцевых пазов [3], блок цилиндров с двумя группами поршней, расположенными эквидистантно относительно оси насоса.

Применение многопоточных насосов и дозирующих систем в гидрообъемных трансмиссиях дорожно-строительных машин позволит использовать моноблочные насосные агрегаты, отказаться от применения сложных раздаточных коробок [4].

Одним из наиболее перспективных путей повышения качества и надежности работы гидрообъемных трансмиссий дорожно-строительных машин является их техническое диагностирование.

Внедрение диагностирования в практику эксплуатации дорожно-строительных машин позволяет снизить материальные и трудовые затраты на поддержание надежности машин и обеспечит более высокое качество их технического обслуживания и ремонта.

В Республике Беларусь обязательному диагностированию при проведении периодического технического осмотра подлежит только автомобильный транспорт, а также отработавшие нормативный срок службы грузо-подъемные краны и подъемники.

Существующая в настоящее время в мировой практике номенклатура диагностических приборов позволяет также осуществлять качественную и всестороннюю диагностику ДСМ. Так ОАО «ВНИИ стройдормаш» (Россия) разработало систему диагностирования гидроприводов. В классической комплектации система содержит: средства контроля пригодности гидропривода, гидр тестер с электронным микропроцессорным прибором, ультразвуковой течеискатель, индикатор загрязнения жидкости, технологии диагностирования машин.

Средства контроля пригодности (ГОСТ 26656) встраиваются в гидросистему машины постоянно. Устройства полно поточного отбора рабочей жидкости – трехходовые краны (ПУ) с условным проходом  $D_y = 15...25$  мм, реализующие различные схемы перераспределения гидравлических потоков РЖ, устанавливаются на выходе каждой напорной секции насоса в разрыв резьбовых или фланцевых соединений. Кроме этого в гидросистему устанавливаются переходники с элементами быстроразъемных соединений (БРС). Места установки – контуры гидроприводов, снабженные вторичными предохранительными клапанами, после гидрораспределителя в разрыв резьбовых или фланцевых соединений.

**Гидр тестеры:** универсальный (ГТУ) с под соединительными головками, рукавами высокого давления (РВД) с условным проходом  $D_y = 25$  мм, подсоединяемый к ПУ и БРС на период проведения измерений, или моноблочный (ГТП) в отдельном корпусе. гидр тестеры снабжены датчиками расхода, давления (в ГТП используется манометр избыточного давления), температуры РЖ и частоты вращения маховика дизеля диагностируемой машины, которые подключаются к микропроцессорному или аналоговому прибору ГТП. Универсальный гидр тестер содержит также дополнительный

канал с БРС для подключения РВД с манометром для индивидуальной настройки вторичных предохранительных клапанов без нарушения настройки давления первичного клапана. Нагрузочное устройство гидр-тестера позволяет измерять расход РЖ в диапазоне давлений 0,5 – 40,0 МПа.

Электронный микропроцессорный прибор преобразует сигналы с датчиков расхода, давления, температуры, загрязнения РЖ, частоты вращения; измеряет разницу расходов и КПД; выводит результаты измерений на дисплей; обеспечивает накопление в реальном времени и хранение в течение шести месяцев информации об измеренных параметрах 60 машин для последующего использования или обработки на компьютере.

Ультразвуковой течеискатель используется для локализации и количественной оценки внутренних утечек в гидравлических агрегатах и для определения технического состояния «стучащих» соединений (золотников, форсунок, клапанов, подшипников) по отношению амплитуды огибающей вибросигнала к среднему значению, имеющему термин «пик-фактор».

ОАО «Стройдормаш» также разработан микропроцессорный прибор МП-2002-03. Прибор содержит восемь аналоговых и пять импульсных входов с датчиков расхода, давления, температуры, загрязнения РЖ, частоты вращения и ультразвукового преобразователя внутренних утечек и параметров «стучащих» соединений.

Программное обеспечение прибора позволяет, кроме основных опций, условно разбить каждую диагностируемую машину на 20 узлов с 30 контрольными точками и 5-кратным повторением измерений. Информация о протекающих процессах отображается на ЖК-дисплее с подсветкой, имеющем две строки по 24 символа (русско-английского текста). С помощью прибора можно записать (график) и проанализировать в реальном времени значения любого параметра с датчиков, например, характер изменения давления при срабатывании предохранительного клапана непрямого действия.

Обработка полученных данных проводится автоматически с контролем их достоверности. Результаты обработки данных сводятся в иллюстрированные листы, где напечатаны режимы диагностирования и данные по утечкам в линиях от каждого насоса и давления в клапанах. Дополнительно для наглядного представления с правой стороны напечатаны элементы линии, входящие в данный модуль для логической проработки полученных результатов.

Для кранов и экскаваторов разработаны технологии для ручного диагностирования с маршрутной и диагностической картами и для автоматизированного диагностирования – с помощью компьютера с программным обеспечением. Время полного диагностирования гидропривода на СДМ занимает не более 60 мин.

По оценкам организаций, эксплуатирующих СДМ, внедрение системы диагностирования на основе микропроцессорного прибора на 80 % сокращает трудозатраты поиска неисправностей и настройки гидроприводов машин.

Для повышения эффективности использования и уровня технической готовности СДМ целесообразно создать в областях региональные диагностические центры, оснастив их современным диагностическим оборудованием и приборами.

Для методической помощи организациям, занимающимся эксплуатацией СДМ, во внедрении диагностирования гидр оборудования, целесообразно разработать методические указания по организации диагностирования гидропривода.

### **Литература**

1. Котлобай А.Я., Котлобай А.А., Маров Д.В. О создании гидравлических модульных дозирующих систем приводов машин. Вестник Белорусского национального технического университета, 2005, № 2.
2. Котлобай А.Я., Котлобай А.А. Дозирующие агрегаты трансмиссий технологических машин. Промышленная безопасность, 2006, № 1.
3. Леонович И.И., Котлобай А.Я., Котлобай А.А. Насосные установки многомоторных приводов технологических машин. Вестник Белорусского национального технического университета, 2005, № 6.
4. Котлобай А.А. Модернизация гидрообъемной трансмиссии погрузчика. Наука – образованию, производству, экономике. Материалы Третьей международной научно-технической конференции. В 2 томах. Том 1. Минск 2006.

## **Совершенствование конструкции пресс-контейнера для вторичных ресурсов**

Дадацкий А.С.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель – Смоляк А.Н., к.т.н., доцент)

*Пресс-контейнеры позволяют адаптировать технологию сбора и вывоза твердых бытовых отходов к возрастающим требованиям в крупных городах.*

*Гидравлические прессы с горизонтальным расположением пресс-камеры и приводом пресс-платформы от гидромоторов наиболее производительны и надежны в работе по сравнению с существующими аналогами, оснащенными силовыми гидроцилиндрами.*

Сбор и вывоз твердых бытовых отходов (ТБО) в крупных городах становится все более сложным, дорогостоящим делом, поскольку с ростом объемов ТБО возрастает и проблема с транспортом для их вывоза. Повлиять на объемы ТБО и на транспортную ситуацию невозможно, поскольку эти процессы непредсказуемы, но можно адаптировать технологию сбора, чтобы ездить реже, а вывозить за рейс больше. Эта технология основана на пресс-контейнерах – устройствах, которые позволяют собирать и прессовать ТБО на месте, так чтобы вывозящее его транспортное средство было полностью загружено [1].

Конструкция современных пресс-контейнеров постоянно совершенствуется. Можно отметить следующие основные направления работ по улучшению пресс-контейнеров: повышение надежности и сроков службы технических устройств за счет совершенствования технологии производства и использования более прочных марок сталей; автоматизация управления за счет применения гидропривода, что позволит пресс-контейнеру работать с высокой производительностью; применение более прогрессивных средств автоматизации, что значительно облегчит труд оператора.

Целью представляемой научной работы является увеличение производительности и надежности конструкции пресс-контейнера для сбора вторичных ресурсов.

Для достижения поставленной цели выполнен анализ литературных и патентных источников в области конструкций образцов рассматриваемых технических средств, произведен выбор прототипа, на основе которого разработаны: усовершенствованная конструкция привода пресс-платформы,

выполнены расчеты конструктивных параметров и определена производительность усовершенствованного оборудования.

Известные конструкции горизонтальных гидравлических прессов с приводом пресс-платформы от гидроцилиндра имеют ограниченную величину хода, что требует дополнительного оборудования для выталкивания спрессованного тюка из камеры пресса и не позволяет увеличивать объем загрузки в приемное окно [2].

Предлагаемая усовершенствованная конструкция горизонтального гидравлического пресса с неограниченным ходом пресс-платформы, приводимой в движение от двух гидромоторов, представлена на рисунке 1. Пресс-платформа 1 перемещается посредством сил зацепления, возникающих между двумя приводными шестернями 2, установленными на выходных валах двух планетарных редукторов 3, вращаемых посредством двух гидромоторов 5 с возможностью горизонтального перемещения вдоль направляющих 9 и двух зубчатых реек 11, неподвижно закрепленных на внутренних боковых стенках пресс-камеры.

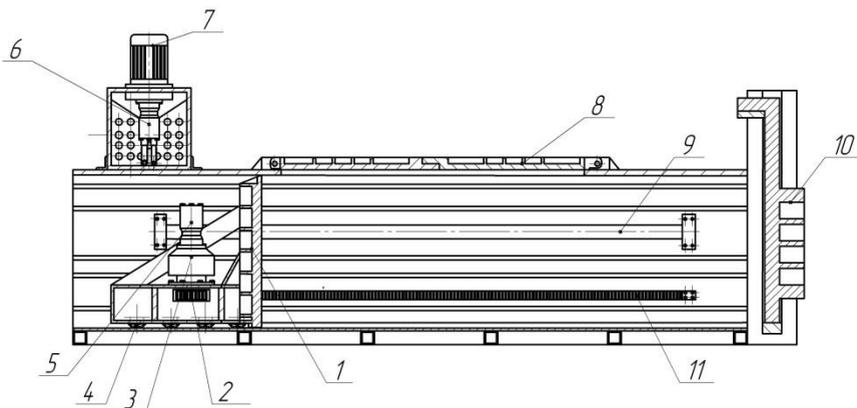


Рис. 1. Пресс-контейнер для вторичных ресурсов с приводом пресс-платформы от двух гидромоторов

Вес привода пресс-платформы равномерно распределяется между опорными вальцами 4.

Загрузочное окно располагается в верхней части корпуса и закрывается с помощью двух распашных дверей 8, управляемых двумя гидроцилиндрами. Такое расположение загрузочного окна является особенно удобным при использовании пресс-контейнера в заводских условиях при загрузке вторсырья с конвейера. Разгрузочное окно открывается посредством вертикальной подвижной стенки 10, перемещаемой с помощью пары гидроцилиндров.

Привод насоса 6 гидросистемы пресс-контейнера осуществляется от электродвигателя 7.

Привод пресс-платформы от гидромоторов позволяет увеличить размер загрузочного окна пресса – более 2 м, автоматизировать процесс выталкивания спрессованного тюка с помощью пресс-платформы, значительно повысить производительность пресса, увеличив усилие прессования (более 250 тонн), коэффициент сжатия материала (более 25), уменьшить габариты пресса (на 2 м и более).

Конструкция привода пресс-платформы на базе двух гидромоторов обеспечивает наибольшие усилия прессования при компактных массогабаритных характеристиках, повышает надежность и производительность пресс-контейнера по сравнению с аналогами на базе гидроцилиндров основного усилия прессования.

Разработанная конструкция пресс-контейнера позволяет его применять как в стационарном режиме – при перегрузке спрессованных тюков на транспортное средство, так и в качестве транспортируемого контейнера на специальных транспортных средствах типа мультилифт.

Увеличение производительности пресс-контейнера на 30% стало возможным за счет увеличения площади загрузочного окна пресс-контейнера, что, в свою очередь, обеспечило увеличение объема загрузки материала.

Привод от гидромоторов позволяет увеличить ход пресс-платформы до необходимых больших значений, что в случае с гидроцилиндром практически невозможно.

Разработанная конструкция горизонтального пресс-контейнера сбора ТБО может применяться не только отдельными организациями, имеющими большие объемы использованной бумаги, картона и изделий из пластика (гостиничные комплексы, гипермаркеты, магазины, офисы), но и крупными предприятиями по переработке вторсырья.

### **Литература**

1. Ванчаков, М.В. Технология и оборудование переработки макулатуры: учебное пособие/ М.В. Ванчаков, А.В. Кулешов, А.В. Александров, А.А. Гаузе – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД., 2019. Часть I. – 107 с.

2. Смоляк, А.Н. К вопросу создания эффективного оборудования для прессования макулатуры и твердых бытовых отходов./ А.Н. Смоляк // Наука – образованию, производству, экономике. Материалы 18-й МНТК. – Минск: БНТУ, 2020. – с.165–169.

Научное издание

**ДОРОЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО  
И ЕГО ИНЖЕНЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

Материалы  
Международной научно-технической  
конференции

Подписано в печать 11.12.2020. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 23,13. Уч.-изд. л. 15,36. Тираж 60. Заказ 771.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.