

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи
УДК 691.004.18

РОМАНЮК
Владимир Никанорович

**ИНТЕНСИВНОЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ
В ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук
по специальности
05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика

Минск, 2010

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный консультант	Хрусталеv Борис Михайлович , доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси, ректор, Белорусский национальный технический университет
Официальные оппоненты:	Мартыненко Олег Григорьевич , доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси, заведующий отделением, ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси», отделение энергофизики; Калиниченко Александр Сергеевич , доктор технических наук, заместитель проректора, Белорусский национальный технический университет, научно-исследовательская часть; Бусел Алексей Владимирович , доктор технических наук, профессор, директор, ГУ «Белорусский институт системного анализа и информационного обеспечения научно-технической сферы»
Оппонирующая организация	Республиканское научно-производственное унитарное предприятие «Институт энергетики Национальной академии наук Беларуси»

Защита состоится 8 июня 2010 г. в 14-00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.01 при Белорусском национальном техническом университете: 220013, Минск, проспект Независимости, 65, корп. 2, ауд. 201, тел. (+375-17) 293-91-45, факс (+375-17) 292-91-37, e-mail: etr@bntu.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан 4 мая 2010 г.

Ученый секретарь Совета
по защите диссертаций Д 02.05.01,
доктор технических наук, профессор _____ В.А. Седнин

© Романюк В.Н., 2010
© БНТУ, 2010

ВВЕДЕНИЕ

К приоритетным задачам хозяйственного комплекса Респ. Беларусь относится снижение энергоемкости ВВП. Очевидно, что ее решение связано с сокращением удельного потребления энергетических ресурсов и одновременно с изменением глобальной мировой экологической проблемы по снижению выбросов парниковых газов, в этой связи, энергосбережение является ключевой энергетической проблемой современности. Указанная проблема чрезвычайно актуальна для Респ. Беларусь, энергоемкость ВВП которой в 2–2,5 раза выше, чем в промышленно развитых странах. Реструктурирование ВВП, при всей привлекательности этого пути, крайне сложно и не снимает проблемы энергосбережения, которая связана с сохранением суверенитета страны. Последнее отражено в Директиве Президента Респ. Беларусь № 3 от 14.06.2007 г., в которой впервые в мировой практике на высшем уровне, утверждены концепция энергетической безопасности и механизм ее реализации.

Основными потребителями энергетических ресурсов в стране являются промышленные теплотехнологии и системы теплоснабжения, на нужды которых затрачивается до 75 % общего расхода энергоресурсов. Это и определяет актуальность развития теории и практики повышения энерго-экологической эффективности теплотехнологий.

Благодаря мерам, принимаемым в республике, отмечается уменьшение удельных расходов энергоресурсов, однако ситуация остается напряженной. Потенциал снижения потребления природного газа (ПГ) в промышленном производстве Респ. Беларусь за счет повышения эффективности его использования оценивается на уровне 40 %. Затраты на его реализацию велики, но технологические инновации и их внедрение жизненно важны для решения обозначенной выше задачи и последующего сдерживания роста энергопотребления. Несмотря на достижения в развитии способов использования первичных энергоресурсов, возобновляемых энергетических источников, совершенствования существующих технологий промышленного производства, обеспечивших снижение энергоемкости ВВП, с повестки дня не снимается необходимость научных исследований совершенствования как самих теплотехнологий, так и их энергообеспечения. Большая доля глобальных инвестиций в инфраструктуру должна быть посвящена энергетике, прежде всего, промышленной энергетике. Поддержку науки и разработок необходимо осуществлять сильнее и последовательнее, чем это имело место до последнего времени.

Дорожная строительная отрасль, которой в работе уделено основное внимание, играет одну из центральных ролей в жизни страны, что объясняет необходимость непрерывного ее совершенствования, создание современных условий для поддержания должного состояния дорожной сети. Географическое положение Респ. Беларусь обязывает максимально ис-

пользовать преимущества транзитных автоперевозок. Реализация соответствующего потенциала валютных поступлений в бюджет страны связана с развитием и поддержанием на высоком уровне ее дорожной сети, которая оценивается около 20 % всего национального достояния. Сегодня это около 50 тыс. км дорог с асфальтобетонным покрытием. Только на поддержание их состояния на современном уровне, согласно Государственной программе «Дороги Беларуси», требуется ежегодно до десяти миллионов тонн асфальтобетонной смеси (АБС). Сеть сельских дорог и подъездов, протяженность которых оценивается в десятки тысяч километров, практически лишена твердого покрытия, что сегодня сдерживает развитие экономики сельского хозяйства. Создание твердых покрытий этих дорог имеет особое значение в свете курса Респ. Беларусь на развитие малых городов и поселков. Для создания качественных покрытий сельских дорог и для поддержания на соответствующем уровне магистралей требуется более полное обеспечение качественными и относительно дешевыми дорожно-строительными материалами, прежде всего, АБС. Горячая АБС в обозримой перспективе останется важнейшим дорожным материалом, объем производства которой позволяет его отнести к массовому.

Энергоемкость производства строительных материалов достаточно велика: энергетическая составляющая для названных строительных материалов доминирует в структуре себестоимости и имеет величину на уровне 50 %, ее снижение чрезвычайно актуально. Строительные материалы (цемент, кирпич, стекло, керамическая плитка и другие) составляют заметную часть экспорта страны. Сохранение и усиление позиций продукции Респ. Беларусь на внешних рынках, куда поступает до 90 % ее общего промышленного производства, является стратегической задачей, решение которой связано и со снижением себестоимости продукции, прежде всего, за счет сокращения энергопотребления.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами. Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете (БНТУ) в соответствии с планом НИР кафедр «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника» и «Строительство и эксплуатация дорог», утвержденным НТС БНТУ. Тема диссертации утверждена Советом БНТУ (протокол № 4 от 25 апреля 2008 г.).

Тема диссертационной работы соответствует задачам, определенным для решения:

- Государственной комплексной программой модернизации основных производственных фондов Белорусской энергетической системы, основными направлениями энергетической политики Респ. Беларусь на период до 2020 г. в области развития электроэнергетики;
- основными организационно-экономическими направлениями в об-

ласти энергосбережения и увеличения доли использования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов в 2006–2010 гг.;

– перечнем приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований (Постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 17.05.2005 г. № 512) по разделу 1 «Энергообеспечение, нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, энергосбережение и эффективное использование; создание энерго- и ресурсоэкономичных архитектурно-конструктивных систем нового поколения» в части прикладных научных исследований по пункту 1.2 «Энергетическая безопасность Респ. Беларусь, разработка систем энергоснабжения и эффективного использования энергии, ядерная и водородная энергетика».

Исследования по теме диссертационной работы выполнялись в рамках важнейших комплексных научно-технических программ и работ:

1. Общесоюзная программа работ ГКНТ СССР по решению научно-технической проблемы 0.72.01 (раздел 04, п.7, 1982–1986 гг.), отраслевого плана НИР Министерства тракторного и сельскохозяйственного машиностроения СССР (тема СВН-9/12-81, 1984–1987 гг.), плана социально-экономического развития Белорусской ССР (тема 72.04 р, задание 16, 1985–1987 гг.).

2. Теоретические основы и практические предложения по структурно-параметрической оптимизации энергопотребления на АБЗ дорожной отрасли. ГБ 97-88; рук. темы Я.Н. Ковалев. — Минск: БГПА, 1997. — 77 с. — № гос. регистр. 19971101.

3. Теоретические основы энерготехнологии производства битумно-минеральных материалов. ГБ 98-90; рук. темы В.Н. Романюк. — Минск: БГПА, 1998. — 101 с. — № гос. регистр. 19981277.

4. Государственная программа фундаментальных исследований «Разработка теоретических основ создания и исследование новых композиционных строительных материалов и изделий, методов расчета строительных конструкций, эффективных технологий и оборудования для их производства, новых архитектурно-конструктивных систем зданий и сооружений, машин и механизмов для их возведения и реконструкции». Раздел «Теоретические основы эффективной технологии производства битумо-минеральных смесей для получения дорожных композиционных материалов», ГБ № 02–59; рук. темы Я.Н. Ковалев. — Минск: БНТУ, 2002–2005 гг. — 224 с. — № гос. регистр. 20022110.

5. Внедрение результатов работы осуществлялось в рамках перспективных планов научно-технического развития промышленных предприятий Респ. Беларусь, а также региональных программ «Энергосбережение» для г. Минска, Могилевской, Гомельской, Витебской, и Гродненской обла-

стей в 2000–2009 гг.

Цель и задачи исследования. *Целью исследований* является развитие теоретических основ и практических мероприятий, направленных на повышение эффективности и надежности функционирования теплотехнологических производств, проявляющихся в снижении затрат сырьевых и энергетических ресурсов, уменьшении выбросов в окружающую среду, повышении качества продукции и, в конечном итоге, увеличении конкурентоспособности продукции.

Для достижения указанной цели в диссертационной работе решены следующие **задачи исследования:**

- разработка основ применения эксергетического анализа для теплотехнологии производства горячих асфальтобетонных смесей;
- разработка концептуальных основ создания перспективных энергоэкологоэффективных источников энергоснабжения на базе промышленных теплотехнологий;
- разработка конкретных технических, схемных и режимных решений применения комбинированных энергетических установок на промышленных теплотехнологических предприятиях строительных материалов;
- разработка использования когенерационных комплексов асфальтобетонных заводов (АБЗ) для регулирования генерации электроэнергии в соответствии с графиком электрической нагрузки энергосистемы;
- исследование возможности использования и разработка основ технологии получения дорожного битума, капсулированного в оболочку из полиэтилена высокого давления, являющегося, по сути, новым строительным материалом, позволяющим кардинально изменить всю технологическую цепь производства горячих АБС;
- разработка синтеза и параметрической оптимизации схемы производства горячих АБС на основе разработанного капсулированного битумного вяжущего;
- разработка концепции и технических решений энерготехнологической реструктуризации ТЭСШ теплотехнологий строительных материалов, позволяющих обеспечить решающее снижение удельных затрат энергии: для АБС с существующего уровня 0,4 ГДж/т до теоретически необходимой величины, близкой к 0,2 ГДж/т.

Объектом исследования являются промышленные теплотехнологические системы. Необходимая глубина комплексного исследования теплотехнологических систем преобразования вещества показана на примере производства асфальтобетонной смеси.

Предмет исследования – структурные схемы сопряжения энергоэкологоэффективных комбинированных энергоустановок с теплотехнологическими линиями и энергосистемой, а также технологические переделы производства АБС и других строительных материалов и, в конечном итоге, ТЭСШ и сопряженной части хозяйственного комплекса. Энергетиче-

ски совершенное теплотехнологическое предприятие должно потреблять электроэнергию, произведенную только наиболее эффективным комбинированным способом на базе его теплового потребления. Неизбежно обратное воздействие задач эффективного энергообеспечения на теплотехнологии, что связано со структурной и параметрической оптимизацией технологической цепи конкретного промышленного производства. В результате комплекса энергосберегающих мероприятий, выявляемых на базе эксергетического метода термодинамического анализа, должна быть синтезирована единая теплоэнергетическая система промышленного предприятия (ТЭСПП), в которой минимизированы потери эксергии. Наиболее полная реализация энергосберегающего потенциала достигается с учетом сопряжения теплотехнологической системы с внешними объектами, прежде всего, энергосистемой страны. Изложенный подход, не отвергающий ни одну технологию и использующий любую возможность снижения энергопотребления и составляет сущность интенсивного энергосбережения. Задача 2-кратного снижения энергоемкости ВВП с наименьшими затратами решается при использовании ПГ в качестве первичного энергоресурса. При этом большей частью обеспечивается решение задачи снижения удельного веса ПГ в приходной части энергобаланса страны до требуемых 50 % и соответствующее (до двух тонн на т у.т.) уменьшение выбросов в атмосферу парниковых газов с реализацией соответствующих квот.

Положения, выносимые на защиту. Концептуальные положения по развитию интенсивного энергосбережения, совершенствованию технологических и энергетических схем в сфере теплотехнологических промышленных систем, включающие:

1. Обоснование требуемого снижения энергоемкости ВВП за счет повышения эффективности использования ПГ и уменьшения его потребления до 40 % путем блокирования потерь эксергии при его использовании рационализацией построения теплоэнергетической системы промышленного предприятия, адаптации технологического процесса к требованиям эффективного энергообеспечения, использования системных эффектов от вовлечения в процесс повышения эффективности использования первичного энергоресурса сопряженных хозяйственных комплексов. Указанное снижение потребления ПГ обеспечит снижение его доли в приходной части энергобаланса Респ. Беларусь до 50 % — значения, соответствующего требованию энергетической безопасности страны.

2. Иерархию рационального построения теплоэнергетической системы промышленного предприятия, ориентированную на минимизацию потребления первичных энергоресурсов, для чего технологические установки, комбинированно с основной продукцией генерирующие электроэнергию и тепловую энергию, имеют более высокий уровень иерархии. Специализированные генерирующие мощности находятся на нижнем уровне, обеспечивающем ликвидацию возможных дисбалансов энергопотребления

и генерации энергопотоков. В этом случае максимально блокируются потери эксергии, а предприятие обеспечивается электроэнергией выработанной по когенерационной технологии на собственном тепловом потреблении, что соответствует энергетически идеальному варианту.

3. Разработку схем когенерационных комплексов для энергообеспечения промышленных теплотехнологий, предусматривающих безусловное обеспечение работы теплотехнологических систем, при прерывании работы сопряженных с ними энергогенерирующих установок, что обеспечивает расширение комбинированного производства преобразованных энергоресурсов на базе различных теплотехнологических производств Респ. Беларусь на величину, характеризующуюся величиной мощности потока электроэнергии на уровне 3 ГВт.

4. Необходимость создания законодательной базы для использования когенерационных распределенных источников на базе тепловых нагрузок промышленных технологий предприятий совместного с Минэнерго, что создает предпосылки не только для расширения комбинированной генерации электроэнергии, но и обеспечивает энергосистему маневренными мощностями для регулирования генерации электроэнергии. Отсутствие последних сегодня ведет к значительному ежегодному перерасходу топлива, который только для совместной системы «Минэнерго – производства Департамента «Белавтодор» оценивается величиной около 0,5 млн т.

5. Результаты впервые проведенного термодинамического анализа теплотехнологии горячих асфальтобетонных смесей на базе эксергетического метода, указывающие на необходимость принципиальных изменений энергообеспечения теплотехнологии асфальтобетонной смеси и снижения удельного энергопотребления за счет подавления потерь эксергии с 0,4 до 0,2 ГДж на тонну асфальтобетонной смеси.

6. Физико-математическую модель определения концентрационной составляющей эксергии асфальтобетонной смеси, на базе которой впервые создана методика расчета эксергии асфальтобетонной смеси, дающая возможность проведения термодинамического анализа и оптимизации производства этого важного дорожно-строительного материала.

7. Модифицированную технологию получения горячих АБС, в которой битумный вяжущий материал заключен в капсулу определенных геометрических размеров из полиэтилена высокого давления. В результате предложена новая менее энергоемкая технология получения горячих асфальтобетонных смесей, защищенная патентом Респ. Беларусь, отличающаяся технологией доставки, хранения и использования битумного вяжущего материала. Технология использования капсулированного битумного вяжущего материала позволяет предельно упростить структуру асфальтобетонных заводов и осуществить переход к созданию мобильных заводов, что, в конечном итоге, снижает не только удельные энергозатраты на предприятии, но и энергозатраты на создание асфальтобетонного покрытия за счет сокращения плеча перевозок асфальтобетонной смеси.

8. Результаты экспериментов по определению термодинамической совместимости полиэтилена высокого давления и дорожного битума БН 90/130, давшие положительный ответ не только возможности применения первого для материала капсулы битумного вяжущего, но и позволившие рассчитать необходимые геометрические характеристики капсулы.

Личный вклад соискателя. Теоретические и экспериментальные исследования, обобщенные в представленной работе, выполнены автором как самостоятельно, так и в соавторстве. Автору принадлежат: создание концепции исследования; постановка проблемы в целом и задач экспериментальных и численных исследований; выводы и их формулировка, разработка концептуальных основ создания энергоэкологически эффективных когенерационных систем теплотехнологических производств; иерархическое построение теплоэнергетической системы промышленного предприятия; развитие методологии применения комбинированных энерготехнологических установок; использование когенерационных комплексов асфальтобетонных заводов для регулирования генерации электроэнергии в соответствии с графиком электрической нагрузки энергосистемы; развитие термодинамического анализа на базе эксергетического метода на примере производства асфальтобетонной смеси; создание физико-математической модели определения концентрационной составляющей эксергии асфальтобетонной смеси на базе адгезионного взаимодействия между минеральными материалами и битумом; руководство и непосредственное участие в экспериментах; написание монографии и основополагающих для исследования статей, тезисов докладов, разделов учебников и учебных пособий; разработка идеологии капсулированного битумного вяжущего материала и его применения для создания технологии получения горячих асфальтобетонных смесей, отвечающей требованиям эффективного энергообеспечения. Результатом сотрудничества с соавторами являются: разработка методик проведения экспериментов термодинамической совместимости битума и полиэтилена высокого давления, обработка результатов и их интерпретация; проверка свойств асфальтобетона, полученного на основе капсулированного битума; научно-производственные результаты, связанные с выполнением госбюджетных и хозяйственных НИР, разработка проектно-сметной документации по внедрению разработок в различные теплотехнологические производства; создание экспериментальных установок; создание и внедрение промышленных образцов; написание ряда статей, научных отчетов и тезисов докладов.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертационной работы докладывались на более чем 30 научно-технических конференциях, теоретических и практических семинарах и симпозиумах, в их числе: VI Всесоюзная конференция по тепло- и массообмену (г. Минск, 1980 г.); Международная научно-техническая конференция «Оптимизация и создание ресурсосберегающих безотходных технологий в химической промышленности и теплоэнергетике» (г. Свердловск, 1988 г.); Российская

научно-техническая конференция «Современные технологии и материалы при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог» (г. Суздаль, 1994 г.); III Белорусский энергетический и экологический конгресс (г. Минск, 1998 г.); II Межвузовская научно-техническая конференция (г. Брест, 1998 г.); Международная научно-техническая конференция «Ресурсосберегающие экотехнологии: возобновление и экономия энергии, сырья и материалов» (г. Гродно, 2000 г.); Межправительственный совет дорожников «Научно-технические проблемы дорожной отрасли стран СНГ» (г. Москва, 2000 г.); Международная научно-практическая конференция «70 лет МАДИ. Автотранспортный комплекс. Проблемы и перспективы развития. (г. Москва, 2000 г.); Международная научно-практическая конференция к 130-летию Белорусской железной дороги» Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса» (г. Гомель, 2001 г.); VI Белорусский энергетический и экологический конгресс (г. Минск, 2001 г.); Международная научно-техническая конференция «Потенциал науки – развитию промышленности, экономики, культуры, личности» (г. Минск, 2002 г.); Международная научно-техническая конференция «Наука – образованию, производству, экономике», (г. Минск, 2003 г.); Международная конференция «80 лет уральской теплоэнергетики. Образование. Наука» (г. Екатеринбург, 2003 г.); Международная научно-практическая конференция «Проблемы повышения качества и ресурсосбережения в дорожной отрасли» (г. Минск, 2003 г.); Международный конгресс «Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии» (г. Белгород, 2003 г.); II Международная конференция «Коллоид» (г. Минск, 2003 г.); Международный конгресс «Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии» (г. Белгород, 2005 г.); Ассоциации исследователей асфальтобетона (г. Москва, 2007 г.); Межправительственный совет дорожников, посвященном юбилею экспертно-научного совета при Межправительственном совете дорожников (г. Москва, 2007 г.); Международная научно-техническая конференция «Структурообразование, технология, свойства и долговечность органических вяжущих и бетонов на их основе (г. Харьков, 2007 г.); Белорусский промышленный форум «Технология, оборудование и качество» (г. Минск, 2007 г.); Международная научно-техническая конференция «Структурообразование, технология, свойства и долговечность органических вяжущих и бетонов на их основе» Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 22–23 ноября, 2007 г., Харьков; I–VI международные научно-технические конференции БНТУ «Наука – образованию, производству, экономике» (г. Минск, 2003–2009 гг.) и ряд других международных, республиканских научных и практических конференций, семинаров и совещаний; Белорусский промышленный форум «Технология, оборудование и качество», 11-й международный симпозиум, 13–16 мая 2008 г., Минск; Международная научно-практическая конфе-

рентия «Новые материалы и технологии для проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог СНГ» Межправительственный совет дорожников, 13–14 мая 2009 г., Москва.

Опубликованность результатов. Основные положения диссертации опубликованы в более чем 100 работах, из них 1 монография, 2 учебника, 2 учебных пособия, 1 энциклопедия, 29 статей в научных журналах, 27 статей в тематических сборниках, трудах, материалах научных конференций, научно-технических журналах, 38 тезисов докладов научных конференций, 1 патент Республики Беларусь. Общий объем опубликованных материалов превышает 100 авторских печатных листов.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, шести глав, заключения, списка использованных источников и приложения. Логика построения работы определяется в постановке задач исследования и последовательном их решении для достижения цели, содержащейся в названии диссертационной работы. Полный объем диссертации – 365 страниц. Всего иллюстраций – 159; таблиц – 55. Объем приложений – 28 страниц. Список использованных источников состоит из 427 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассматривается актуальность исследований в области интенсивного энергосбережения в промышленных теплотехнологических системах, показана необходимость проведения работы, приведены исходные предпосылки для ее выполнения.

В первой главе представлен критический анализ литературных источников. Энергетические проблемы Респ. Беларусь являются отражением проблем мировой энергетики: традиционное развитие энергетики встречает препятствия экономического, технического, экологического характера; на всех стадиях (производство, преобразование, транспортирование, распределение и конечное использования энергии) затраты выше теоретически необходимых. Большинство производств, использующих хорошо зарекомендовавшие себя теплотехнологии, реализуемые с высокими значениями энергетического КПД, теряют конкурентоспособность. Причина, во многих случаях, в большой энергетической составляющей себестоимости, которая в отрасли строительных материалов нередко превышает 50 %. Перерасход энергии вызван нерациональным построением ТЭСПП, игнорированием положений второго закона термодинамики в организации энергообеспечения технологических процессов, что и определяет неэффективное использование энергии. Снижение энергопотребления на базе положений первого закона термодинамики, предписывающих подавлять рассеяние энергии, на чем сосредоточены усилия энергетических служб, не решает проблему. Необходимо в промышленности, на конечной стадии

энергоиспользования, внедрение новых принципов энергообеспечения, базирующихся на положениях второго закона термодинамики, инновационных технологиях, что только и может привести к необходимому результату. Решение проблемы энергоиспользования требует больших инвестиций в энергетику, промышленную энергетику и теплотехнологии. Вложения в последние дают больший результат.

Низкая энергоэффективность, прежде всего, имеет место в теплотехнологических комплексах материального производства, где коэффициент использования первичной энергии находится на низком уровне. Обеспечение конкурентоспособности продукции, которая зависит не только от ее качества, но и от себестоимости, в условиях Беларуси, как правило, связано со снижением энергетической составляющей себестоимости.

Изложенное должно приниматься во внимание при разработке организационных, технических, иных мероприятий по энергосбережению, поскольку оно определяет «адрес» экономии энергоресурсов — промышленные технологические процессы, в которых энергия используется в тепловой форме (далее — теплотехнологиями).

Среди научно-технических проблем, требующих решения, выделены:

- повышение степени использования первичных энергоресурсов, прежде всего, ПГ при сохранении его роли основного первичного энергоресурса, как наименее экологически вредного, запасы которого определены на десятки лет;
- блокирование потерь эксергии с помощью комбинированных энергетических установок, внедряемых в теплотехнологические системы, характеризующихся большими внутренними потерями эксергии;
- углубление утилизации продуктов сгорания за счет интеграции теплотехнологических промышленных систем и систем теплоснабжения сопряженных жилых районов, а также за счет изменения тепловых схем ряда теплотехнологических производств;
- энерготехнологическая модификация теплотехнологических производств под воздействием энергетической обратной связи, исключающей многостадийную тепловую обработку, объединяющей операции тепловой обработки в одном аппарате, изменяющей параметры и схемы потоков, повышение эффективности и надежности путем создания и внедрения автоматизированных систем управления.

В заключительной части главы автором определена цель и сформулированы основные задачи проведения исследований, рисунок 1.

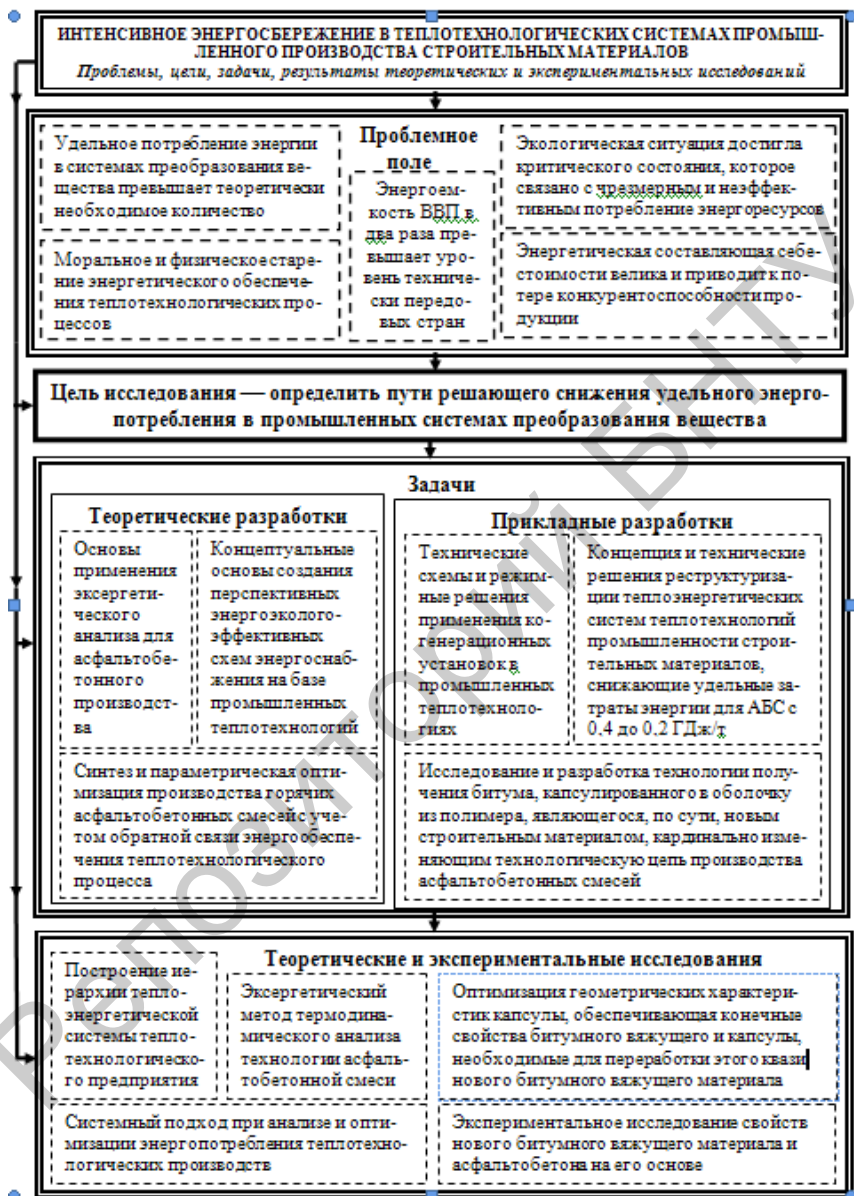


Рисунок 1 — Структурно-логическая схема диссертационной работы
 Вторая глава посвящена развитию концептуальных основ интенсивно-

го энергосбережения, начало формирования которых положено в работах А.Д. Ключникова. Мероприятия интенсивного энергосбережения выходят за физические границы отдельных приемников энергии и направлены на многоадресное блокирование потерь эксергии, что и приводит к максимально полной реализации энергосберегающего эффекта в результате системного подхода к проблеме. Диссипация энергии и потери эксергии определяются эффективностью энергоиспользования в любой теплотехнологии, независимо от того относится она к более или менее энергоемкой категории. Эффективность энергоиспользования определяется, в том числе, структурой ТЭСПП, которая создается для конкретной теплотехнологии. Для решения задачи выявления и реализации максимально полного энергосберегающего потенциала предлагается иерархия построения ТЭСПП, рисунок 2. В сугубо энергетическом аспекте собственные энергогенерирующие мощности, отделенные непосредственно от технологического процесса, вводятся в ее структуру лишь для покрытия дисбалансов. Компоновка оборудования должна позволять реструктуризацию ТЭСПП после эксплуатации объекта в течение определенного времени, необходимого для мониторинга системы и индивидуальной доработки состава подсистем. Блокировать потери эксергии на всех стадиях теплотехнологических процессов, прежде всего интеграцией взаимодополняющих теплотехнологий: с большими внутренними потерями эксергии у одной на горячем, с большими внешними потерями эксергии у другой на холодном торцах технологического процесса. Рациональное построение ТЭСПП безальтернативно для любых теплотехнологических производств.

Наиболее объективное решение о соответствии состава и структуры систем внутри каждого из уровней иерархии ТЭСПП, и соответствии между системами различных уровней иерархии может быть принято лишь на основе термодинамического анализа. В основе термодинамического анализа лежат:

- уравнение баланса вещества $nG'_j = nG''_k + \Delta M_c$; (1)
- уравнение баланса энергии $nW'_j = nW''_k + \Delta W_c$; (2)
- уравнение баланса эксергии $nE'_j = nE''_k + nD_e + nD_i + \Delta E_c$, (3)

где nG'_j , nW'_j , nE'_j , – входные, nG''_k , nW''_k , nE''_k , – выходные потоки соответственно вещества, кг; энергии, кДж; эксергии, кДж; ΔM_c , ΔW_c , ΔE_c , – изменение в системе соответственно содержания вещества, кг, энергии, кДж; эксергии, кДж; nD_e , nD_i , – соответственно внешние и внутренние потери эксергии, кДж.



Потери эксергии определяются в ходе термодинамического анализа с использованием эксергетического метода. В процессе его реализации возникают трудности, сдерживающие практическое использование, связанные с отсутствием требуемой информации. Например, в отношении АБС нет сведений о концентрационной и реакционной составляющих ее эксергии.

В контексте увеличения термодинамического совершенства системы, требуется снижать потери эксергии D . Внешние потери эксергии D_e выявляются из баланса энергии, поскольку отражают потоки рассеяния энергии. Последние в подавляющем большинстве минимизированы и дальнейшее увеличение энергетической эффективности за счет снижения этих потерь практически исчерпано. Наибольший интерес представляют внутренние потери эксергии — D_i , которые не могут быть выявлены из первых двух балансовых уравнений (1), (2). Дальнейшее повышение эффективности использования энергоресурсов связано с подавлением D_i .

Анализ потерь эксергии D , выделение потерь технических D_t , связанных с несовершенством оборудования, и потерь собственных D_c , связанных с несовершенством используемых процессов, дает ответ на вопрос о принципиальной возможности улучшений в рамках данной ТЭСПП или требуется ее реструктуризация. Блокирование побочных эффектов процессов энергообеспечения, связанных с потерями эксергии, приводит к переходу к энерготехнологическим производствам, где энергетическое обеспечение технологии сопровождается минимальными потреблением первичного энергоресурса и воздействием на окружающую среду. Материальные превращения и их энергообеспечение получают равный статус: технология функционирует в режиме, обеспечивающем улучшение энергетических показателей, энергетическое оборудование обеспечивает требования технологического регламента.

Характер и масштаб конкретного производства определяют специфику его энергообеспечения. В отличие от использования вторичных энергоресурсов, когда имеет место простое соединение технологических установок и дополнительного оборудования, энерготехнология предусматривает реструктуризацию теплотехнологического оборудования в совокупности с пересмотром технологических потоков, их установившихся параметров при обеспечении качества продукции. В этом отношении показателен пример обратного воздействия энергетического обеспечения на технологию АБС.

В третьей главе разрабатывается методика определения эксергии АБС. В этой связи рассматривается определение представительного состава АБС, определяются ее энтальпия, структура и теоретические затраты энергии на производство. Предлагается физико-математическая модель для расчета концентрационной составляющей эксергии АБС.

Эксергия АБС определяется известным соотношением для вещества

$$e_{\text{абс}} = e_{\text{рт,абс}} + e_{\text{к,абс}} + e_{\text{р,абс}}, \text{ кДж/кг}, \quad (4)$$

где $e_{\text{рт,абс}}$, $e_{\text{к,абс}}$, $e_{\text{р,абс}}$ – соответственно удельные массовые термомеханическая, концентрационная, реакционная составляющие эксергии.

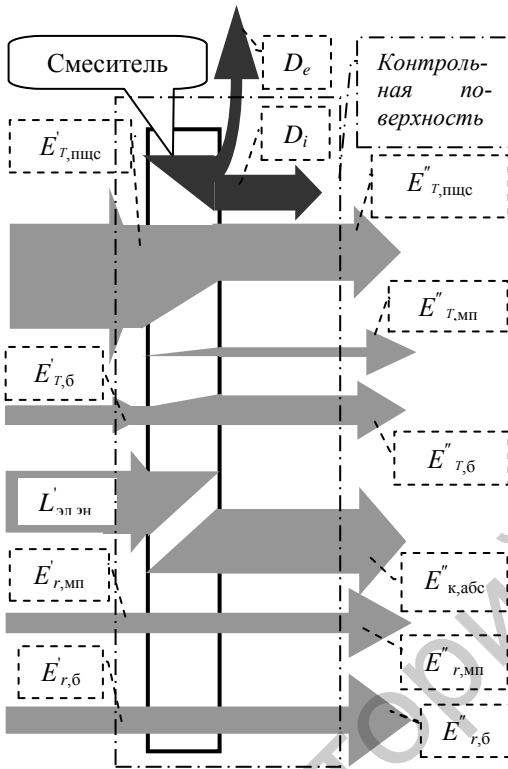
Для вычисления $e_{\text{р,абс}}$ необходимо определение химической эксергии компонентов АБС. Химическая эксергия минеральных заполнителей АБС $e_{\mu, \text{мз}}$ равна нулю, поскольку данный компонент представлен, в первую очередь, SiO_2 , имеющем нулевую химическую эксергию. В тех случаях, когда используются другие материалы, значения их химической эксергии определяются по соответствующим методикам или из справочников подобно тому, что имеет место для химической эксергии минеральных наполнителей АБС, представленных чаще всего доломитом. Химическая эксергия доломита задана величиной $e_{\mu, \text{мн}} = 1045$ кДж/кг. Для химической эксергии битума $e_{\mu, \text{б}}$ предложено использовать соотношение, полученное для нефти

$$e_{\mu} = e_c \cdot (1066 + 67,4 \cdot \omega + 1875 \cdot \nu + 3784 \cdot \sigma + 177,8 \cdot \xi), \text{ кДж/кг}, \quad (5)$$

где $e_c = 7,817 \cdot C$ – минимальная удельная массовая эксергия жидких углеводородных веществ, кДж/кг; $\omega = 6 \cdot \text{H/C}$; $\nu = (3/7) \cdot (\text{N/C})$; $\sigma = 1 + 3 \cdot (\text{H} - (\text{O} - \text{S})/8)/\text{C}$; $\xi = (3/8) \cdot \text{S/C}$ – безразмерные коэффициенты, зависящие от состава битума; C , H , O , N – массовые доли компонентов, $C + \text{H} + \text{O} + \text{N} = 1$. Состав битума в данном случае может быть усреднен: $C \approx 0,70-0,85$; $\text{H} \approx 0,08-0,12$; $\text{O} \approx 0,002-0,05$; $\text{S} \approx 0,005-0,7$; $\text{N} \approx 0,002-0,01$. Расчеты величины удельной массовой химической составляющей эксергии битума дают $e_{\mu} = 38-44$ МДж/кг. Учитывая погрешности расчетной цепи, можно записать $e_{\mu} = 41$ МДж/кг, что согласуется со значениями химической эксергии e_{μ} нефтепродуктов.

$e_{\text{к,абс}}$ – концентрационная составляющая эксергии АБС, зависящая лишь от состава смеси, кДж/кг. В работе ее величина связана с адгезионным взаимодействием битума и минеральных материалов, которое определяется слоем структурированного битума, зависящего лишь от минеральной подложки. Названный слой представляет твердую субстанцию, у которой энергия связи с минеральной подложкой не зависит от давления и температуры в рассматриваемых диапазонах изменения последних, что является необходимым признаком $e_{\text{к}}$. Этот вывод открывает путь к расчету величины концентрационной составляющей эксергии АБС, которая, во-первых, связана с качеством готовой АБС, во-вторых, определяет минимальную работу процесса смесеобразования.

Баланс эксергии процесса образования АБС в виде диаграммы Грассмана приведен на рисунке 3. Частью полезного эффекта протекающих превращений в смесителе являются: возрастание термических составляющих эксергии минерального порошка – $E''_{\text{т,мп}}$ и битума ($E''_{\text{т,б}} - E'_{\text{т,б}}$), если



$E_{T,пс}$, $E_{T,мп}$, $E_{T,б}$ – соответственно термические составляющие эксергии потока песчано-гравийной смеси, минерального порошка, битума; $E_{r,мп}$, $E_{r,б}$ – соответственно реакционные составляющие эксергии потока минерального порошка, битума; $L_{эл}$ – энергия, затрачиваемая на перемешивание; $E_{к,абс}$ – концентрационная составляющая эксергии потока АБС; D_e , D_i – соответственно внешние и внутренние потери эксергии; ' – соответственно верхние индексы для входных и выходных потоков

Рисунок 3 — Эксергетические превращения процессов образования асфальтобетонной смеси в смесителе

образования, длящийся не более минуты и характеризующийся смачива-

последний поступает с температурой ниже температуры готовой АБС. Потоки транзитной эксергии представлены составляющими: $E'_{T,пс}$, $E'_{T,б}$, $E'_{r,мп}$, $E'_{r,б}$. Основным целевым эффектом является концентрационная составляющая $E''_{к,абс}$, определение которой решается в данной главе.

Для наступления адгезионного взаимодействия необходим контакт вяжущего битума со всеми минеральными частицами. Для его обеспечения в смесителе необходимо затратить энергию, минимальное значение которой соответствует обратимому протеканию процесса и определяется величиной концентрационной составляющей эксергии АБС. Работа механического перемешивания L' в смесителе превышает $E_{к,абс}$, поскольку лишь в этом случае выполняется необходимое условие существования системы $\Sigma E' > \Sigma E''$. Это дает возможность объективной оценки смесителя в плане энергопотребления по отношению концентрационной составляющей эксергии АБС и затраченной работы на перемешивание в ходе заключительного этапа получения АБС. Это этап активного структуро-

нием и обволакиванием частиц каменного материала битумом, когда проявляются все физико-химические свойства двух взаимодействующих материалов – битума и каменного материала: смачивание, обволакивание, сорбция наиболее активных компонентов битума поверхностью минерального материала. Сегодня по результатам исследования концентрационной составляющей эксергии потока АБС ясно, что время протекания процесса активного структурообразования при смачивании и обволакивании минеральных материалов расплавленным битумом является вторичным фактором, определяемым мощностью потока энергии, подводимого к смеси и конструкцией смесителя, влияющей на внутреннее трение слоя, и величиной концентрационной составляющей эксергии АБС. Необходимо изменять время воздействия в соответствии с конкретным набором ингредиентов АБС и характеристиками применяемых смесителей. Игнорирование этого факта приводит к ошибочным экспериментальным результатам: иногда, казалось бы, теоретически неизбежный положительный эффект введения той или иной добавки в состав АБС не подтверждается на практике. С изложенных позиций ситуация разрешается и объясняется необходимостью преодоления значения порога минимального энергетического воздействия при смесеобразовании, определяемого $E_{к,абс}$. Решение задачи расчета концентрационной составляющей эксергии потока АБС может иметь и технологическое значение, поскольку позволяет надеяться на установление связи качества АБС с величиной ее концентрационной составляющей эксергии.

Работа адгезии основных марок дорожных битумов на основных минеральных материалах (кварците, граните, плотном и слабом известняке, мраморе) может быть определена, например, с помощью соотношения

$$W_{ад} = \sigma_{жг} \cdot (1 + \cos \theta), \text{ Дж/м}^2, \quad (6)$$

где $\sigma_{жг}$ – поверхностное натяжение битума, Н/м; θ – угол смачивания битума с данным материалом.

Диапазон изменения энергии адгезионного взаимодействия битума с такими каменными материалами как кварцит, гранит, мрамор составляет $(53-65,9) \cdot 10^{-3}$ Дж/м². Амплитуда диапазона может быть оценена в 10 %, что на первом этапе позволяет усреднить работу адгезионного взаимодействия битума и минеральных на уровне $60 \cdot 10^{-3}$ Дж/м². Возникающая погрешность, в связи с таким усреднением, на данном этапе вполне приемлема. Ее дальнейшее уточнение, в известной мере, теряет смысл, поскольку другой фактор, определяющий $E_{к,абс}$, имеет погрешность нахождения того же порядка (и величина ее не может быть уменьшена), что и выше рассмотренная ошибка усреднения $W_{ад}$. Речь идет об удельной поверхности минеральных материалов АБС. Расчеты удельной поверхности АБС типа А позволяют определить ее величину $29,0 \text{ м}^2/\text{кг}$, для АБС типа Д –

79 м²/кг. На основании указанных данных рассчитывается эксергия АБС.

Численные значения составляющих эксергии АБС (4) определяются следующим образом. Термомеханическая составляющая эксергии потока

$$e_{p, T, \text{абс}} = \sum g_j \cdot c_{pj} \cdot ((T_{\text{абс}} - T_0) - T_0 \cdot \ln T_{\text{абс}}/T_0), \text{ кДж/кг}, \quad (7)$$

где средние теплоемкости компонентов c_{pj} , кДж/(кг·К), определяются в интервале температур $T_0 - T_{\text{абс}}$, здесь T_0 , К – температура окружающей среды, $T_{\text{абс}}$, К – температура выпускаемой АБС; g_j – массовые доли компонентов АБС. Температуру готовой АБС можно принять равной 160 °С. Температуру окружающей среды – 20 °С. Удельная массовая, изобарная, средняя в интервале температур 20–160 °С теплоемкость АБС равна 1,51 кДж/(кг·К). Величина удельной массовой термомеханической составляющей эксергии АБС в этом случае находится из (7) $e_{p, T, \text{абс}} = 38,6$ кДж/кг.

Реакционная составляющая эксергии потока АБС

$$e_{r, \text{абс}} = \sum g_j \cdot e_{\mu, j}, \text{ кДж/кг}, \quad (8)$$

где $e_{\mu, j}$ – химические составляющие эксергии компонентов АБС, кДж/кг; g_j – массовые доли компонентов АБС. Учитывая определенные выше значения химических составляющих эксергии АБС, входящих в соотношение (8), и усредненного массового состава АБС, реакционная составляющая ее эксергии равна 2,52 МДж/кг.

Концентрационная составляющая эксергии потока АБС

$$e_{k, \text{абс}} = s_{\text{см}} \cdot w_{\text{ад}}, \text{ кДж/кг}. \quad (9)$$

Входящие в соотношение (9) энергия адгезионного взаимодействия определена ранее $w_{\text{ад}} = 60 \cdot 10^{-3}$ Дж/м², удельная поверхность минеральных компонентов смеси – $s_{\text{см}} = 29,0$ и 79 м²/кг соответственно для типа А и типа Д. В этом случае получаем $e_{k, \text{абс}} = 60 \cdot 10^{-3} \cdot 29,0 \cdot 10^3 = 1,74 \cdot 10^{-3}$ кДж/кг для АБС типа А и $4,76 \cdot 10^{-3}$ кДж/кг для АБС типа Д. Величина $e_{k, \text{абс}}$ и представления о связи ее с затратами энергии для проведения смешения хорошо согласуются с данными о потреблении энергии смесителями предприятий.

Используя полученные значения составляющих эксергии из соотношения (4) находится эксергия АБС в потоке

$$e_{\text{абс}} = e_{p, T, \text{абс}} + e_{k, \text{абс}} + e_{r, \text{абс}} = 38,6 + 2523 + 4,76 \cdot 10^{-3} = 2,56 \text{ МДж/кг}.$$

Доминирующая роль реакционной составляющей эксергии АБС, которая является транзитной составляющей в рассматриваемом технологическом процессе, обуславливает необходимость проведения эксергетических

оценок по методике, исключаяющей транзитные потоки. В противном случае заглушается объективная картина с оценкой термодинамической эффективности энергообеспечения теплотехнологии АБС.

В четвертой главе на базе эксергетического метода проведен термодинамический анализ производства нескольких схем сушильно-нагревательного барабана (СНБ) и АБЗ, рисунки 4, 5.

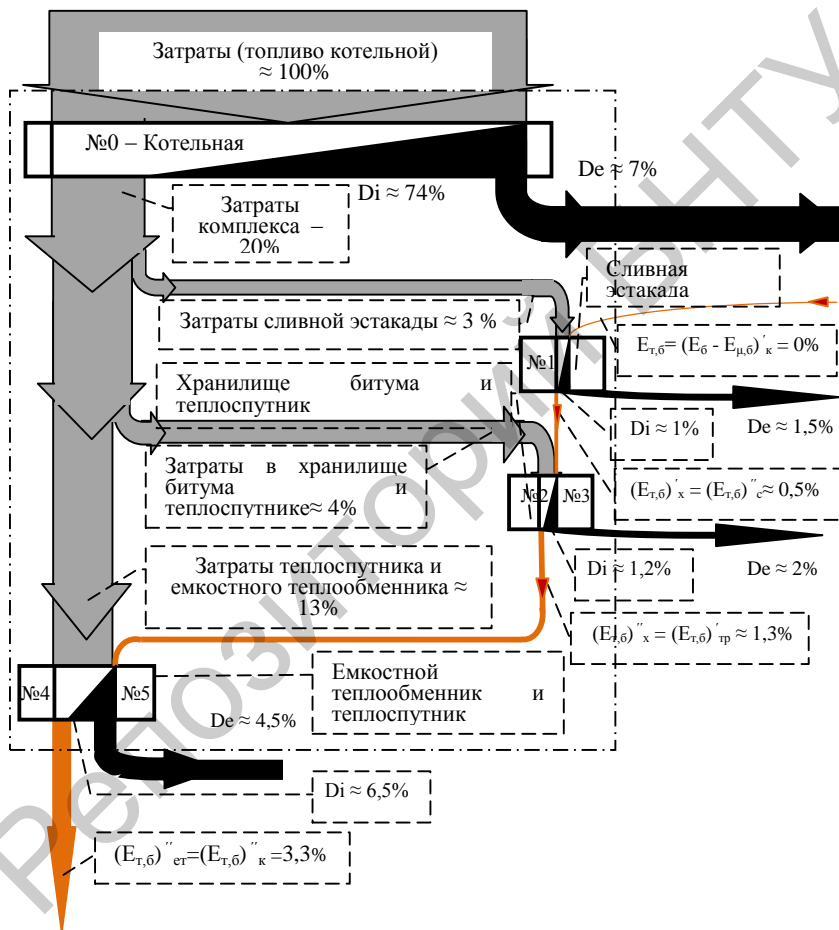


Рисунок 4 — Распределение эксергетических потоков в комплексе подготовки битума

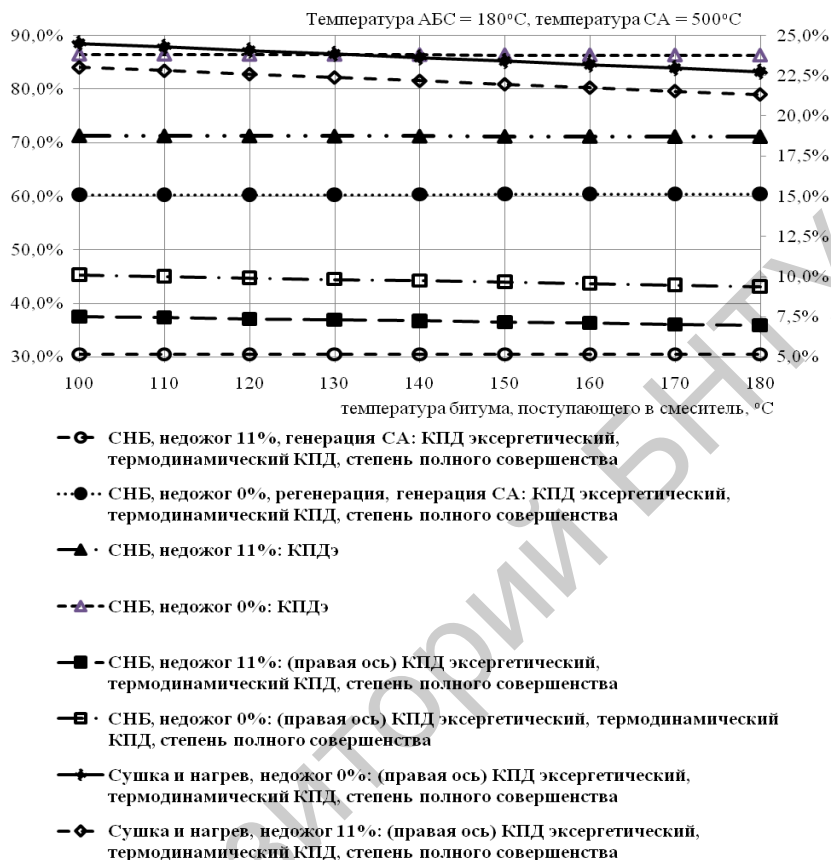


Рисунок 5 — Изменение относительных энергетических и эксергетических характеристик процесса тепловой обработки минеральных материалов в зависимости от температуры битума, поступающего в смеситель, для 2 схем подготовки СА, используемого в СНБ

Разработаны топологические модели технологического процесса АБС в форме совокупности структурных схем, матриц и графов. Показано расхождение структур теоретических затрат и энергопотребления технологических переделов: нагрева и обезвоживания минеральных заполнителей и битумного вяжущего. При подготовке битума имеет место значительный перерасход энергии в сравнении с линией подготовки минеральных заполнителей. Величина термодинамического КПД (η_e) смесителя находится в пределах 40–55 % и растет с уменьшением температуры битума по отношению к температуре готовой АБС. Величина η_e смесителя не может быть изменена в контексте улучшения энергетических характеристик в связи с

определяющей ролью внутреннего трения в дисперсном материале, подвергающемуся перемешиванию. Можно говорить лишь об улучшении работы смесителя в технологическом отношении.

Анализ работы СНБ показал необходимость изменения традиционной схемы генерации сушильного агента (СА), в которой дымовые газы разбавляются воздухом и через факел горения просыпаются частицы минерального материала. В результате имеет место рассеяние энергии с избыточным воздухом на уровне 7 % и механический недожог, составляющий величину до 13 %. В предлагаемой схеме СНБ обеспечивается 16 % снижение расхода топлива.

В пятой главе рассматриваются мероприятия дальнейшего снижения энергопотребления на АБЗ до теоретического минимума. Энергосберегающий потенциал теплотехнологии АБС превышает 50 %. Его реализацию можно разделить на два этапа. В первый входят рассмотренные выше малозатратные проекты, реализуемые прежде всего. Мероприятия второй группы требуют значительные инвестиции и связаны с блокированием внутренних потерь эксергии, например, путем интеграции в структуру АБЗ газовых тепловых двигателей внутреннего сгорания, рисунок 6.

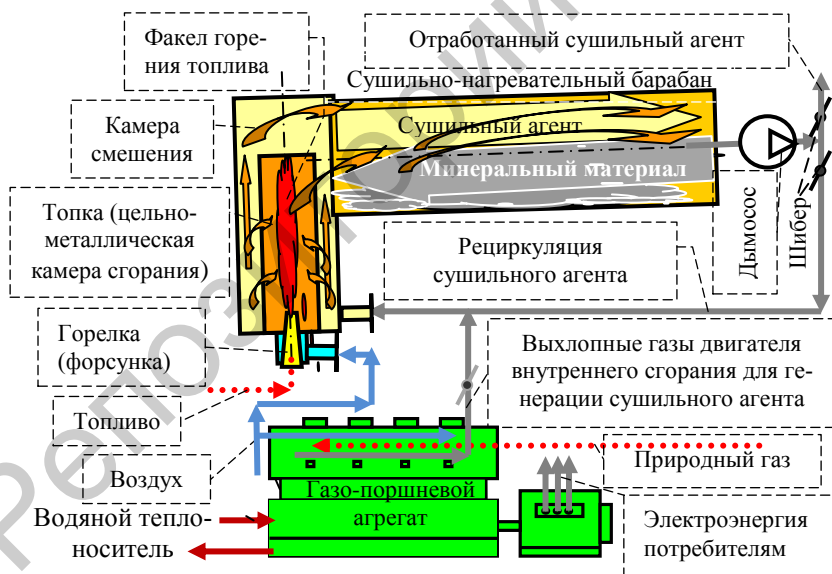


Рисунок 6 — Схема комплекса для комбинированной выработки энергопотоков на базе теплотехнологии горячей АБС, образованная в результате сопряжения двигателя внутреннего сгорания и СНБ

Рассматриваются необходимые и достаточные условия для реализации этих мероприятий, базирующихся на требованиях второго закона термо-

динамики, создающие предпосылки для качественного изменения энергопотребления при производстве АБС, о чем указывают энергетические и эксергетические характеристики производства, вытекающие из его термодинамического анализа, рисунок 7.

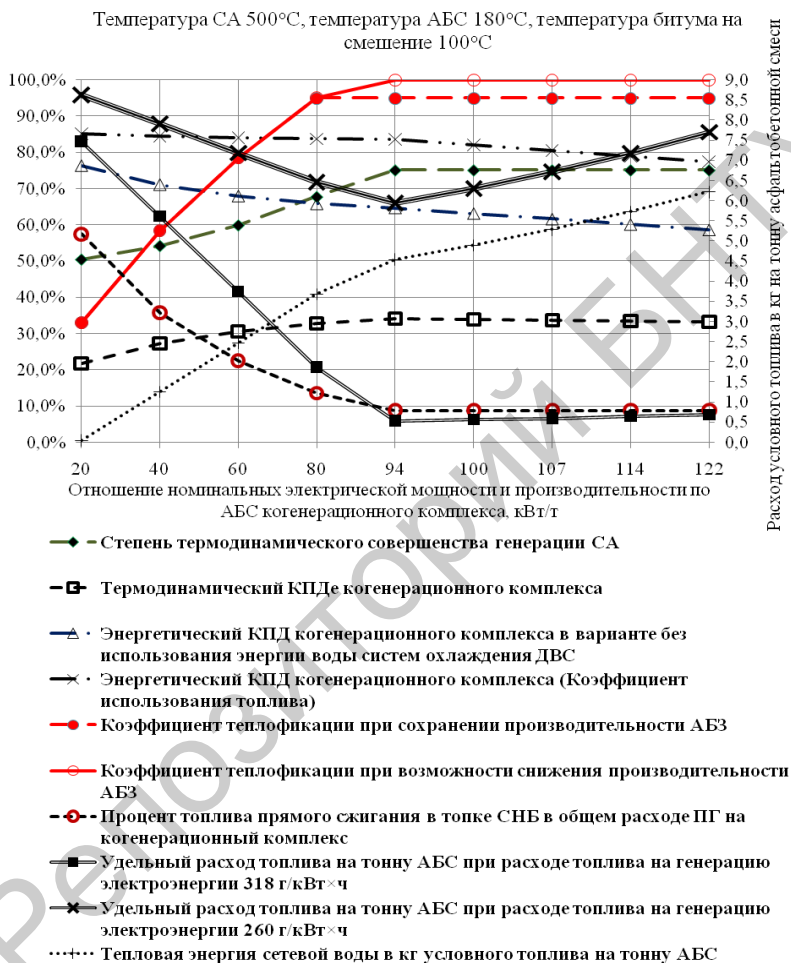


Рисунок 7 – Влияние электрической мощности когенерационного комплекса на базе тепловых нагрузок подготовительного производства на его относительные энергетические характеристики

В заключение системного подхода к выявлению и реализации максимально полного энергосберегающего потенциала рассматривается возможность использования будущих когенерационных энерготехнологи-

ческих комплексов большинства АБЗ системы Департамента «Белавтодор», суммарная электрическая мощность которых оценивается от 0,3 до 0,6 ГВт, для обеспечения графиков электрических нагрузок энергосистемы Беларуси. Тому способствует следующее обстоятельство: время работы АБЗ в течение светового дня и время суточных пиковых и полупиковых нагрузок энергосистемы совпадают. Отмечается хорошая повторяемость графиков нагрузок энергосистемы в течение длительного периода. Когенерационные комплексы АБЗ будут работать только в часы максимальной нагрузки энергосистемы, существенно снижая пиковую нагрузку на централизованные мощности последней. В зимний период, когда АБЗ не работают, когенерационные комплексы, имеющие контейнерное исполнение, перемещаются на отопительные котельные энергосистемы и далее обеспечивают генерацию в пиковый и полупиковый периоды суточного графика потребления электроэнергии.

Предлагаемая совместная деятельность обеспечивает финансовую выгоду Департаменту «Белавтодор» и Минэнерго и снижает годовую потребность Респ. Беларусь в ПГ на 0,4–0,7 млн т у.т. Анализ экономической эффективности проекта показал наличие его доходности при величинах ставки дисконтирования до 40 %, рисунок 8.

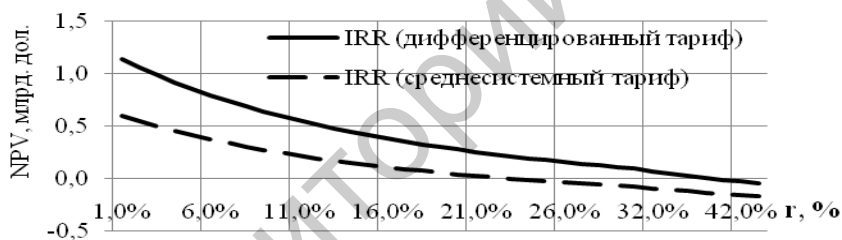


Рисунок 8 – Зависимость значения чистого приведенного дохода от ставки дисконтирования (r) при постоянном макроэкономическом окружении и 2 вариантах тарифа на электроэнергию, не зависящем и зависящем от времени потребления в течение суток (горизонт расчета 10 лет)

В шестой главе рассматривается возможное изменение теплотехнологии получения АБЗ в контексте требований ее эффективного энергообеспечения. Предлагается улучшение теплотехнологии получения асфальтобетона, защищенное патентом Беларуси, понижающее энергоемкость и упрощающее состав оборудования АБЗ, в результате применение битума заключенного в оболочку из полимера, например, из полиэтилена высокого давления (ПЭВД). Кроме решения задач повышения энергоэффективности возможно повышение морозостойкости и улучшении свойств асфальтобетона за счет добавок полимеров образующих капсулирующую оболочку при обеспечении должной степени их совместимости с битумом. В контексте изложения решены две задачи, касающиеся:

1. Экспериментального исследования термодинамической совместимости ПЭВД с битумом БНД 90/130, проведенного в данной работе.

2. Экспериментального определения свойств асфальтобетона, полученного с применением битума, содержащего добавку ПЭВД в виде твердой фракции, которая распределяется в АБС в ходе перемешивания в смесителе.

Экспериментальные исследования свойств термодинамической совместимости, проводились с помощью 2 независимых методов на установках:

1. На основе обратного крутильного маятника оригинальной конструкции, управляемом с помощью компьютера, разработанном в институте металлополимерных систем НАН Беларуси, где и были проведены эксперименты. Установка позволяет непрерывно фиксировать модуль сдвига (G') и тангенс угла механических потерь ($\text{tg } \delta$) в процессе колебаний при изменении температуры, т.е. получать релаксационные спектры. В итоге были исследованы динамические механические свойства смеси битума с ПЭВД в широком температурном интервале; установлены фазовые переходы в смеси указанных материалов; определена степень совместимости химических компонентов смеси битума и ПЭВД.

2. На основе широко известного дериватографического анализа с помощью дериватографа ОД-102 (фирма МОМ Будапешт).

Качественный характер полученных спектров достоверен, что подтверждается совпадением контрольных спектров, полученных для битума и ПЭВД с литературными данными. Зарегистрированы температурные зависимости $\text{tg } \delta$ и G' для смеси «битум—ПЭВД» для различных концентраций ПЭВД (массовые концентрации: 0,5; 3,0; 7,0; 10,0; 15,0 %). Во всем интервале концентраций ПЭВД релаксационные спектры битума и смесей качественно идентичны, рисунки 9, 10.

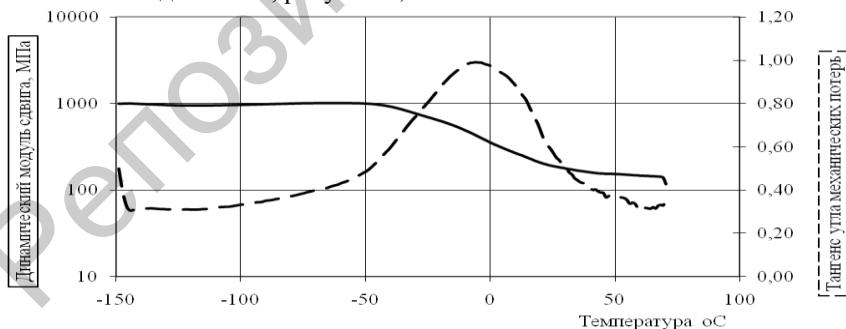


Рисунок 9 — Релаксационные спектры смеси «битум – 3 % ПЭВД»

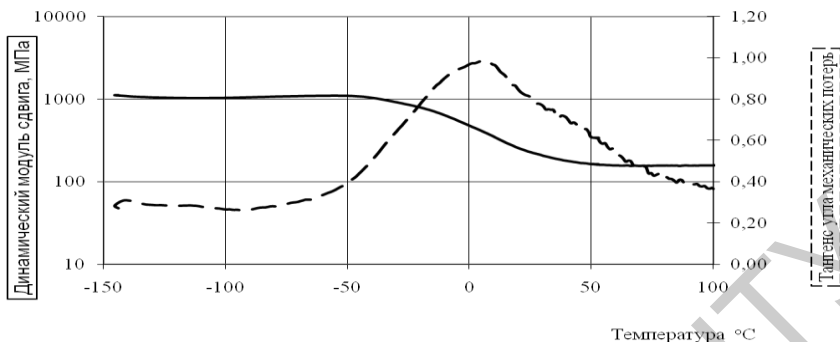


Рисунок 10 — Релаксационные спектры смеси «битум – 0,5 % ПЭВД»

На температурной зависимости $\text{tg}\delta$ отмечается один экстремум, связанный с процессом стеклования, и его положение, по мере повышения концентрации полиэтилена, смещается в низкотемпературную область. Для чистого битума он находится при температуре $+5\text{ }^\circ\text{C}$, для смеси с 15 % концентрацией ПЭВД в битуме — при минус $27\text{ }^\circ\text{C}$. Это свидетельствует о том, что компоненты данной смеси совместимы на сегментальном уровне. Кроме того, очевидно, что добавки ПЭВД способствуют понижению температуры стеклования материала, а значит и повышению морозостойкости битума и, следовательно, асфальтобетона на его основе. Исходя из изложенного, на основе сопоставления полученных экспериментальных данных методом релаксационной спектроскопии можно сделать следующие выводы:

1. Для массовых концентраций ПЭВД в битуме до 3 % отмечается удовлетворительная совместимость компонентов (смесь характеризуется наличием единой температуры стеклования).
2. Для тех же массовых концентраций ПЭВД в битуме до 15 % отмечается повышение морозостойкости смеси на $30\text{ }^\circ\text{C}$. Температура стеклования битума смещается в низкотемпературную область примерно на $30\text{ }^\circ\text{C}$: от плюс $5\text{ }^\circ\text{C}$ у чистого битума до минус $25\text{ }^\circ\text{C}$ у смеси битума и 15 % ПЭВД.

Приведенные результаты подтверждены в ходе контрольных экспериментов с помощью дериватографического анализа на дериватографе ОД-102 (фирма «МОМ», г. Будапешт). Полученные результаты подтверждаются другими исследованиями, например, по данным «БелдорНИИ» добавка до 3 % ПЭВД к битуму БНД 90/130 (пенетрация 100) не ухудшает его вяжущего материала, а повышает показатели $T_{\text{кнш}}$, оставляя $T_{\text{хр}}$ практически на уровне исходного битума.

Вторая задача, в контексте применения капсулированного битума, связана с экспериментальным определением свойств асфальтобетона, полу-

ченного на его основе и добавки ПЭВД в виде твердой фракции, распределяемой в АБС в процессе перемешивания. Результаты исследований образцов не выявили отклонений свойств асфальтобетона от требований СТБ 1033–2004 и ГОСТ 9128–84 (таблица).

Результаты исследований свойств асфальтобетона

№ состава	Содержание ПЭВД в, %, масс.	ρ , кг/м ³	W, %	H, %	R_{50} , МПа	$R_{СДВ}$, МПа	R_0 , МПа	Индекс трещи- ностой- кости
I. Смесь приготавливались в мешалке в течение 15 минут при 170 °С								
1	0	2,50	0,4	0	1,95	2,09	2,7	1,38
2	3	2,48	0,5	0	1,90	2,30	2,5	1,30
3	5	2,46	0,8	0	1,85	2,34	2,4	1,20
4	7	2,45	0,7	0	1,86	2,40	2,1	1,15
II. Смесь приготавливались в мешалке в течение 2 часов при 175 °С								
5	3	2,5	0,2	0	1,43	2,8	2,1	1,38
6	5	2,49	0,2	0	1,46	3,01	2,1	1,25
7	7	2,49	0,3	0	1,38	3,08	2,2	1,22
Требования нормативных документов								
СТБ 1033–2004	–	не более 3	не более 0,5	не менее 1,1	не менее 2,0	не более 3,0	не менее 1,0	

При проведении соответствующих экспериментов использовались составы контрольной и опытных смесей для асфальтобетона (тип А): щебень фракций 5–10 мм – 65 %; отсев – 14 %; песок природный – 15 %; минеральный порошок – 6 %; битум БНД 90/130 – 6 %. АБС приготавливалась путем смешения минеральной части с битумом ($\Pi_{25} = 125$) и гранулами ПЭВД в смесителе при температурах 170–175 °С.

Для апробации предложенных технических решений по применению капсулированию битума ПЭВД проделана серия соответствующих расчетов и экспериментов по выбору геометрических характеристик капсул. В их задачи входило оценить эффективность капсулирования для предотвращения слипания капсул (гранул) битума и апробировать возможность реализации предложенных технологических схем. Определены форма и размеры капсулы, толщина оболочки, обеспечивающие, с одной стороны, соблюдение характеристик найденных выше модифицированного битумного вяжущего, с другой, – обеспечение изготовления, транспорта и складирования капсулированного битума.

В результате применения капсулированного битума состав теплотехнологического оборудования АБЗ сокращается до двух агрегатов: сушильно-нагревательного барабана и смесителя, что обеспечивает использование мобильных заводов.

В седьмой главе представлены результаты исследований, и практических внедрений, выполненных на основании результатов данной работы, для различных теплотехнологий.

Анализ цементного производства на ПРУП «Белорусский цементный завод» показал, что наименее эффективно топливо используется в сырьевом отделении завода, где используется сушильный агент при температуре 500 °С, получаемый путем прямого сжигания в топке 3,4 тыс. м³/ч ПГ. По результатам данной работы изменено энергообеспечение сушилки путем создания когенерационной установки генерирующей сушильный агент и электроэнергию с помощью двух газотурбинных установок (ГТУ) единичной мощностью 16 МВт, рисунок 11.

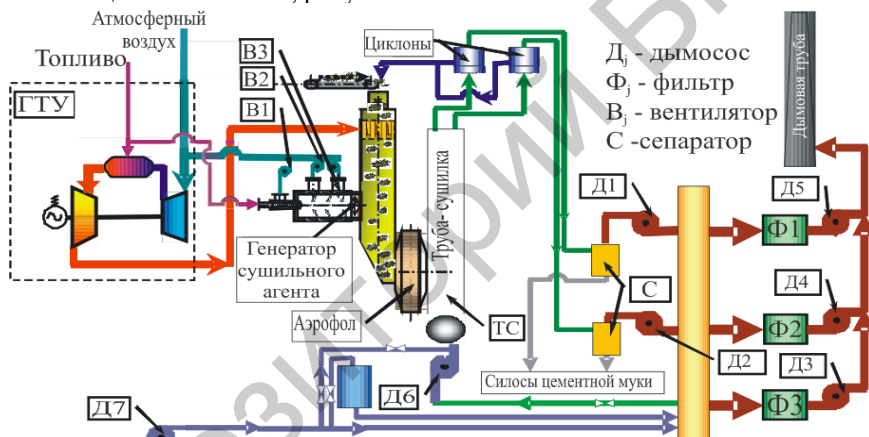


Рисунок 11 — Принципиальная схема когенерационного теплотехнологического модуля на ПРУП «Белорусский цементный завод»

Основная часть ПГ (5,1 тыс. м³/ч) поступает в ГТУ, которая генерирует потоки электроэнергии и выхлопных газов. Последние распределяются по загрузочной шахте, чем блокируются присосы воздуха в шахту через сечение загрузки сушимого материала. Часть выхлопных газов поступает в топку в роли окислителя ПГ, сжигаемого в количестве около 0,7 тыс. м³/ч для обеспечения требуемой температуры сушильного агента. Кроме того, это решение обеспечивает плавный переход на работу участка по штатной схеме без ГТУ, чем достигается непрерывность основного технологического процесса.

Годовая наработка установки в часах с номинальной мощностью составила 8,2 тыс., что является рекордным значением для данного типа ГТУ. Удельный расход условного топлива на киловатт-час электроэнергии, вырабатываемой когенерационной установкой, составляет величину 197 г. На замещаемой Лукомльской ГРЭС эта характеристика имеет величину 320 г, которую, с учетом потерь на транспорт электроэнергии, следует увеличить на 5 %. Годовое снижение расхода ПГ от внедрения одной ГТУ оценивается около 26 тыс. т у.т. Уменьшена энергетическая составляющая себестоимости цемента на ПРУП «Белорусский цементный завод» и достигнуто общее снижение себестоимости продукции до 25 %.

Аналогичная интеграция ДВС в систему ТЭСПП осуществлена для производств красного кирпича, керамической плитки, доломита, химволокна, в технологию первичной подготовки нефти и попутного нефтяного газа, поваренной соли, прювита и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе в результате обобщения выполненных теоретических и экспериментальных исследований развиты концептуальные основы интенсивного энергосбережения в сфере промышленных теплотехнологий, заключающиеся в необходимости блокирования потерь эксергии в технических системах путем рационализации структуры ТЭСПП, основанной на принципе интеграции технологической и энергетической функций промышленных объектов. Разработана методология построения оптимальных энерготехнологических схем теплотехнологических систем, теоретические положения и методики их реструктуризации на примере асфальтобетонного производства. Предложена научно-обоснованная энергоэффективная модификация технологии производства асфальтобетонной смеси, защищенная патентом Респ. Беларусь. На ее базе возможно создание мобильных асфальтобетонных заводов, обеспечивающих дальнейшее снижение удельных затрат энергии как на производство, так и на доставку асфальтобетонной смеси к месту строительства асфальтобетонного покрытия. Обеспечена реализация ряда конкретных энергетических проектов в области производства строительных материалов и других теплотехнологий. В совокупности это позволяет одновременно решать сопряженные проблемы энергообеспечения и экологической безопасности теплотехнологических производств. Кроме прямого эффекта (снижения энергоемкости производимой продукции), выявлена возможность способствовать обеспечению устойчивости энергосистемы за счет привлечения к регулированию генерации электроэнергии мощностей распределенных когенерационных технологических источников.

Основные научные результаты диссертации

1. На основании аналитического информационного анализа показано, что углеводороды, в промышленности — ПГ, в ближайшее столетие следует считать основным первичным энергоресурсом. Снижать его потребление следует не за счет вытеснения, а за счет повышения эффективности использования, как наиболее перспективного в отношении энергоэкономии первичного энергоресурса. Большинство теплотехнологических производств Беларуси находится на такой стадии своего развития, когда вложение инвестиций в модернизацию их энергообеспечения для повышения эффективности использования первичных энергоресурсов является экономически целесообразным и перспективным. Исходя из сложившейся структуры энергопотребления в Респ. Беларусь, прогнозов возможных сценариев развития национальной экономики и требования не менее двукратного снижения энергоёмкости ВВП, необходима реабилитация существующих теплотехнологических производств, сочетающая при их модернизации применение инновационных технологий и качественное изменение их энергообеспечения на базе положений второго закона термодинамики. В этом случае достигается максимально полная реализация энергосберегающего потенциала, которая относительно существующего положения составляет около 40 %, что снижает энергоёмкость ВВП до требуемого уровня, изменяет структуру приходной части энергобаланса, в которой доля ПГ снижается до 50 % — значения, соответствующего требованию энергетической безопасности страны, [1–4, 6, 7, 9–12, 14, 15, 19–21, 23–30, 33–38, 40–43, 61–67, 71–76, 105].

2. На основе термодинамического анализа показана энергетическая необходимость изменения энергетического обеспечения промышленных теплотехнологий на базе современных тепловых двигателей внутреннего сгорания, как газотурбинных, так и газо-поршневых, что позволяет снизить потребление ПГ до 40 %, упомянутые выше. Разработаны схемы интеграции двигателей внутреннего сгорания с теплотехнологическим оборудованием, которые создали базу для реализации конкретных проектов в области промышленного производства. Их отличает возможность работы при любой изменяемой величине замещения прямого сжигания ПГ, определяемой требованиями основного технологического процесса или возможностями двигателей внутреннего сгорания, интегрируемых в него, а также с учетом ограничений, определяемых параллельно работающей энергосистемой, обеспечивающей надежность электроснабжения предприятия. Показана техническая возможность и экономическая целесообразность адаптации теплотехнологий к требованиям современного энергообеспечения для снижения удельного энергопотребления до теоретически обоснованной, в случае асфальтобетонной смеси до 1,4–0,2 ГДж/т, [1, 3, 5–7, 12–14, 19, 20, 23, 28–30, 33, 35, 38, 51–54, 58, 61–65, 76, 84–93, 95–97, 101–105].

3. Реализация максимального энергосберегающего потенциала обеспечивается за счет рационального построения теплоэнергетической систе-

мы промышленного предприятия, использующего иерархическую структуру, ориентированную на минимизацию внешнего энергопотребления, в которой автономные энергогенерирующие источники, в том числе и внешние, используются лишь для покрытия дисбалансов. Разработанные теоретические положения, методики и практические рекомендации обеспечивают научно обоснованную реструктуризацию теплоэнергетической системы промышленного предприятия по выпуску асфальтобетонной смеси, которая доказывают возможность уменьшения остроты проблем энергосбережения, экологической безопасности, реабилитации других существующих апробированных теплотехнологий, связанной с повышением эффективности использования энергии ПГ путем применения комбинированных энергетических установок для энергообеспечения теплотехнологий. В результате на примере асфальтобетонной смеси достигается более чем в два раза снижение удельного энергопотребления с 0,4 до 0,2 ГДж/т, [1–4, 9–11, 26, 27, 37, 40, 42, 57, 72, 75, 103–105].

4. Впервые проведен эксергетический анализ и термодинамическая оптимизация асфальтобетонного производства, в ходе которого рассмотрены составляющие эксергии асфальтобетонной смеси, предложены методика и аналитические зависимости для их расчета. Впервые предложена физико-математическая модель определения концентрационной составляющей эксергии асфальтобетонной смеси, связавшая указанную составляющую с энергией адгезионного взаимодействия между минеральными материалами и битумом, входящих в асфальтобетонную смесь. На основе предложенной модели получены зависимости для расчета концентрационной составляющей эксергии асфальтобетонной смеси. Рассчитана концентрационная составляющая эксергии, определяющая меру необходимого энергетического воздействия при смешении материалов, образующих асфальтобетонной смеси, на конечной стадии ее производства, [1, 5, 8, 17, 22, 66, 102, 104].

5. Технически обоснована возможность и экономически подтверждена целесообразность использования газо-поршневых агрегатов в составе когенерационных комплексов асфальтобетонных заводов для регулирования генерации электроэнергии в соответствии с электрической нагрузкой. Впервые предложено перейти к совместному выпуску продукции Минэнерго и промышленными предприятиями, что обеспечивает только на базе предприятий департамента «Белавтодор» совокупную годовую экономию более 500 тыс. т у.т., [1, 23].

6. Впервые предложено научно-техническое решение – заключить битумный вяжущий материал в капсулу из полимера. Проведены экспериментальные и аналитические исследования, позволившие оптимизировать размеры капсулы и оболочки, обеспечивающие требуемые конечные свойства битумного вяжущего и механические характеристики капсулы, необходимые для использования этого квазинового битумного вяжущего мате-

риала. Рассматривается технология доставки, хранения и использования битума, капсулированного оболочкой из полиэтилена высокого давления, в том числе и из полимерных отходов. Разработана новая технология получения асфальтобетонной смеси, которая защищена патентом Республики Беларусь, и на ее основе предложены энерготехнологические схемы реструктуризации асфальтобетонных заводов, позволяющие перейти к мобильным установкам производства данной продукции, снижающие энергозатраты на перевозку асфальтобетонной смеси, удельный вес которых в общем расходе энергии на создание асфальтобетонного покрытия находится на уровне 60 %, [1, 14, 16, 18, 31, 32, 34, 36, 39, 45, 47, 49, 50, 94, 100].

Практическое использование результатов

1. Практическая и экономическая значимость результатов диссертационной работы заключается в возможности их использования для научного обоснования технических решений, обеспечивающих экономию топлива и снижения выбросов парников газов в атмосферу в ходе: модернизации и создания рациональных теплоэнергетических систем промышленного предприятия как в отношении структуры, так и в оптимизации режимов их работы в зависимости от конкретных условий. Анализ и структурно-параметрическая оптимизация ТЭСПП позволили выявить резервы повышения энергоэффективности теплотехнологических систем, обеспечивающие снижение потребления ПГ до 40 %.

2. На основании выполненных исследований внедрены современные способы когенерационного обеспечения теплотехнологий цемента, красного кирпича, керамической плитки, первичной подготовки нефти и попутного нефтяного газа, производства полиэфирных нитей, поваренной соли и др. В результате вышеуказанного внедрения когенерационного обеспечения теплотехнологии производства цемента на ПРУП «Белорусский цементный завод» себестоимость продукции снизилась на величину около 25 %, годовая потребность в импорте ПГ для обеспечения работы предприятия уменьшилась на 26 тыс. т у.т.

3. Внедрение такого энергообеспечения теплотехнологии на Белорусском газоперерабатывающем заводе в составе РУП «ПО «Белоруснефть» привело к снижению потребности Респ. Беларусь на 30 тыс. т в год и ЦППС «Осташковичи» РУП «ПО «Белоруснефть» на 8 тыс. т в год. Такой же энергетический эффект дает внедрение технологической когенерации на заводе полиэфирных нитей в составе ОАО «Могилевхимволокно», РУП «Новополоцкий БВК», ОАО «Мозыр соль» и другие.

4. Разработаны обоснования инвестиций для внедрения новых способов энергообеспечения теплотехнологических процессов:

- красного кирпича на Минском заводе строительных материалов и Витебском ОАО «Керамика»;
- участка сушки линии производства цемента ОАО «Красносельск-стройматериалы» годовой производительностью 1,5 млн т;

- керамической плитки на Березовском комбинате стройматериалов;
- доломитового порошка на заводе в п. Руба г. Витебска;
- покраски на Гомельском заводе литья и нормалей.

5. Разработан и внедрен на ОАО «Амкодор-Мож» (г. Крупки) типоразмерный ряд теплогенераторов работающих на местных видах топлива, которыми укомплектовываются зерносушилки сельскохозяйственных предприятий Респ. Беларусь.

6. Результаты исследований используются в учебном процессе в БНТУ в курсовом, дипломном проектировании и диссертационных магистерских работах на кафедрах «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника», «Тепловые электрические станции», «Строительство и эксплуатация дорог», «Экономика энергетики», а также при чтении лекций по дисциплинам: «Техническая термодинамика» для студентов специальностей «Промышленная теплоэнергетика», «Тепловые электрические станции»; «Теплоэнергетические системы промышленных предприятий» для студентов специальностей «Промышленная теплоэнергетика»; «Дорожно-строительные материалы», «Строительные материалы в мосто- и тоннелестроении» и «Производственные предприятия дорожной отрасли» для студентов специальностей «Автомобильные дороги», «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены».

7. По результатам работы Департамент «БЕЛАВТОДОР» Министерства транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь выпустил «Рекомендации по снижению энергозатрат при производстве асфальтобетонных смесей» ДМД 02191.7.004—2008, утвержденные приказом № 39 от 22.02.2008 г.

8. Экономия энергоресурсов от внедрения перечисленных разработок автора, реализованных при его непосредственном участии, превышает 100 тыс. т у.т. в год.

СПИСОК НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИСЕРТАЦИИ

Монография

1. Романюк, В.Н. Интенсивное энергосбережение в промышленных теплотехнологиях / Под общ. ред. д-р техн. наук, проф., акад. НАН Беларуси Б.М. Хрусталева. — Минск: БНТУ, 2009. — 380 с.

Статьи в научных журналах, включенных в перечень ВАК

2. Романюк, В.Н. Анализ энергопотребления на АБЗ / В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев // Автомобильные дороги. — 1995. — № 3—4. — С. 25, 26.
3. Романюк, В.Н. Рациональное энергопотребление на производственных предприятиях дорожной отрасли / В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев // Известия Белорусской инженерной академии. — 1998. — № 2(6). — С. 26—33.
4. Романюк, В.Н. Модернизация асфальтобетонных заводов и снижение

- энергозатрат при производстве асфальтобетонной смеси / В.Н. Романюк // Известия вузов и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 1998. – № 6. – С. 72–77.
5. Романюк, В.Н. Термодинамическая оценка варианта энерготехнологической модернизации асфальтобетонного производства / В.Н. Романюк, В.М. Копко, Д.В. Синько // Известия вузов и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 1999. – № 4. – С. 68–71.
 6. Романюк, В.Н. Энерготехнологическая реструктуризация производственных предприятий дорожной отрасли / В.Н. Романюк // Известия вузов и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 1999. – № 2. – С. 46–51.
 7. Романюк, В.Н. К вопросу энерготехнологической модернизации асфальтобетонного производства / В.Н. Романюк // Известия вузов и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 1999. – № 3. – С. 68–70.
 8. Романюк, В.Н. Определение требуемого энергетического воздействия при образовании асфальтобетонной смеси / В.Н. Романюк // Известия вузов и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 1999. – № 6 – С. 63–66.
 9. Романюк, В.Н. Энерготехнологическая перестройка производственных предприятий / В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев // Известия Белорусской инженерной академии. – 2000. – № 2(10). – С. 15–19.
 10. Романюк, В.Н. К вопросу рационального построения теплоэнергетической системы промышленных предприятий / В.Н. Романюк, В.К. Судиловский, И.В. Баук, Е.В. Томкунас // Известия вузов и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2001. – № 5. – С. 81–86.
 11. Романюк, В.Н. К вопросу повышения эффективности использования топлива теплотехнологических производств / В.Н. Романюк, И.В. Баук, Е.В. Томкунас // Энергоэффективность. – 2001. – № 9. – С. 12–13.
 12. Романюк, В.Н. Энергоэффективные газотурбинные и парогазовые технологии в промышленности строительных материалов / В.Н. Романюк, Л.В. Соколовский, В.К. Судиловский, Я.Н. Ковалев, Е.В. Томкунас, И.В. Баук // Известия Белорусской инженерной академии. – 2002. – № 1(13). – С. 53–57.
 13. Романюк, В.Н. Многофункциональный комбинированный генерирующий источник энергопоток на основе газотурбинного привода потребителей механической энергии / В.Н. Романюк, В.Н. Радкевич, В.К. Судиловский, И.В. Баук, Е.В. Томкунас // Энергоэффективность. – 2002. – № 2. – С. 7–9.
 14. Романюк, В.Н. Энерготехнология производства асфальтобетонных смесей / В.Н. Романюк // Вестник БНТУ. – 2003. – № 4. – С. 53–55.

15. Романюк, В.Н. Изменение традиционной технологии асфальтобетонной смеси под воздействием обратной связи энерготехнологической перестройки производства / В.Н. Романюк // Известия вузов и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2003. – № 6. – С. 55–61.
16. Романюк, В.Н. Капсулирование битума химически совместимой полимерной добавкой и свойства модифицированного вяжущего / В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев, С.С. Песецкий, В.Н. Коваль // Известия Белорусской инженерной академии. – 2003. – № 1(15). – С. 36–40.
17. Романюк, В.Н. Эксергия асфальтобетонной смеси / В.Н. Романюк // Известия вузов и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2003. – № 4. – С. 69–76.
18. Романюк, В.Н. Свойства асфальтобетона с применением битума, капсулированного в полиэтиленовую оболочку / В.Н. Романюк // Вестник БНТУ. – 2004. – № 1. – С. 79–80.
19. Судиловский, В.К. Когенерационные теплотехнологические комплексы химических технологий / В.К. Судиловский, В.Н. Романюк, А.В. Бычковский, В.В. Судиловская, А.Н. Дубина // Энергоэффективность. – 2005. – № 7. – С. 22–24.
20. Романюк, В.Н. Возможности качественного расширения теплофикации на базе теплотехнологических систем преобразования вещества / В.Н. Романюк, В.К. Судиловский // Известия вузов и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2005. – № 6. – С. 48–54.
21. Романюк, В.Н. Энергосбережение при производстве асфальтобетонных смесей / В.Н. Романюк // Автомобильные дороги и мосты. – 2008. – № 1. – С. 126–129.
22. Хрусталеv, Б.М. Определение требуемого энергетического воздействия при образовании асфальтобетонной смеси / Б.М. Хрусталеv, В.Н. Романюк // Известия вузов и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2009. – № 4. – С. 42–48.
23. Хрусталеv, Б.М. К вопросу обеспечения графиков электрической нагрузки энергосистемы с привлечением потенциала энерготехнологических источников промышленных предприятий / Б.М. Хрусталеv, В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев, Н.А. Коломыцкая // Энергетика и менеджмент. – 2010. – № 1. – С. 4–11.

Статьи в сборниках трудов и материалов международных и республиканских конференций, научно-технических журналах, депонированные статьи в научных журналах, не включенных в перечень ВАК

24. Романюк, В.Н. Адаптация технологии производства асфальтобетонной смеси к новым энергетическим условиям / В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев // Проблемы технологии строительных материалов, изделий и конструкций, строительства зданий и сооружений: сб. ст. II межвуз. науч.-техн. конф.: в 2 ч. / БПИ. – Брест, 1998. – Ч. 1. – С. 205–209.
25. Романюк, В.Н. Рациональное энергопотребление на производственных предприятиях дорожной отрасли / В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев // 70 лет Белорусской дорожной науке, 1928–1998. Юбилейный выпуск: сб. науч. тр. – Минск: Комитет по автомобильным дорогам, 1998. – С. 110–118.
26. Романюк, В.Н. Энерготехнологическая реструктуризация асфальтобетонного производства / В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев // 70 лет МАДИ (ТУ). Автотранспортный комплекс. Проблемы и перспективы развития: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. 11 декабря 2000 г. – М.: М-во образования РФ, МАДИ (ТУ), 2000. – С. 124–128.
27. Романюк, В.Н. Энерготехнологическая реструктуризация производственных предприятий дорожной отрасли / В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев // Науч.-техн. проблемы дорожной отрасли стран СНГ: сб. науч. тр. – М.: Межправительственный совет дорожников, 2000. – С. 223–227.
28. Романюк, В.Н. Когенерация в промышленности строительных материалов / В.Н. Романюк, В.К. Судиловский, Я.Н. Ковалев, Е.В. Томкунас, И.В. Баук // Проблемы совершенствования технологии, организации, экономики и управления в строительстве: сб. тр. Междунар. науч.-практич. конф. г. Минск, 18–19 октября 2002 г. – Минск: УП «Технопринт», 2002. – С. 403–407.
29. Романюк, В.Н. Энерготехнологическая реструктуризация на примере производства асфальтобетонной смеси / В.Н. Романюк // Вестник УГТУ-УПИ. – Екатеринбург, 2003. – № 8 (28). – С. 269–273.
30. Романюк, В.Н. Энергоэффективные газотурбинные и парогазовые технологии в промышленности строительных материалов / В.Н. Романюк, В.К. Судиловский, Е.В. Томкунас, И.В. Баук // Вестник УГТУ-УПИ. – Екатеринбург, 2003. – № 8 (28). – С. 124–129.
31. Романюк, В.Н. Свойства асфальтобетона с применением битума, капсулированного в полиэтиленовую оболочку / В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев, Д.Г. Игошкин // Проблемы повышения качества и ресурсосбережения в дорожной отрасли: сб. тр. Междун. науч.-техн. конф. 27–28 мая 2003 г. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – С. 201–203.
32. Романюк, В.Н. Капсулирование битума химически совместимой по-

- лимерной добавкой и свойства модифицированного вяжущего / В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев, С.С. Песецкий, В.В. Коваль // Проблемы повышения качества и ресурсосбережения в дорожной отрасли: сб. тр. Междун. науч.-техн. конф. 27–28 мая 2003 г. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – С. 246–248.
33. Романюк, В.Н. Эффективное энергообеспечение технологии производства асфальтобетонных смесей / В.Н. Романюк // Проблемы повышения качества и ресурсосбережения в дорожной отрасли: сб. тр. Междун. науч.-техн. конф. 27–28 мая 2003 г. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – С. 249–251.
34. Романюк, В.Н. Технология производства асфальтобетонных смесей на основе капсулированного битума / В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев // Проблемы повышения качества и ресурсосбережения в дорожной отрасли: сб. тр. Междун. науч.-техн. конф. 27–28 мая 2003 г. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – С. 252–254.
35. Романюк, В.Н. Энергоэффективные теплотехнологические технологии в промышленности строительных материалов / В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев, В.К. Судилковский, Е.В. Томкунс, И.В. Баук., М.М. Савко, А.В. Нерезько // Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии: Междун. конгр. 16–18 сентября 2003 г. – Белгород: БИЭИ, 2003. – С. 184–187.
36. Романюк, В.Н. Изменение традиционной технологии асфальтобетонной смеси под воздействием обратной связи энерготехнологической перестройки производства / В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев // Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии: Междун. конгр. 16–18 сентября 2003 г. – Белгород: БИЭИ, 2003. – С. 122–125.
37. Романюк, В.Н. Энерготехнологическая реструктуризация на примере производства асфальтобетонных смесей / В.Н. Романюк // Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии: Междун. конгр. 5–7 октября 2005 г. – Белгород: БИЭИ, 2005. – С. 408–411.
38. Романюк, В.Н. Энергоэффективные газотурбинные и парогазовые технологии в промышленности строительных материалов / В.Н. Романюк, Е.В. Томкунас, М.М. Савко // Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии: Междун. конгр. 5–7 октября 2005 г. – Белгород: БИЭИ, 2005. – С. 205–208.
39. Романюк, В.Н. Свойства асфальтобетона с применением битума, капсулированного в полиэтиленовую оболочку / В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев // Современные технологии в промышленности строительных

- материалов и стройиндустрии: Междун. конгр. 5–7 октября 2005 г. – Белгород: БИЭИ, 2005. – С. 366–368.
40. Романюк, В.Н. Энерготехнологическая реструктуризация теплотехнологических системы промышленности строительных материалов / В.Н. Романюк, М.М. Савко // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 3-й Междун. науч.-техн. конф. – Минск: БНТУ, 2006. – С. 64–67.
 41. Романюк, В.Н. Энерготехнологический комплекс на базе производства полиэфирных нитей / В.Н. Романюк, В.А. Бычковский // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 3-й Междун. науч.-техн. конф. – Минск: БНТУ, 2006. – С. 68–73.
 42. Романюк, В.Н. Энерготехнологическая реструктуризация теплоэнергетической системы ОАО «Доломит» / В.Н. Романюк, Е.В. Томкунас // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 3-й Междун. науч.-техн. конф. – Минск: БНТУ, 2006. – С. 73–76.
 43. Романюк, В.Н. Реструктуризация тепловых нагрузок ОАО «Нафтан» / В.Н. Романюк, В.А. Бычковский // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 3-й Междун. науч.-техн. конф. – Минск: БНТУ, 2006. – С. 81–84.
 44. Сидоров, А.В. Автоматизация технологического процесса сушки зерновых в сушилках, работающих на твердом топливе / А.В. Сидоров, В.Г. Сидоров, В.Н. Романюк, Б.М. Круталевич // Перспективы и направления развития энергетики АПК: материалы Междун. науч.-техн. конф. 29–30 ноября 2006 г. – Минск: БГАТУ, 2006. – С. 261–264.
 45. Романюк, В.Н. Изменение традиционной технологии асфальтобетонной смеси под воздействием обратной связи энерготехнологической перестройки производства / В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев // сб. ст. и докл. ежегодной науч. сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона. – М.: МАДИ, 2007. – С. 79–85.
 46. Романюк, В.Н. Энерготехнология производства асфальтобетонных смесей / Романюк В.Н. // сб. ст. и докл. ежегодной науч. сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона. – М.: МАДИ, 2007. – С. 86–90.
 47. Романюк, В.Н. Свойства и технология получения асфальтобетона с применением битума, капсулированного в полиэтиленовую оболочку / В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев // сб. науч. докл. посвященных юбилею экспертно-науч. совета при Межправительственном Совете докторников. – М., 2007. – С. 49–53.
 48. Романюк, В.Н. Ключевая энергетическая проблема промышленного производства и пути ее решения / В.Н. Романюк // Технологии, оборуду-

- дование, качество: 10-й Междун. симпозиум 15–18 мая 2007 г. – Минск, 2007. – С. 115–116.
49. Романюк, В.Н. Модификация битума полиэтиленовой оболочкой и технология производства асфальтобетона на его основе / В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев // Структурообразование, технология, свойства и долговечность органических вяжущих и бетонов на их основе: Междун. науч.-техн. конф. 22–23 ноября, 2007 г. – Харьков: ХНАДУ, 2007. – С. 45–47.
 50. Романюк, В.Н. Капсулирование битума химически совместимой полимерной добавкой, свойства модифицированного вяжущего и асфальтобетона на его основе / В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2007. – № 1. – МАДИ (ГТУ). – С. 28–31.
 51. Романюк, В.Н. Энерготехнология производства асфальтобетонных смесей / В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. – № 2. – МАДИ (ГТУ). – С. 26–27.
 52. Романюк, В.Н. Теплотехнологические системы преобразования вещества как база для интенсивного энергосбережения / В.Н. Романюк // Главный энергетик. – 2008. – № 2. – С. 8–12.
 53. Матейко, А. В. Первый этап реализации модернизации энергохозяйства предприятия – обоснование инвестиций / А.В. Матейко, В.Н. Романюк // Главный энергетик. – 2008. – № 4. – С. 22–31.
 54. Романюк, В. Н. Газо-поршневые и газотурбинные двигатели внутреннего сгорания в системах комбинированного производства энергии / В.Н. Романюк // Главный энергетик. – 2008. – № 8. – С. 39–49.
 55. Романюк, В.Н. Возможности малозатратного энергосбережения на асфальтобетонных заводах / В.Н. Романюк // Энергосбережение. Практикум. – 2008. – № 3. – С. 15–20.
 56. Ковалев, Я.Н. Использование местных топлив на асфальтобетонных заводах / Я.Н. Ковалев, В.Н. Романюк // сб. докл. междун. науч.-практ. конф. 13–14 мая 2009 г.: в 2 ч. – М.: Межправительственный совет дорожников, 2009. – Ч. 1. – С. 59–64.
 57. Хрусталеv, Б.М. Интенсивное энергосбережение в производстве асфальтобетона / Б.М. Хрусталеv, Я.Н. Ковалев, В.Н. Романюк // сб. ст. и докл. ежегодной науч. сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона. – М.: МАДИ, 2010. – С. 169–180.
 58. Хрусталеv, Б.М. Когенерационные комплексы асфальтобетонных заводов / Б.М. Хрусталеv, Я.Н. Ковалев, В.Н. Романюк // сб. ст. и докл. ежегодной науч. сессии Ассоциации исследователей асфальтобето-

на. — М.: МАДИ, 2010. — С. 159–168.

Тезисы и материалы международных и республиканских конференций

59. Несенчук, А.П. Равновесность и энергозатраты на процесс регенерации синтетических твердых адсорбентов / А.П. Несенчук, В.А. Седнин, В.Н. Романюк и др. // Повышение эффективности использования энергетических ресурсов в энергетических установках и энерготехнологических процессах промышленных предприятий: тез. докл. науч.-техн. конф., Минск, май 1979 г. — Минск: БПИ, 1979. — С. 75.
60. Романюк, В.Н. Пути снижения энергозатрат при получении технологических газов из отбросных продуктов сгорания / В.Н. Романюк, В.И. Чернышевич, В.А. Седнин и др. // Повышение эффективности использования энергетических ресурсов в энергетических установках и энерготехнологических процессах промышленных предприятий: тез. докл. науч.-техн. конф., Минск, май 1979 г. — Минск: БПИ, 1979. — С. 95–96.
61. Романюк, В.Н. Снижение внешнего энергопотребления на асфальтобетонных заводах / В.Н. Романюк // Материалы 50-й Междун. науч.-техн. конф. препод., научн. раб., аспирант. и студ.: в 6 ч. — Минск: БГПА, 1994. — Ч. 2. — С. 20.
62. Романюк, В.Н. Снижение внешнего энергопотребления на АБЗ / В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев // Современные технологии и материалы при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог: Российская науч.-техн. конф. 23–24 сентября 1994 г. — Суздаль, 1994. — С. 92.
63. Романюк, В.Н. Пути снижения энергопотребления на предприятиях дорожной отрасли Респ. Беларусь / В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев // Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии: сб. ст. III Респ. науч.-техн. конф. — Гродно: НАН Беларуси, 1998. — С. 65.
64. Романюк, В.Н. К вопросу энергопотребления при производстве асфальтобетонной смеси / В.Н. Романюк // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Респ. Беларусь / сб. тр. — Могилев: М-во образования Респ. Беларусь, 1998. — С. 105–106.
65. Романюк, В.Н. Энерготехнология на производственных предприятиях дорожной отрасли / В.Н. Романюк, Д.В. Синько // III Белорусский энергетический и экологический конгресс. — Минск, 1998. — С. 65.
66. Романюк, В.Н. К расчету концентрационной составляющей эксергии в асфальтобетонной смеси / В.Н. Романюк, Е.В. Томкунас // материалы

- 54-й Междун. науч.-техн. конф. препод., научн. раб.: в 9 ч. — Минск: БГПА, 2000. — Ч. 1. — С. 46.
67. Романюк, В.Н. Энерготехнологическая реструктуризация теплотехнологических систем — основной резерв экономии топлива / В.Н. Романюк, И.В. Баук // материалы 54-й Междун. науч.-техн. конф. препод., научн. раб.: в 9 ч. — Минск: БГПА, 2000. — Ч. 1. — С. 43.
68. Романюк, В.Н. Использование теплонасосных установок в технологических системах / В.Н. Романюк, О.П. Хорольская // материалы 54-й Междун. науч.-техн. конф. препод., научн. раб.: в 9 ч. — Минск: БГПА, 2000. — Ч. 1. — С. 47.
69. Романюк, В.Н. К вопросу о паспортизации производственных предприятий дорожной отрасли / В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев, Е.В. Овчаренко // материалы 54-й Междун. науч.-техн. конф. препод., научн. раб.: в 9 ч. — Минск: БГПА, 2000. — Ч. 8. — С. 136.
70. Романюк, В.Н. К вопросу об энергетическом обследовании производственных предприятий / В.Н. Романюк, Е.В. Овчаренко // материалы 54-й Междун. науч.-техн. конф. препод., научн. раб.: в 9 ч. — Минск: БГПА, 2000. — Ч. 1. — С. 45.
71. Романюк, В.Н. Энерготехнологическая перестройка теплотехнологии производства строительного комплекса / В.Н. Романюк, В.К. Судилковский, Е.В. Томкунас // Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса: материалы Междун. науч.-практ. конф. к 130-летию Белорусской жел. дор. 25—26 октября. — Гомель: БелГУТ, 2001. — С. 265.
72. Романюк, В.Н. Реструктуризация системы энергетического обеспечения теплотехнологии производства асфальтобетонной смеси с целью снижения удельного энергопотребления на порядок / В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалев // Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса: материалы Междун. науч.-практ. конф. к 130-летию Белорусской жел. дор. 25—26 октября. — Гомель: БелГУТ, 2001. — С. 266.
73. Романюк, В.Н. Утилизация вторичных энергоресурсов крупных технологических предприятий / В.Н. Романюк, И.В. Баук, В.М. Копко // материалы 55-й Междун. науч.-техн. конф. препод., науч. раб. и аспирантура. — Минск: БНТУ, 2002. — С. 79.
74. Романюк, В.Н. Анализ и разработка методики проведения энергетического обследования предприятий на примере предприятий по обеспе-

- чению нефтепродуктами / В.Н. Романюк, Т.М. Клевитская // материалы 55-й Междун. науч.-техн. конф. препод., науч. раб. и аспирантов. — Минск: БНТУ, 2002. — С. 80.
75. Романюк, В.Н. Реструктуризация теплоэнергетической системы теплотехнологических предприятий / В.Н. Романюк // материалы 55-й Междун. науч.-техн. конф. препод., науч. раб. и аспирантов. — Минск: БНТУ, 2002. — С. 82.
76. Романюк, В.Н. Эффективное энергообеспечение производства цемента / В.Н. Романюк, В.К. Судиловский, Е.В. Томкунас // материалы 55-й Междун. науч.-техн. конф. препод., науч. раб. и аспирантов. — Минск: БНТУ, 2002. — С. 86.
77. Романюк, В.Н. Использование газовых бойлеров в гальваническом процессе и для работы моечных машин на Гродненском заводе автомобильных агрегатов / В.Н. Романюк, Я.Ф. Авсяник, А.Д. Черняковская // материалы 55-й Междун. науч.-техн. конф. препод., науч. раб. и аспирантов. — Минск: БНТУ, 2002. — С. 86.
78. Романюк, В.Н. Энергоснабжение ОАО «Брестский чулочный комбинат» / В.Н. Романюк, И.В. Баук, Н.В. Цыбович // материалы науч.-техн. конф. студ. и аспирантов. — Минск: БНТУ, 2002. — С. 64–65.
79. Романюк, В.Н. Реструктуризация теплогенерирующего источника ОАО «Борисовдрев» / В.Н. Романюк, И.В. Баук, М.М. Савко // материалы науч.-техн. конф. студ. и аспирантов. — Минск: БНТУ, 2002. — С. 65–66.
80. Романюк, В.Н. Газоугольная ТЭЦ ПО «БелАЗ» / В.Н. Романюк, И.В. Баук, Н.А. Ионова, Н.Н. Ранда // материалы науч.-техн. конф. студ. и аспирантов. — Минск: БНТУ, 2002. — С. 66–67.
81. Романюк, В.Н. Побочный эффект функционирования крупных газораспределительных станций / В.Н. Романюк, А.И. Бондарев, Е.В. Томкунас // материалы науч.-техн. конф. студ. и аспирантов. — Минск: БНТУ, 2002. — С. 67–68.
82. Романюк, В.Н. Система уравнений IAPWS-IF97 и ее реализация в расчетах в системе MATCAD / В.Н. Романюк, Е.В. Моисей // материалы науч.-техн. конф. студ. и аспирантов. — Минск: БНТУ, 2002. — С. 69–70.
83. Романюк, В.Н. Целевые функции, сочетающие экономические и энергетические показатели / В.Н. Романюк, И.А. Тимошук // материалы науч.-техн. конф. студ. и аспирантов. — Минск: БНТУ, 2002. — С. 70–71.
84. Романюк, В.Н. Эффективное энергообеспечение теплотехнологического процесса производства цемента / В.Н. Романюк, Е.В. Томкунас, Д.Н. Милош, С.Г. Головач, П.А. Михайлов // материалы науч.-техн.

- конф. студ. и аспирантов. — Минск: БНТУ, 2002. — С. 71–72.
85. Романюк, В.Н. Эффективное энергообеспечение теплотехнологического процесса производства кирпича / В.Н. Романюк, А.Н. Дубина, А.Н. Шабалина // материалы науч.-техн. конф. студ. и аспирантов. — Минск: БНТУ, 2002. — С. 72–73.
 86. Романюк, В.Н. Реструктуризация системы энергообеспечения магистральных компрессорных станций / В.Н. Романюк, Е.В. Томкунас, С.А. Степанчук, О.Н. Числова // материалы науч.-техн. конф. студ. и аспирантов. — Минск: БНТУ, 2002. — С. 70–71.
 87. Романюк, В.Н. Эффективное энергообеспечение теплотехнологического производства строительных материалов / В.Н. Романюк, Е.В. Томкунас, С.В. Чирковский // материалы науч.-техн. конф. студ. и аспирантов. — Минск: БНТУ, 2002. — С. 74–75.
 88. Романюк, В.Н. Тепло-холодоснабжение на базе когенерации / В.Н. Романюк, Я.Ф. Авсяник, В.К. Судиловский // материалы 56-й Междун. науч.-техн. конф. препод., научн. раб. и аспирантов.: в 9 т. — Минск: БНТУ, 2003. — Том I. — С. 177.
 89. Романюк, В.Н. Когенерация в системе предприятий Минпрома / В.Н. Романюк, И.И. Демидович, В.К. Судиловский // материалы 56-й Междун. науч.-техн. конф. препод., научн. раб. и аспирантов.: в 9 т. — Минск: БНТУ, 2003. — Том I. — С. 178.
 90. Романюк, В.Н. Энерготехнологический комплекс «БелАЗа» / В.Н. Романюк, И.В. Баук, В.К. Судиловский, Е.В. Томкунас // материалы 56-й Междун. науч.-техн. конф. препод., научн. раб. и аспирантов.: в 9 т. — Минск: БНТУ, 2003. — Том I. — С. 179.
 91. Романюк, В.Н. Когенерация при производстве глиняного кирпича / В.Н. Романюк, Е.В. Томкунас, И.В. Баук, В.К. Судиловский // материалы 56-й Междун. науч.-техн. конф. препод., научн. раб. и аспирантов.: в 9 т. — Минск: БНТУ, 2003. — Том I. — С. 180.
 92. Романюк, В.Н. Мини-ТЭЦ на базе РУП «ГПО«Химволокно» / В.Н. Романюк, В.К. Судиловский, Е.В. Томкунас, И.В. Баук материалы 56-й Междун. науч.-техн. конф. препод., научн. раб. и аспирантов.: в 9 т. — Минск: БНТУ, 2003. — Том I. — С. 180.
 93. Романюк, В.Н. Энерготехнологическая реструктуризация БЦЗ / В.Н. Романюк // материалы 56-й Междун. науч.-техн. конф. препод., научн. раб. и аспирантов.: в 9 т. — Минск: БНТУ, 2003. — Том I. — С. 181.
 94. Песецкий, С.С. Модифицирование битума полиэтиленом: анализ структуры и межфазных взаимодействий / С.С. Песецкий, Я.Н. Кова-

- лев, В.Н. Коваль, В.В. Дубровский, В.Н. Романюк // Успехи коллоидной химии и физико-химической механики: тезисы докладов II Междун. конф. «Коллоид», 20–24 октября. – Минск, 2003. – С. 30.
95. Романюк, В.Н. Энерготехнологическая модификация производства асфальтобетонных изделий / В.Н. Романюк // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 6-й Междун. науч.-техн. конф. – Минск: БНТУ, 2008. – С. 131.
96. Романюк, В.Н. Современное энергообеспечение теплотехнологий строительных материалов / В.Н. Романюк // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 6-й Междун. науч.-техн. конф. – Минск: БНТУ, 2008. – С. 130.
97. Романюк, В.Н. Интенсивное энергосбережение в теплотехнологиях дорожно-строительных материалов / В.Н. Романюк // 80 лет Белорусской дорожной науке: матер. юбил. науч.-техн. конф. – Минск, 2008. – С. 95–97.
98. Рекомендации по снижению энергозатрат при производстве асфальтобетонных смесей. ДМД 02191.7.004-2008. Дорожный методический документ. – Минск: Департамент «Белавтодор» Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, 2008. – 42 с.

Авторские свидетельства и патенты

99. Несенчук, А.П. А. с. 1411031 А1 СССР, МКИ В01D 53/06. Способ выделения двуокси углерода из газовой смеси продуктов сгорания топлива / А.П. Несенчук, В.П. Кощев, Э.Н. Быкова, В.А. Привезенцев, В.И. Хартанович, М.А. Габриэль, В.Н. Романюк // Заявл. № 4086980/3–26 от 22.05.86, опубл. 23.07.88, Бюл. № 27. – Открытия. Изобретения. – 1988. – № 27. – С. 104.
100. Хрусталеv, Б.М. Способ получения горячей асфальтобетонной смеси / Б.М. Хрусталеv, Я.Н. Ковалеv, В.Н. Романюк // Патент №12837 от 04.11.2009. – Офиц. бюл. № 1 нац. центра интел. собств. 28.02.2010. – С. 87.

Учебники

101. Хрусталеv, Б.М. Техническая термодинамика: учебник: в 2 ч. / Б.М. Хрусталеv, А.П. Несенчук, В.Н Романюк. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – Ч. 1. – 487 с.
102. Хрусталеv, Б.М. Техническая термодинамика: учебник: в 2 ч. / Б.М. Хрусталеv, А.П. Несенчук, В.Н Романюк. – Минск: УП «Техно-

- принт», 2004. – Ч. 2. – 560 с.
103. Хрусталеv, Б.М. Системы производства и распределения энергоносителей промышленных предприятий: учебник: в 2 ч. / Б.М. Хрусталеv, В.А. Седнин, В.Д. Акельев, В.Н. Романюк и др.; под общ. ред. проф. А.П. Несенчука. – Минск: УП «Технопринт», 2005. – Ч. 1. – 544 с.
104. Хрусталеv, Б.М. Системы производства и распределения энергоносителей промышленных предприятий: учебник: в 2 ч. / Б.М. Хрусталеv, В.А. Седнин, В.Д. Акельев, В.Н. Романюк и др.; под общ. ред. проф. А.П. Несенчука. – Минск: УП «Технопринт», 2005. – Ч. 2. – 410 с.

Учебные пособия

105. Романюк, В. Н. Основы эффективного энергоиспользования на производственных предприятиях дорожной отрасли: учеб. пособие / В.Н. Романюк, В.Н. Радкевич, Я. Н. Ковалев; под ред. Я.Н. Ковалева. – Минск: УП «Технопринт», 2001. – 291 с.
106. Энциклопедия. Автомобильные дороги Беларуси / коллектив авторов. – Минск: Белорусская энциклопедия, 2002. – 672 с.

Отчеты НИР

107. Совершенствование электроразогрева органических вяжущих на АБЗ и повышение эффективности контроля температуры при строительстве асфальтобетонных дорожных покрытий (Отчет по х/д № 867/79) / БПИ; рук. темы Я.Н. Ковалев. – Минск, 1982. – 122 с. – гос. регистр. № 790034249.
108. Термодинамический анализ теплоэнергетической системы асфальтобетонного завода и разработка мероприятий по снижению внешнего энергопотребления: отчет о НИР (Промеж. отчет х/д) / БГПА; рук. темы В.Н. Романюк. – Минск, 1994. – 42 с.
109. Исследовать и разработать эффективную теплоэнергетическую систему асфальтобетонных заводов с целью снижения ими энергопотребления в два раза: отчет о НИР (Закл. отчет х/д № 117 от 05.1997) / БГПА; рук. темы В.Н. Романюк. – Минск, 1997. – 88 с.
110. Теоретические основы и практические предложения по структурно-параметрической оптимизации энергопотребления на АБЗ дорожной отрасли: отчет о НИР ГБ 97-88 (заклучит) / БГПА; Руководитель темы Я.Н. Ковалев. – Минск, 1997. – 78 с. – № г.р. 19971101.
111. Теоретические основы энерготехнологии производства битумно-минеральных материалов: отчет о НИР (заклуч.) М-во образования Респ. Беларусь, ГБ 98-90, БГПА; рук. темы В.Н. Романюк. – Минск, 1998. – 101 с. – № г.р. 19981277.
112. Разработка теоретических основ эффективной технологии производ-

ства битумоминеральных смесей для получения дорожных композиционных материалов: отчет о НИР ГБ: 02–59, 2002–2005 (заключ.) / БНТУ; рук. Я.Н. Ковалев. – Минск, 2005. – 224 с. – № г.р. 20022110.

113. Исследование процесса активации минеральных заполнителей при производстве асфальтобетонных смесей с использованием торфяной крошки: отчет о НИР (х/д № 7132 от 09. 01. 2008 г.) / БНТУ / Руководитель темы Я.Н. Ковалев. – Минск, 2008. – 86 с.

РЕЗЮМЕ

Романюк Владимир Никанорович

Интенсивное энергосбережение в теплотехнологических системах промышленного производства строительных материалов

Ключевые слова: интенсивное энергосбережение, теплоэнергетическая система, теплотехнология, комбинированная энергетическая установка, термодинамический анализ, эксергия, строительные материалы, асфальтобетонная смесь, модифицированное битумное вяжущее, капсулирование полимером

Объектом исследования являются теплотехнологические промышленные системы, их составляющие подсистемы и отдельные установки.

Предметом исследования – структурные схемы сопряжения энергоэкологоэффективных комбинированных технологических энергоустановок с теплотехнологическими линиями, блокирующие появление потерь эксергии, а также технологические переделы производства асфальтобетонной смеси (АБС), используемое сырье для получения АБС и, в конечном итоге, теплоэнергетическая система, как промышленного предприятия, так и сопряженного с ним хозяйственного комплекса.

Целью исследований – развитие теоретических основ и методологии создания высокоэффективного энергообеспечения промышленных теплотехнологий, обеспечивающих реабилитацию существующих производств, а также их апробация в промышленных условиях.

Метод исследования – физический и промышленный эксперимент и математическое моделирование.

Полученные результаты и новизна. Представлены новые принципиальные схемы использования комбинированных теплотехнологических систем. Впервые проведен эксергетический анализ асфальтобетонного производства, в ходе которого рассмотрены составляющие эксергии АБС и предложены методика и зависимости для их расчета. В ходе развития эксергетического анализа впервые предложена физико-математическая модель определения концентрационной составляющей эксергии АБС на базе адгезионного взаимодействия между входящими в асфальтобетонную смесь минеральными материалами и битумом с использованием экспериментальных данных, получены зависимости для расчета концентрационной составляющей. Определение концентрационной составляющей эксергии дает меру необходимого энергетического воздействия в смесителе при смешении материалов, образующих АБС, на конечной стадии ее производства. Эксергетический анализ АБС будет способствовать введению на его основе, при соответствующем развитии, новой технологической оценки качества асфальтобетонной смеси.

Впервые предложено заключить битум в капсулу из полимера. Проведены экспериментальные и аналитические исследования, позволившие оптимизировать размеры капсулы и оболочки, обеспечивающие требуемые конечные свойства битумного вяжущего и механические характеристики капсулы, необходимые для переработки этого квази нового битумного вяжущего материала. Разработана технология доставки, хранения и использования битума, капсулированного оболочкой из полиэтилена высокого давления, в том числе и из полимерных отходов.

Степень использования. Внедрение результатов работы были использованы при создании когенерационных энерготехнологических комплексов на ряде предприятий республики: РУП «Белорусский цементный завод», РУП «ПО «Белоруснефть», Витебское ОАО «Керамика», Минский завод строительных материалов, Березовский комбинат строительных материалов, ОАО «Мозырсьоль», ОАО «Могилевхимволокно» и др.

Область применения результатов. Разработка, проектирование и создание энергоэкологоэффективных теплотехнологических когенерационных комплексов, в том числе, в промышленности строительных и дорожно-строительных материалов.

РЭЗЮМЕ

Раманюк Уладзімір Ніканоравіч

Інтэнсіўнае энергазахоўванне ў цеплатэхналагічных сістэмах прамысловай вытворчасці будаўнічых матэрыялаў

Ключавыя словы: інтэнсіўнае энергазахоўванне, цеплаэнергетычная сістэма, камбінаваная энергетычная ўстаноўка, тэрмадынамічны аналіз, эксергія, будаўнічыя матэрыялы, асфальтабетонная сумесь, мадыфіцыраванае бітумнае вяжучае, капсуляванне палімера.

Аб'ектам даследавання з'яўляюцца цеплатэхналагічныя прамысловыя сістэмы, іх састаўляючыя падсістэмы і асобныя ўстаноўкі.

Прадмет даследавання – структурныя схемы спалучэння энергаэколагаэфектыўных камбінаваных тэхналагічных энергаўстановак з цеплатэхналагічнымі лініямі, якія блакіруюць паяўленне страт эксергіі, а таксама тэхналагічная перапрацоўка вытворчасці асфальтабетоннай сумесі (АБС), выкарыстоўваемая сыравіна для атрымання АБС і, у канчатковым выніку, цеплаэнергетычная сістэма як прамысловага прадпрыемства, так і спалучанага з ім гаспадарчага комплексу.

Мэта даследавання – развіццё тэарэтычных асноў і метадалогіі стварэння высокаэфектыўнага энергазабеспячэння прамысловых цеплатэхналогій, якія забяспечваюць рэабілітацыю існуючых вытворчасцей, а таксама іх апрабаванне ў прамысловых умовах.

Метад даследавання – фізічны і прамысловы эксперымент і матэматычнае мадэліраванне.

Атрыманыя вынікі і навізна. Прадстаўлены новыя прынцыповыя схемы выкарыстання камбінаваных цеплатэхналагічных сістэм. Упершыню праведзены эксергетычны аналіз асфальтабетоннай вытворчасці, у ходзе якога разгледжаны састаўныя эксергіі АБС і прапанавана метадыка і аналітычная залежнасць для іх разліку. У ходзе развіцця эксергетычнага аналізу ўпершыню прапанавана фізіка-матэматычная мадэль вызначэння (устаўлення) канцэнтрыраванай састаўляючай эксергіі АБС на аснове адгезійнага ўзаемадзеяння паміж уваходзячымі ў асфальтабетонную сумесь мінеральнымі матэрыяламі і бутумам з выкарыстаннем эксперыментальных дадзеных, атрыманы залежнасці для разліку канцэнтрыраванай састаўляючай. Устаўленне канцэнтрыраванай састаўляючай эксергіі дае меру неабходнага энергетычнага ўздзеяння ў змешвальніку пры змешванні матэрыялаў, якія складаюць АБС, на канечнай стадыі яе вытворчасці. Эксергетычны аналіз АБС будзе садзейнічаць увядзенню на яго аснове, пры адпаведным развіцці, новай тэхналагічнай ацэнкі якасці асфальтабетоннай сумесі.

Упершыню прапанавана заключыць бітум у капсулу з палімера. Праведзены эксперыментальныя і аналітычныя даследаванні, якія дазваляюць аптымізаваць памеры капсулы і абалонкі, забяспечваючай неабходныя канчатковыя ўласцівасці (якасці) бітумнага вяжучага і механічныя характарыстыкі капсулы, неабходныя для перапрацоўкі гэтага квазіновага бітумнага вяжучага матэрыяла. Распрацавана тэхналогія дастаўкі, захоўвання і выкарыстання бітуму, капсуляванага абалонкай з поліэтылену высокага ціску, у тым ліку і з палімерных адыходаў.

Ступень выкарыстання. Вынікі работы былі выкарыстаны пры стварэнні кагенерacyjnych энергатэхналагічных комплексаў на шэрагу прадпрыемстваў рэспублікі: РУП «Беларускі цэментны завод», РУП «ВА «Беларусьнафта», Віцебскае ААТ «Кераміка», Мінскі завод будаўнічых матэрыялаў, Бярозаўскі камбінат будаўнічых матэрыялаў, ААТ «Мазырсьоль», ААТ «Магілёўхімвалакно» і інш.

Галіна прымянення вынікаў. Распрацоўка, практаванне і стварэнне энергаэколагаэфектыўных цеплатэхналагічных кагенерacyjnych комплексаў, у тым ліку у прамысловай будаўнічых і дарожна-будаўнічых матэрыялаў.

SUMMARY

Romanuk Vladimir Nikanorovich

Intensive energy — saving in heat technological systems of industrial production of building materials

Keywords: intensive energy-conservation, heat power system, heat technology, combined power plant, thermodynamic analysis, exergy, building materials, bituminous-concrete mixture, modified bitumen astringent, polymer encapsulation.

Object of research: heat technological industrial systems, their subsystems and individual units.

Subject of research: block diagrammes of connection of energy and ecological efficient combined technological energy units with heat technological routes, which can block occurrence of exergy loss, and also technological processing of bituminous concrete mixture (BCM), used raw materials for BCM production and a heat power system of an industrial enterprise and its integrated economic complex.

Purpose of research: development of theoretical basis and methodologies for creation of a highly efficient energy supply of industrial heat technologies, which allow to ensure reconstruction of existing manufacturing processes and their approbation under industrial conditions.

Research method: physical and industrial experiment, mathematical simulation.

Obtained results and novelty. New principal schemes of use of combined heat technological systems are presented. For the first time an exergy analysis of bituminous concrete manufacturing was carried out. During the investigations exergy components of BCM were considered and technique and analytical dependences for their calculation were offered. A physical-mathematical model for determination of concentration component of BCM exergy was offered for the first time and it is based on the adhesive interaction between mineral components of BCM with bitumen. Dependences for a calculation of concentration components were received while using experimental data. Concentration components of exergy determine a level of necessary energy influence on compounded materials forming BCM in a mixer at a final stage of its production. A new technological estimation of BCM quality can be introduced into practice on the basis of the exergy analysis.

For the first time it was offered to put a bitumen cementing material into a polymer capsule. Experimental and analytical investigations were carried out. These investigations allowed to optimize sizes of a capsule and a shell, providing required final properties to bitumen - cementing material and mechanical characteristics of a capsule, which are necessary for processing this rather new bitumen cementing material. Technology of delivery, storage and usage of encapsulated bitumen with a shell made of high pressure polyethylene and as well of polymeric waste has been developed in the paper.

Usage level. Application of the obtained results were used during development of energy technological cogeneration complexes at a number of enterprises in the Republic of Belarus: RUE «Belarus Cement Zavod», RUE Industrial Association «Belarusneft», Joint Stock Company «Ceramics» (Vitebsk), Minsk Factory of Building Materials, Berezovsk Enterprise of Building Materials, Joint Stock Company «Mozyrsol», Joint Stock Company «Mogilevchimvolocno», etc.

Application. field of results: Development, designing and creation of energy and ecological efficient heat technological cogeneration complexes and in building and road-building material industry as well.

Научное издание

РОМАНЮК Владимир Никанорович

ИНТЕНСИВНОЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ
В ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук
по специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика

Подписано в печать 27.04.2010.

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 2,85. Уч.-изд. л. 2,23. Тираж 60. Заказ 424.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.

Репозиторий БНТУ