

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ЗАВОДОВ

С.И. Бахур, А.А. Капанский

Гомельский государственный технический университет  
им. П.О. Сухого (Беларусь), г. Гомель, Республика Беларусь  
sergbax@mail.ru, kapanski@mail.ru

**Резюме:** *ЦЕЛЬ.* Исследование поиска путей уменьшения энергопотребления и развития методов повышения энергоэффективности дорожно-строительных предприятий. Отраженные в статье исследования базируются на результатах энергетического обследования дорожно-строительных предприятий Брестской и Гомельской областей (Республика Беларусь) одной из задач актуальных задач которого являлся поиск резервов экономии ТЭР на выпуск асфальтобетонной смеси. **МЕТОДЫ.** При решении поставленной задачи применялись расчетно-аналитические методы обработки основных технико-экономических показателей работы рассматриваемого предприятия, а также метод конечного использования при составлении картограммы распределения удельных расходов топлива на выпуск асфальтобетонной смеси. **РЕЗУЛЬТАТЫ** Проведенный анализ технико-экономических показателей работы предприятия указывает на актуальность задачи по уменьшению энергопотребления и развития методов повышения энергоэффективности дорожно-строительных предприятий. По проведенному обзору литературы в данной области исследования можно сказать, что не рассматривались такие важные пути повышения энергетической эффективности дорожно-строительных предприятий как: корреляционный и регрессионный анализ наиболее влияющих факторов на модель энергопотребления дорожно-строительных предприятий; оптимизация режимов работы близко расположенных асфальтобетонных заводов исходя из условий их оптимальной загрузки; прогнозирование энергетической эффективности асфальтобетонных заводов в условиях изменения погодных условий и в условиях повторно-кратковременного режима работы. **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Повышение энергетической эффективности дорожно-строительных предприятий и поиск возможных путей снижения расхода топливно-энергетических ресурсов на выпуск асфальтобетонной смеси является актуальной задачей исследования. Поэтапная оптимизация технологических расходов энергоресурсов и прогнозирование эффективности их использования в зависимости от изменения влияющих факторов позволит снизить энергетическую составляющую в себестоимости выпускаемой продукции и положительно скажется на материальном положении предприятия.

**Ключевые слова:** энергетическая эффективность; энергосбережение; повышение энергетической эффективности; асфальтобетонный завод; асфальтобетонная смесь.

## MODERN METHODS TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY OF ASPHALT CONCRETE PLANTS

SI. Bakhur, AA. Kapansky

Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoi, Gomel, Republic of Belarus  
sergbax@mail.ru, kapanski@mail.ru

**Abstract:** *PURPOSE.* Research into the search for ways to reduce energy consumption and the development of methods to improve the energy efficiency of road construction enterprises. The studies reflected in the article are based on the results of an energy survey of road-building enterprises in the Brest and Gomel regions (Republic of Belarus), one of the tasks of the urgent tasks of which was to find reserves for saving fuel and energy resources for the production of asphalt concrete mixture. **METHODS.** When solving the problem, we used computational and analytical methods for processing the main technical and economic indicators of the work of the enterprise under consideration, as well as the method of end use when compiling a cartogram of the distribution of specific fuel consumption for the production of asphalt concrete mixture..

*RESULTS. The analysis of the technical and economic indicators of the enterprise's work indicates the urgency of the task of reducing energy consumption and developing methods for increasing the energy efficiency of road construction enterprises. Based on the review of the literature in this area of research, it can be said that such important ways to improve the energy efficiency of road construction enterprises were not considered, such as: correlation and regression analysis of the main factors on the energy consumption model of road construction enterprises; optimization of the operating mode of close asphalt concrete plants from the conditions of their optimal loading; forecasting the energy efficiency of asphalt concrete plants under changing weather conditions and under conditions of intermittent operation. CONCLUSION. Increasing the energy efficiency of road construction enterprises and searching for possible ways to reduce the consumption of fuel and energy resources for the production of asphalt concrete mixture is an urgent task of the study. Step-by-step optimization of technological costs of energy resources and forecasting the efficiency of their use, depending on changes in influencing factors, will reduce the energy component in the cost of products and will have a positive effect on the financial situation of the enterprise.*

**Keywords:** *energy efficiency; energy saving; energy efficiency improvement; asphalt concrete plant; asphalt concrete mix.*

### **Введение**

В современных условиях функционирования различных потребителей энергоресурсов актуальной задачей остается снижение себестоимости производимой продукции или оказываемых услуг, в том числе и за счет снижения энергетической составляющей. В данной статье в качестве объекта исследования рассматривается энергетическая эффективность асфальтобетонных заводов, входящих в дорожно-строительную отрасль, которая, как известно, занимает одно из ведущих мест в жизнедеятельности любой страны. В условиях географического расположения Республики Беларусь необходимо максимально использовать потенциал транзитных перевозок и поэтому эффективное развитие дорожно-строительной отрасли является одним из важнейших факторов функционирования экономической системы государства. Недостаточные темпы расширения автодорожной сети, незначительная доля автомобильных дорог с усовершенствованным покрытием (асфальтобетонное или цементобетонное), низкое качество дорожного строительства, низкая эффективность производства автодорожных покрытий, неравномерное обеспечение дорогами различных регионов страны – все эти факторы существенно снижают эффективность экономики и негативным образом влияют на потенциал ее дальнейшего развития [1].

В функционировании предприятий дорожно-строительной отрасли наиболее энергоемким является процесс производства асфальтобетонных смесей (далее АБС) на асфальтобетонных заводах (далее АБЗ). Анализ полной технологической цепочки от процесса производства до укладки АБС показывает, что основные энергозатраты (порядка 40-50 %) приходятся на технологический процесс приготовления смесей. При этом порядка 70-80 % расходуемых энергоресурсов (электроэнергия, топливо (жидкое или природный газ)) в процессе приготовления смесей затрачивается на сушку и нагрев инертных материалов (гравий, щебень, песок) в сушильном барабане АБЗ [2, 3]. Величина этих затрат существенно зависит от многих влияющих факторов, таких как температура наружного воздуха при производстве работ, исходной влажности инертных материалов, поступающих в сушильный барабан, требуемой температуры выпускаемой асфальтобетонной смеси и др.

Асфальтобетонная смесь представляет собой искусственный строительный материал, применяемый в основном при строительстве дорог. Основными компонентами АБС, как правило, являются вяжущее вещество (битум) и инертные материалы в виде мелких заполнителей, таких как гравий, щебень, песок, а также могут присутствовать иные добавки в виде минеральных порошков и других компонентов. Существуют различные виды АБС, предназначенных для создания дорожных покрытий, которые различаются между собой по технологии изготовления, составу и количеству сырьевых материалов, а также техническим характеристикам. Каждая разновидность АБС обладает характерным комплексом эксплуатационных свойств и рассчитана на определенные области применения, поэтому весь асфальт разделяют на марки и типы [4].

Все виды АБЗ в мире можно условно разделить по принципу их работы: выделяют АБЗ непрерывного действия и заводы циклического действия. Установки циклического действия шире применяется в Западной Европе, тогда как в Америке и на постсоветском

пространстве более популярны установки непрерывного действия [5].

Основным компонентом АБЗ циклического типа является система подачи инертных материалов, которые подаются в сушильный барабан, где происходит их сушка и нагрев нагреваются до определённой температуры при помощи газовой либо жидко топливной горелки. Далее уже нагретые инертные материалы подаются на элеватор и далее на вибрационный грохот, который рассеивает поток материала на разные фракции, и каждая фракция направляется в соответствующий бункер горячих инертных материалов.

Согласно заданному составу АБС из бункеров горячих инертных материалов поступает необходимая фракция и требуемое количество материала. Также отдельно происходит дозирование битума, минерального порошка и пыли. Далее все дозированные компоненты подаются в смесительную камеру, где перемешиваются и на выходе получается готовая АБС.

АБЗ непрерывного типа практически аналогичны АБЗ циклического типа, отличие заключается лишь в принципе работы (в системе дозирования и смешивания). В отличие от АБЗ циклического типа, здесь нет бункеров горячих инертных материалов и дозирование идет сразу из дозаторов. В результате исходные материалы подаются в смеситель непрерывным потоком. А в циклическом АБЗ идет разгрохотка материала на фракции и весовое, порционное дозирование компонентов, а смесь выпускается порциями.

Основное преимущество АБЗ непрерывного действия заключается в более простой конструкции. Они проще в транспортировке, возведении и обслуживании. Такой АБЗ может быть запущен в работу в течение короткого срока времени. Стоимость ниже, чем у циклического АБЗ такой же производительности, а производительность выше. Циклические АБЗ позволяют проще и быстрее менять рецептуру смеси, теоретически каждый замес может иметь другую рецептуру [6, 7, 8].

Наиболее известными мировыми производителями АБЗ являются *Ammann* (Германия), *Marini* (Италия), *Astec* (США), *LINTEC* (Германия), *Benninghoven* (Германия), *BERNARDI* (Италия), все производители имеют многолетний опыт работы в сфере разработки и производства АБЗ и гарантируют высокий уровень технологий своего производства и высокое качество всех используемых компонентов [9].

Обследование дорожно-строительных организаций Республики Беларусь показывает, что основную долю АБЗ составляют заводы типа ДС-185 (ДС-158) производства ЧАО «Кредмаш» (Украина), эксплуатирующиеся с 1990-х годов. Таким образом целью данной статьи является исследование возможных путей уменьшения потребления энергоресурсов на выпуск асфальтобетонной смеси и развитие методов повышения энергетической эффективности дорожно-строительных предприятий. Отраженные в статье исследования базируются на результатах энергетического обследования дорожно-строительной организации Брестской области – КУП «Брестоблдорстрой», одной из актуальных задач обследования являлся поиск резервов экономии ТЭР. В рамках данной тематики предполагается написание серии статей.

#### ***Литературный обзор***

Согласно проведенному обзору литературы в данной области исследования, можно сгруппировать и выделить следующие актуальные направления по повышению энергетической эффективности дорожно-строительных предприятий.

#### ***Применение и «теплых» асфальтобетонных смесей (далее ТАБ).***

«Теплым» асфальтобетоном принято считать смесь с температурой выпуска от 105 до 135°C, что примерно на 30-40°C меньше, чем температура обычного «горячего» асфальтобетона. Пониженная температура производства асфальтобетонной смеси, позволяет добиться улучшения сразу нескольких параметров: снижение расхода топливно-энергетических ресурсов на выпуск АБС, за счет уменьшения температуры нагрева инертных материалов в сушильном барабане АБЗ, а также снижения выброса вредных веществ в атмосферу, в том числе CO<sub>2</sub>. Дополнительным преимуществом выпуска «теплых» асфальтобетонных смесей становится увеличение производительности АБЗ [10].

На сегодняшний момент существует несколько технологий производства ТАБ. Самой распространенной технологией считается механическое вспенивание вяжущего вещества (битума). Принцип технологии заключается в том, что в специальном коллекторе смешивается вода и битум, впрыск воды выполняется через специальные форсунки, что создает микроскопические пузырьки пара, что уменьшает его вязкость, но в тоже время увеличивает толщину битумной пленки. Данный принцип и позволяет при

снижении температуры обеспечить достаточную текучесть связующего вещества для надлежащего покрытия и уплотнения инертного материала [11].

Другой технологией снижения вязкости вяжущего вещества при заданной температуре и позволяющей полностью покрыть заполнитель при более низких температурах смешивания является добавление в битум специализированных химических вспенивающих добавок [12].

В настоящее время существует четыре основных категории добавок, используемых при строительстве асфальтовых покрытий. Сюда входят продукты с органическими добавками, продукты с водосодержащими цеолитами, продукты процесса вспенивания на водной основе и продукты на основе эмульсии [13].

Как показывает мировая практика, «теплые» асфальтобетонные смеси находят все большее применение. Порядка 80 % «теплых» асфальтобетонных смесей в США производится при помощи механического вспенивания. Опыт исследований показывает, что по своим физико-механическим эксплуатационным качествам «теплые» асфальтобетоны некоторых типов, уплотненные при низких температурах с помощью специализированных химических добавок, не уступают асфальтобетону, приготовленному по классической рецептуре [14, 15].

Также, в данной части обзора, необходимо остановиться на еще одной разновидности АБС, так называемой «холодной» асфальтобетонной смеси. «Холодные» АБС производятся без нагрева при температуре окружающей среды от 20 до 50 °С с использованием битумной эмульсии в качестве связующего и заполнителя из инертных материалов. «Холодные» АБС имеют более низкую (по сравнению с «теплыми» АБС и АБС, приготовленными классическим способом) стабильность, долговечность и эксплуатационные характеристики, поэтому «холодные» АБС используется в нижних слоях покрытия автодорог с низкой интенсивностью движения [16, 17].

И все же несмотря на все преимущества выпуска АБС с пониженными температурами, некоторые исследования по поведению АБС при растяжении и сдвиге показывают, что прочность на разрыв «теплой» и «холодной» смесей значительно ниже, чем у «горячей» смеси [18].

Увеличение использования регенерированного асфальтобетона

Одной из главных современных тенденций в мире является расширение вторичного использования старого асфальтобетонного покрытия, или, или как его называют – регенерированного асфальтобетона [19].

Изначально интерес к использованию регенерированного асфальтобетона зародился в США. В настоящее время в США дорожно-строительные организации используют в новых смесях до 30–40 % регенерированного асфальтобетона. Однако в настоящее время сэкономить за счет вторичного использования снятого старого асфальтобетонного покрытия стараются дорожные предприятия по всему миру [20].

Регенерация старого асфальтобетонного покрытия позволяет экономить не только топливно-энергетические ресурсы, но и материальные затраты на укладку новых асфальтобетонных покрытий. Зарубежный опыт показывает, что экономия материальных затрат при строительстве и ремонте дорог может достигать до 50 % в зависимости от количества использования регенерированного асфальтобетона. Также происходит снижение выброса вредных веществ в атмосферу, в том числе CO<sub>2</sub>. [21].

Существует немалое количество методов регенерации и повторного использования АБС, которые, как правило, можно разделить на два направления.

Первое направление – это методы так называемой горячей регенерации (горячий ресайклинг). При данном методе происходит добавление старого асфальтобетона к новой смеси в количестве порядка 30–50 % по массе и разогрев получившейся смеси до определённых температур. Переработка может осуществляться как на месте в передвижной смесительной установке или на АБЗ [22, 23, 24].

Второе направление – это методы холодной регенерации (холодный ресайклинг) непосредственно на месте укладки нового асфальтобетонного покрытия, либо производства его ремонта. В данном случае происходит снятие старого покрытия, его измельчение и обработка битумной эмульсией, жидким или вспененным битумом, также возможны различные дополнительные добавки (цементы, пластификаторы), далее полученную смесь укладывают в нижний слой нового покрытия, либо производят ямочный ремонт [25, 26, 27].

Регенерация является перспективным методом ремонта дорожных покрытий. Однако данная технология требует дальнейшего изучения, развития и совершенствования, особенно в отношении количества и качества не только

перерабатываемых материалов, но и материалов, которые идут в качестве добавок.

Выпуск асфальтобетонных смесей с усовершенствованными характеристиками АБС имеют множество параметров, по которым можно произвести их классификацию. Один из основных – типы асфальта. Принадлежность асфальтобетона к определённому типу отражает наличие в смеси определенного количества инертных материалов, битумного связующего, различных добавок, а также разновидность по методу испарения углеводородов.

Исследования по усовершенствованию свойств асфальтобетона никогда не прекращаются. Постоянно разрабатываются новые добавки для улучшения характеристик дорожного покрытия и для совершенствования процесса изготовления АБС. В конструкции современных АБЗ предусматриваются возможности введения различных модифицирующих добавок как в битум, так и непосредственно с готовую смесь на различных этапах ее производства.

Введение различных добавок (модифицированных вяжущих, цементирующих, композитных, геосинтетических и иных) в основной степени направлено на усовершенствование свойств уже готового дорожного покрытия, с целью увеличения продолжительности его срока службы, экологичности, прочности, уменьшению влияния возможных негативных факторов и т.д. Иногда существует необходимость повысить качество исходных материалов (битума, инертного заполнителя) которое может отличаться в зависимости от поставщика, иногда необходимо улучшить характеристики инертных материалов, которые должны соответствовать более жестким требованиям, например для сортов АБС, предназначенных для эксплуатации в тяжелых климатических условиях или в условиях высокой интенсивности движения [28 – 29].

Также ведутся исследования по возможному применению переработанных промышленных и твердых бытовых отходов в дорожном строительстве [30, 31, 32].

Потенциал ресурсов и энергосбережения при производстве асфальтобетонных смесей с усовершенствованными характеристиками заключается в повышении долговечности асфальтобетонных покрытий дорог и увеличенному интервалу их ремонта.

Введение различных добавок в АБС на различных этапах ее производства может привести проблеме разнорортности смесей, а также стать причиной осложнений в процессе производства, ведь технологи АБЗ должны хорошо знать свойства различных добавок и их влияние на ту или иную стадию производства АБС.

#### *Модернизация АБЗ предыдущих поколений*

Как уже говорилось ранее, обследование дорожно-строительных организаций Республики Беларусь показывает, что основную долю АБЗ составляют физически и морально устаревшие заводы, эксплуатирующиеся с 1990-х годов. Похожая ситуация наблюдается и на всем постсоветском пространстве. Поэтому модернизация, автоматизация и приведение таких заводов в соответствие современным запросам – одна из тенденций сегодняшнего дня [33].

Модернизация отдельных узлов АБЗ совместно с автоматизацией процесса производства позволит увеличить производительность и качество изготавливаемых заводом АБС, снизить расход энергоресурсов на выпуск асфальтобетона, а также позволит выпускать новые сорта асфальтобетонных смесей. К тому же в результате модернизации улучшается экологичность завода и повышается безопасность труда рабочих на предприятии [34 – 35].

Модернизация поможет также выполнять такие пожелания заказчиков, как снижение температур асфальтобетонных смесей, использование вспененных и модифицированных битумов, применение различных химических добавок, а также внедрять иные инновационные технологии в производстве АБС [36, 37]

Также помимо частичной модернизации отдельных узлов АБЗ, можно рассмотреть вопрос полной реконструкции АБЗ «под ключ» с внедрением современной установки одного из мировых производителей в этой сфере. Однако покупка нового завода – это очень дорогостоящее мероприятие с внушительными материальными затратами и при небольших объемах производства АБС будет иметь весьма низкую экономическую целесообразность в виду очень большого срока окупаемости инвестиций. Поэтому данное направление модернизации АБЗ необходимо рассматривать в комплексе с вопросами по оптимизации всей производственной цепочки: от доставки сходных компонентов, до финишной укладке дорожного покрытия.

Помимо модернизации отдельных узлов и полной реконструкции АБЗ можно рассмотреть иные технические решения повышения энергетической эффективности производства асфальтобетона. Одним из таких решений является интеграция в

теплоэнергетическую систему АБЗ газопоршневых агрегатов (ГПА), для создания на базе действующего АБЗ комбинированного комплекса по производству основной продукции и выработки тепловой и электрической энергии [38]. ГПА преобразуют энергию природного газа в электроэнергию и тепловую энергию с различными теплоносителями, среди которых доминируют уходящие дымовые газы, имеющие наиболее подходящий температурный потенциал для генерации сушильного агента, требуемого для сушки и нагрева инертных материалов в сушильном барабане. При этом тепловая энергия системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания ГПА в виде теплофикационной воды с температурой 95/70°C может быть использована для подогрева битумного хозяйства АБЗ.

*Повышение удобства перевозок и сокращение затрат на транспортировку*

Установлено, что качество асфальтобетонного покрытия зависит как от соблюдения технологии производства работ, так и от качества АБС, поступающей на объект [39]. Технологический процесс доставки АБС до места укладки представляет собой многооперационный процесс с большой разновидностью операций, поэтому необходимо формирование и построение оптимальных условий для эффективного функционирования цепей поставок АБС на объекты производства работ с возможностью оперативного прогнозирования [40, 41]. Немаловажным элементом в этой системе может стать применение на дорожно-строительных предприятиях мобильных АБЗ контейнерного типа, которые можно, при необходимости, быстро перемещать с одних объектов на другие. Таким образом, сложение, сокращение и совмещение операций всего технологического процесса, снижение трудоемкости выполняемых работ, уменьшение количества необходимого персонала – все это положительно влияет на экономическую состояние дорожно-строительных предприятий [42].

Современное дорожное строительство не может обойтись без применения битумов для выпуска АБС. От их свойств также напрямую зависит качество строящихся дорог. Более того, битумный материал нужно не только правильно изготовить, но и правильно транспортировать к месту использования [43]. Наиболее эффективным (с точки зрения энергосбережения) вариантом доставки битумного вяжущего на АБЗ является вариант доставки битума по потребности завода, чтобы не сливать битум в накопительные емкости с дальнейшим его разогревом, а сразу заливать в расходную емкость, чтобы при минимальном разогреве подавать битум в смеситель.

Объектом исследования в данной статье является энергетическая эффективность АБЗ на примере одной из дорожно-строительных организаций Республики Беларусь – КУП «Брестоблдорстрой» (Брестская область) (далее предприятие).

Основными видами производственной деятельности предприятия являются: производство асфальтобетонной смеси всех типов и марок; сортировка и мойка щебня разных фракций; производство модифицированных вяжущих и битумных эмульсий; производство бетонных вибропрессованных камней и плитки; строительство и эксплуатация автомобильных дорог.

В состав предприятия в качестве филиалов входят 16 дорожно-ремонтно-строительных управлений (ДРСУ), которые расположены во всех районах области, в восьми филиалах эксплуатируются АБЗ.

Основным видом потребляемого топлива на предприятии, при производстве асфальтобетонной смеси, является природный газ, который используется для разогрева инертных материалов в сушильных барабанах асфальтобетонных заводов и для разогрева вяжущего вещества (битума) в емкостях хранения битума.

Все эксплуатируемые асфальтосмесительные установки – это установки производства ЗАО «Кредмаш» типа ДС-185. Внешний вид асфальтосмесительного завода ДС-185 представлен на рисунке **Ошибка! Источник ссылки не найден..** Пример внешнего вида горелочных устройств сушильного барабана и расходной битумной емкости асфальтобетонного завода приведен на рисунке **Ошибка! Источник ссылки не найден..**

Краткое описание действующего технологического процесса изготовления асфальтобетонной смеси: битум на заводы доставляется автомобильным транспортом и насосом перекачивается либо сразу в расходные емкости, либо в накопительные.

С накопительных емкостей насосом битум подается в расходные емкости, откуда с помощью насосной станции поступает уже непосредственно в смеситель. В расходных емкостях битум подогревается при помощи горелочных устройств на жидком или газообразном топливе до температуры 130-150 °С. Температура в расходных емкостях поддерживается автоматически при помощи температурных датчиков.



Рис. 1. Внешний вид асфальтосмесительного завода ДС-185

Fig. 1. Appearance of the DS-185 asphalt mixing plant



a)



б)

Рис. 2. Внешний вид а) горелочного устройства сушильного барабана, б) горелочного устройства расходной битумной емкости

Fig. 2. Appearance of a) the burner device of the drying drum, б) the burner device of the consumable bitumen tank

Заполнитель асфальтобетона (щебень, песок, минеральный порошок) мерными порциями из бункеров посредством системы транспортеров подается в сушильный барабан, где происходит испарение влаги. Для сушки заполнителя также используются горелочные устройства, работающие либо на природном газе, либо на жидком топливе. Высушенный заполнитель с температурой материалов 145-185 °С и разогретый битум подаются в смеситель, где происходит их перемешивание. Температура асфальтобетонной смеси при выпуске ее из смесителя составляет 140-160 С. Готовый асфальтобетон загружается в грузовой автотранспорт и доставляется к месту работы.

После розжига форсунки для первых порций горячего материала нагревают элеватор, грохот, бункер, весовой дозатор и мешалку. Далее первоначально делается 5-6 пробных замесов, не включая подачу битума, и проверяется точность дозирования. После регулировки и установки требуемых норм подачи дозаторов смесителя, включается подача битума, смесительная установка переводится в автоматический режим работы и начинается производственный выпуск асфальтобетонной смеси.

В таблице представлены данные фактического выпуска АБС асфальтобетонными заводами предприятия, а также удельный расход топлива на выпуск АБС.

Таблица

Фактические показатели работы АБЗ предприятия

Наименование филиала предприятия	Тип АБЗ	Выпуск АБС, т	Удельный расход топлива кг у.т./т
ДРСУ-139 (г. Иваново)	ДС-185	30 412,94	12,95
ДРСУ-102 (г. Береза)	ДС-185	50 721,00	11,22
ДРСУ-104 (г. Пинск)	ДС-185	28 916,80	13,31
ДРСУ-136 (г. Барановичи)	ДС-185	30 920,00	12,56
ДРСУ-137 (г. Высокое)	ДС-185	45 664,00	8,61
ДРСУ-179 (г. Малорита)	ДС-185	35 366,66	10,83
ДРСУ-141 (г. Столин)	ДС-185	22 977,64	13,25
ДРСУ-100 (г. Ганцевичи)	ДС-185	25 219,00	9,76

Графическая интерпретация распределения удельных расходов топлива на выпуск АБС по методу конечного использования представлена на рисунке 3.

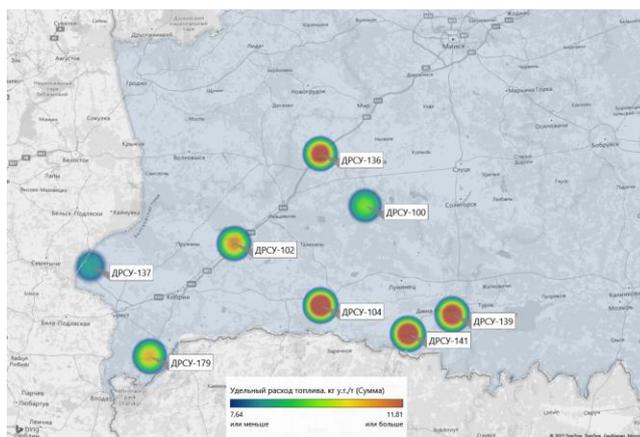


Рис. 3. Графическая интерпретация распределения удельных расходов топлива по каждому ДРСУ *Fig. 3. Graphical interpretation of the distribution of specific fuel consumption for each DRS*

Основные технико-экономические показатели работы предприятия в соответствии отражены на рисунке 4. Как видно из диаграммы суммарная доля денежных затрат на энергопотребление в общих объемах затрат производственной деятельности в процентном соотношении составляет 13,2 %.

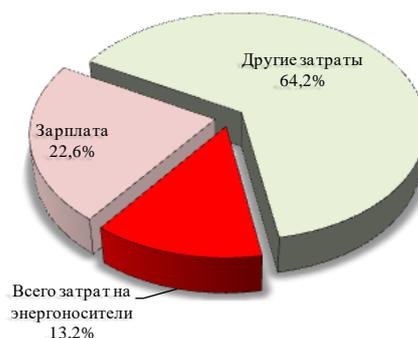


Рис. 4. Структура основных технико-экономических показателей работы предприятия в % *Fig. 4. The structure of the main technical and economic indicators of the enterprise in %*

На рисунке 5 представлена структура производственного потребления энергоресурсов в целом по предприятию в процентном соотношении.

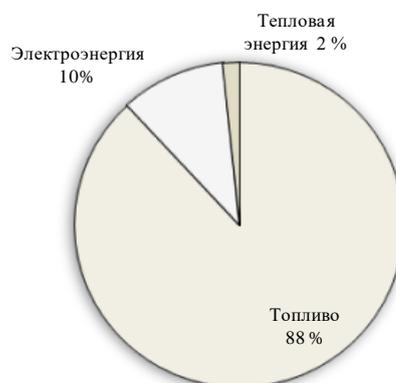


Рис. 5. Структура производственного потребления энергоресурсов в целом по предприятию в процентном отношении *Fig. 5. The structure of industrial consumption of energy resources in the whole enterprise in percentage terms*

Проведенный анализ технико-экономических показателей работы предприятия показывает, что основным видом потребляемого топлива на предприятии является природный газ, на его долю приходится 88 % от общего потребления энергоресурсов на предприятии. Суммарная доля денежных затрат на энергоресурсы в общих объемах затрат производственной деятельности в процентном соотношении составляет 13,2 %. Анализ удельных расходов топлива на выпуск АБЗ показывает неравномерность данного показателя в разрезе по существующим АБЗ.

#### **Результаты и обсуждения**

Проведенный анализ технико-экономических показателей работы предприятия указывает на актуальность задачи по уменьшению энергопотребления и развития методов повышения энергоэффективности дорожно-строительных предприятий.

По проведенному обзору литературы в данной области исследования можно сказать, что не рассматривались такие важные пути повышения энергетической эффективности дорожно-строительных предприятий как: корреляционный и регрессионный анализ наиболее влияющих факторов на модель энергопотребления дорожно-строительных предприятий; оптимизация режимов работы близко расположенных асфальтобетонных заводов исходя из условий их оптимальной загрузки; прогнозирование энергетической эффективности АБЗ в условиях изменения погодных условий и в условиях повторно-кратковременного режима работы.

#### **Выводы**

Повышение энергетической эффективности дорожно-строительных предприятий и поиск возможных путей снижения расхода топливно-энергетических ресурсов на выпуск асфальтобетонной смеси является актуальной задачей исследования.

Поэтапная оптимизация технологических расходов энергоресурсов и прогнозирование эффективности их использования в зависимости от изменения влияющих факторов позволит снизить энергетическую составляющую в себестоимости выпускаемой продукции и положительно скажется на материальном положении предприятия.

#### **Литература**

1. Круглов В.В. Разработка стратегии развития предприятия дорожно-строительной отрасли (на примере ООО «ССК») : дис. ... маг. эк. наук : 38.04.02.15 / Красноярск, 2017. 69 с.
2. Доценко А.И., Руденский А.В. Разработка и внедрение комплекса ресурсосберегающих технологий строительства дорожно-транспортных сооружений повышенной долговечности // Дороги и мосты. 2011. № 1. С. 38-45.
3. Лупанов А.П., Гладышев Н.В. Энергозатраты при производстве асфальтобетонных смесей // Наука и техника в дорожной отрасли. 2013. № 2. С. 36-37.
4. Лентехстром [Электронный ресурс]. Как делают асфальт: технология производства асфальтобетонных смесей. Режим доступа: <https://ltsr.ru/articles/kak-delaut-asfalt/#vidy>. Дата доступа: 30.10.2021.
5. KlademBeton.ru [Электронный ресурс]. Технология производства асфальтобетона. Режим доступа: <https://kladembeton.ru/tehnologija/inye/proizvodstvo-asfaltobetona.html>. Дата доступа: 30.10.2021.
6. Основные средства [Электронный ресурс]. Современные технологии производства асфальтобетонных смесей. Режим доступа: <https://os1.ru/article/6984-sovremennye-tehnologii-proizvodstva-asfaltobetonnyh-smesey>. Дата доступа: 30.10.2021.
7. Доринфо [Электронный ресурс]. Современные технологии производства асфальтобетона в России. Режим доступа: [https://dorinfo.ru/99\\_detail.php?ELEMENT\\_ID=79940](https://dorinfo.ru/99_detail.php?ELEMENT_ID=79940). Дата доступа: 30.10.2021.
8. Официальный сайт ЧАО «Кредмаш» [Электронный ресурс]. АБЗ непрерывного и циклического действия. Режим доступа: <https://kredmash.com/ru/blog/chem-otlichayutsya-abz-nepreeryvnogo-i-tsiklichnogo-deystviya>. Дата доступа: 30.10.2021.
9. Медиакаталог «Кто есть кто на рынке спецтехники» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.cdminfo.ru/spetstehnika/dorozhnaya-tehnika/5.-asfaltovyiye-zavodyi-i-asfaltosmesitelnyie-ustanovki.html>. Дата доступа: 30.10.2021.
10. Проказов НА. Возвращение теплого асфальтобетона // Автомобильные дороги. 2014. №5. С. 100-103.
11. Cheraghian G. et al. Warm mix asphalt technology: An up to date review // Journal of Cleaner Production. 2020. V. 268. pp. 122-128.
12. Ядыкина В.В. и др. Влияние энергосберегающих добавок на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона на примере Evotherm, Азол 1007 и Адгезол 3-тд //

Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. №. 6.

13. Arshad A. K. et al. Resilient Modulus Performance of Warm Mix Asphaltic Concrete using Cecabase RT Additive. 2020.V.4. pp78-92.

14. Yadykina V.V., Chichigin M.V. Warm Asphalt Mixes Based on Polymer-Bitumen Binders // Materials Science Forum. Trans Tech Publications Ltd, 2020. V. 992. pp. 243-247.

15. Wang H. et al. Review of warm mix rubberized asphalt concrete: Towards a sustainable paving technology // Journal of cleaner production. 2018. T. 177. C. 302-314.

16. Shanbara H. K. et al. The future of eco-friendly cold mix asphalt // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021. V. 149. pp. 111318.

17. Jain S., Singh B. Cold mix asphalt: An overview // Journal of Cleaner Production. 2021. V. 280. pp. 124378.

18. Sarsam S. I. Comparative Assessment of Tensile and Shear Behavior of Cold, Warm and Hot Mix Asphalt Concrete // International Journal of Transportation Engineering and Traffic System. 2019. V. 5. №. 2. pp. 39-47.

19. Лабусов Н.В. и др. РЕГЕНЕРАЦИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА // Неделя науки СПбПУ. 2019. С. 62-65.

20. Лыштван К.В., Цупикова Л.С. Регенерация асфальтобетона // Материалы 57-й студенческой научно-технической конференции инженерно-строительного института ТОГУ. 2017. С. 179-182.

21. Jahanbakhsh H. et al. Sustainable asphalt concrete containing high reclaimed asphalt pavements and recycling agents: Performance assessment, cost analysis, and environmental impact // Journal of Cleaner Production. 2020. V. 244. pp. 118837.

22. Ярмолинский В. А., Жабкин М. О., Ярмолинская Е. В. СПОСОБЫ ГОРЯЧЕЙ РЕГЕНЕРАЦИИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения. 2018. С. 89-95.

23. Sivilevičius H., Bražiūnas J., Prentkovskis O. Technologies and principles of hot recycling and investigation of preheated reclaimed asphalt pavement batching process in an asphalt mixing plant // Applied Sciences. 2017. V. 7. №. 11. pp. 1104.

24. Yousefi A.A. et al. Cracking properties of warm mix asphalts containing reclaimed asphalt pavement and recycling agents under different loading modes // Construction and Building Materials. 2021. V. 300. pp. 124130.

25. Скрыпник Т.В., Хоролоц А.В. Опыт применения регенерированной асфальтобетонной смеси для ремонта покрытия автомобильных дорог // Вести Автомобильно-дорожного института. 2020. №. 2. С. 48-54.

26. Бусел А.В. Восстановление свойств асфальтобетонных покрытий методом холодного ресайклинга. 2019.

27. Wang Y. et al. Cold recycling of reclaimed asphalt pavement towards improved engineering performance // Journal of Cleaner Production. 2018. V. 171. pp. 1031-1038.

28. Лебедева К.Ю. Усовершенствование дорожных покрытий из асфальтобетона с помощью модифицированных вяжущих // Актуальные направления научных исследований: перспективы развития. 2017. С. 266-268.

29. Celauro C., Praticò F.G. Asphalt mixtures modified with basalt fibres for surface courses // Construction and Building Materials. 2018. V. 170. pp. 245-253.

30. Сенцов И. В. и др. Промышленные отходы и ТБО в дорожном строительстве // AlfaBuild. 2018. №. 3. С. 52-65.

31. Кузнецова С.Г. Дорожное покрытие из переработанных отходов // Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии. 2020. С. 83-86.

32. Picado-Santos L.G., Capitão S.D., Neves J.M.C. Crumb rubber asphalt mixtures: A literature review // Construction and Building Materials. 2020. V. 247. pp. 118577.

33. Лупанов А.П. и др. Повышение энергоэффективности производства асфальтобетонных смесей // Транспортное строительство. 2021. №. 2. С. 8-11.

34. Петренко В.С. Выбор битумохранилища для асфальтобетонного завода // Редакционная коллегия: ЮИ Кулаженко (отв. редактор), АА Ерофеев (зам. отв. редактора), ДВ Леоненко (зам. отв. редактора). 2018. С. 100.

35. Кураков Ю.И., Свиридова А.Н., Маковецкая А.В. IT-технологии в производстве асфальтобетона // Современные прикладные исследования. 2020. С. 362-366.

36. Franzitta V. et al. Primary data collection and environmental / energy audit of hot mix asphalt production // Energies. 2020. V. 13. №. 8. pp. 2045.

37. Thives L. P., Ghisi E. Asphalt mixtures emission and energy consumption: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. V. 72. pp. 473-484.

38. Хрусталева Б.М. и др. К вопросу энергосбережения на асфальтобетонных заводах // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических

объединений СНГ. 2010. №. 6.

39. Царенкова И.М., Кравченя И.Н. Оптимизация логистических процессов при транспортировке цементобетонных смесей. 2018.

40. Сенькевич А.А., Гасюк Е.В. Анализ показателей технологического процесса доставки асфальтобетонной смеси // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2018. №. 5-1.

41. Байтеш К., Джабраилов Х. А. Управление транспортировкой асфальтобетонной смеси // Прорывные научные исследования как двигатель науки. 2018. С. 38-41.

42. Dzhabrailov K. et al. Development of a Control System for the Transportation of Asphalt Mix with the Maintenance of the Required Temperature // International Scientific Siberian Transport Forum. – Springer, Cham, 2019. pp. 354-364.

43. Кукуц А. Е., Гриневич Н.А. Особенности транспортировки битумных вяжущих // Материалы 16 Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов: посвящается 90-летию Уральского государственного лесотехнического университета (УЛТИ УГЛТА УГЛТУ). УГЛТУ, 2020. С. 218-221.

### Авторы публикации

**Бахур Сергей Иванович** – заведующий лабораторией «Энергоаудит и нормирование ТЭР». Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого, кафедра «Электроснабжение». Email: sergbax@mail.ru.

**Капанский Алексей Александрович** – доцент кафедры «Электро-снабжение», кандидат технических наук, Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого, кафедра «Электроснабжение». E-mail: kapanski@mail.ru.

### References

1. Kruglov VV. *Development of a strategy for the development of an enterprise in the road-building industry (for example, LLC "SSK")*: dis. ... the magician. eq. Sciences: 38.04.02.1. Krasnoyarsk. 2017. 69 P.

2. Dotsenko AI, Rudensky AV. Development and implementation of a complex of resource-saving technologies for the construction of road-transport structures of increased durability. *Roads and bridges*. 2011;1:38-45.

3. Lupanov AP, Gladyshev NV. Energy consumption in the production of asphalt concrete mixtures. *Science and technology in the road industry*. 2013;2:36–37.

4. Lentekhstrom [Electronic resource]. *How asphalt is made: technology for the production of asphalt concrete mixtures*. Available at: <https://ltsr.ru/articles/kak-delaut-asfalt/#vidy>. Accessed to: 10/30/2021.

5. KlademBeton.ru [Electronic resource]. *Technology for the production of asphalt concrete*. Access mode: <https://kladembeton.ru/tehnologija/inve/proizvodstvo-asfaltobetona.html>. Accessed to: 10/30/2021.

6. Fixed assets [Electronic resource]. *Modern technologies for the production of asphalt concrete mixtures*. Available at: <https://os1.ru/article/6984-sovremennyye-tehnologii-proizvodstva-asfaltobetonnyh-smesey>. Date of access: 10/30/2021.

7. Dorinfo [Electronic resource]. *Modern technologies for the production of asphalt concrete in Russia*. Available at: [https://dorinfo.ru/99\\_detail.php?ELEMENT\\_ID=79940](https://dorinfo.ru/99_detail.php?ELEMENT_ID=79940). Accessed to: 10/30/2021.

8. Official site of PJSC "Kredmash" [Electronic resource]. *ABZ of continuous and cyclic action*. Available at e: <https://kredmash.com/ru/blog/chem-otlichayutsya-abz-nepreryvnogo-i-tsiklichnogo-deystviya>. Accessed to: 10/30/2021.

9. Media catalog «Who is who on the market of special equipment» [Electronic resource]. Available at: <http://www.cdminfo.ru/spetstehnika/dorozhnaya-tehnika/5.-asfaltovyye-zavody-i-asfaltomesitelnyie-ustanovki.html>. Accessed to: 10/30/2021.

10. Prokazov NA. Return of warm asphalt concrete. *Automobile roads*. 2014;5:100-103.

11. Cheraghian G, et al. Warm mix asphalt technology: An up to date review. *Journal of Cleaner Production*. 2020;268:122128.

12. Yadykina VV, et al. Influence of energy-saving additives on the properties of crushed stone-mastic asphalt concrete on the example of Evothem, Azol 1007 and Adgezol 3-td. *Bulletin of the Belgorod State Technological University*. 2015;6.

13. Arshad AK. et al. *Resilient Modulus Performance of Warm Mix Asphaltic Concrete using Cecabase RT Additive*. 2020;4:78-92.

14. Yadykina VV, Chichigin MV. Warm Asphalt Mixes Based on Polymer-Bitumen Binders. *Materials Science Forum*. Trans Tech Publications Ltd, 2020;992:243-247.

15. Wang H. et al. Review of warm mix rubberized asphalt concrete: Towards a sustainable paving technology. *Journal of cleaner production*. 2018;177:302-314.
16. Shanbara HK, et al. The future of eco-friendly cold mix asphalt. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021;149:111318.
17. Jain S, Singh B. Cold mix asphalt: An overview. *Journal of Cleaner Production*. 2021;280:124378.
18. Sarsam SI. Comparative Assessment of Tensile and Shear Behavior of Cold, Warm and Hot Mix Asphalt Concrete. *International Journal of Transportation Engineering and Traffic System*. 2019;5(2):39-47.
19. Labusov NV et al. Asphalt concrete regeneration. *Science Week of SPbPU*. 2019;62-65.
20. Lyshtvan KV, Tsupikova LS. Regeneration of asphalt concrete. *Materials of the 57th student scientific and technical conference of the PNU Civil Engineering Institute*. 2017;179-182.
21. Jahanbakhsh H. et al. Sustainable asphalt concrete containing high reclaimed asphalt pavements and recycling agents: Performance assessment, cost analysis, and environmental impact. *Journal of Cleaner Production*. 2020;244:118837.
22. Yarmolinskiy VA, Zhabkin MO, Yarmolinskaya EV METHODS OF HOT REGENERATION OF ASPHALT CONCRETE COATINGS. *Far East. Highways and traffic safety*. 2018:89-95.
23. Sivilevičius H, Bražiūnas J, Prentkovskis O. Technologies and principles of hot recycling and investigation of preheated reclaimed asphalt pavement batching process in an asphalt mixing plant. *Applied Sciences*. 2017;7(11):1104.
24. Yousefi AA, et al. Cracking properties of warm mix asphalts containing reclaimed asphalt pavement and recycling agents under different loading modes. *Construction and Building Materials*. 2021;300:124130.
25. Skrypnik TV, Khorolets AV. Experience of using regenerated asphalt concrete mixture for the repair of road surfaces. *News of the Automobile and Road Institute*. 2020;2:48-54.
26. Busel AV. *Restoring the properties of asphalt concrete pavements by the cold recycling method*. 2019.
27. Wang Y, et al. Cold recycling of reclaimed asphalt pavement towards improved engineering performance. *Journal of Cleaner Production*. 2018;171:1031-1038.
28. Lebedeva KYu. Improvement of road surfaces made of asphalt concrete using modified binders. *Actual directions of scientific research: development prospects*. 2017:266-268.
29. Kuznetsova SG. Road pavement from recycled waste. *Cities of Russia: problems of construction, engineering, improvement and ecology*. 2020:83-86.
30. Picado-Santos LG, Capitão SD, Neves JM. C. Crumb rubber asphalt mixtures: A literature review. *Construction and Building Materials*. 2020;247:118577.
31. Lupanov AP. et al. Increasing the energy efficiency of the production of asphalt concrete mixtures. *Transport construction*. 2021;2:8-11.
32. Petrenko VS. Choice of bitumen storage for an asphalt concrete plant. Editorial board: YuI Kulazhenko (editor-in-chief), AA Erofeev (deputy editor-in-chief), DV Leonenko (deputy editor-in-chief). 2018:100.
33. Gagarin AYu, Dudin VM Energy-efficient technology for the production of asphalt concrete mixture. *Mathematics and natural sciences. Theory and practice*. 2018:126-131.
34. Potemkin VG, Pechenyi BG Ways of improving the automation of asphalt concrete plants. *Building materials*. 2010;4.
35. Kurakov YuI, Sviridova AN, Makovetskaya AV. IT-technologies in the production of asphalt concrete. *Modern applied research*. 2020;362-366.
36. Franzitta V, et al. Primary data collection and environmental / energy audit of hot mix asphalt production. *Energies*. 2020;13(8):2045.
37. Thives LP, Ghisi E. Asphalt mixtures emission and energy consumption: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017;72:473-484.
38. Khrustalev BM, et al. On the issue of energy saving at asphalt concrete plants *Energetika. Proceedings of higher educational institutions and energy associations of the CIS*. 2010;6.
39. Tsarenkova IM, Kravchenya IN *Optimization of logistics processes in the transportation of cement-concrete mixtures*. 2018.
40. Senkevich AA, Gasyuk EV Analysis of indicators of the technological process of delivery of asphalt concrete mixture. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2018;5-1.
41. Baytsh K, Dzhabrailov KhA. Management of the transportation of asphalt concrete

mixture. *Breakthrough scientific research as an engine of science*. 2018;38-41.

42. Dzhabrailov K, et al. Development of a Control System for the Transportation of Asphalt Mix with the Maintenance of the Required Temperature. International Scientific Siberian Transport Forum. *Springer*, Cham, 2019. pp.354-364.

43. Kukuts AE, Grinevich NA Peculiarities of transportation of bituminous binders. Materials of the XVI All-Russian Scientific and Technical Conference of Students and Postgraduates: dedicated to the 90th anniversary of the Ural State Forestry University (ULTI UGLTA UGFTU). USLTU, 2020 .pp. 218-221.

#### **Authors of the publication**

**Sergey I. Bakhur** – Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoi, Department of «Power Supply». Email: sergbax@mail.ru.

**Alexey Al. Kapansky** – Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoi, Department of «Power Supply» E-mail: kapanski@mail.ru.

**Получено** **18.10.2021г.**

**Отредактировано** **29.10.2021г.**

**Принято** **29.10.2021г.**