

## РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ПРИМЕРЕ ДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

### RESOURCE SAVING IN CONSTRUCTION INDUSTRY WITH HIGHWAY BRANCH AS EXAMPLE

А. В. Руденский,

доктор технических наук, академик Академии военных наук

Объективным, не зависящим от колебаний ценовых показателей критерием технической эффективности работ по строительству и ремонту являются энергозатраты на них. Строительство дорог (в особенности асфальтобетонных покрытий) – важный сектор строительной индустрии. Строительство дорожных асфальтобетонных покрытий включает такие компоненты, как: производство и подготовку исходных материалов, приготовление смесей, укладку и уплотнение готовой смеси, транспортирование всех материалов. Произведена осредненная оценка энергозатрат на каждый из указанных компонентов. Предложенный подход к сбережению ресурсов и энергии может быть использован в строительстве для разработки и применения инновационных решений как общего характера, так и для конкретных объектов.

Consumption of energy is an objective (independent on cost fluctuations) technical efficiency criterion of any construction or repair work. Highway/road (particularly bituminous pavement) sector is an important construction industry part. Bituminous road pavement construction consists of such components as excavation and preparation of basic materials, manufacture of mixes, ready mix laying/compacting and transportation of all materials. Average energy consumption for every bituminous pavement construction component is assessed. Approach to resource and energy saving presented in the article may be used in construction industry to develop and implement innovative technical and organizational solutions both of general application and for individual projects.

La consommation d'énergie est un critérium objectif (c'est à dire que il n'est pas subit aux fluctuations des couts) d'efficacité technique de n'importe quel travail de construction ou réparation. Construction de routes et particulièrement de revêtements bitumineux fait un parti essentiel d'industrie de construction. Construction de revêtements bitumineux routiers se compose de quelques éléments tels q'excavation et traitement de matières initiales, préparation, emballage et compaction de mélanges, transportation de tous les matériels. On donne l'estimation moyenne de consommation d'énergie pour toutes les éléments de construction de revêtements bitumineux. L'approche à économiser des ressources et d'énergie présentée dans l'article peut être usée en l'industrie de construction aux développement et à l'utilisation de solutions techniques et organisationnelles pour l'application générale aussi q'en objets individuels.

Verbrauch an Energie ist ein objektive (weil es von dauernden Kostveränderungen unabhängig ist) Kriterium der technischen Effizienz jeder Bau- und Renovierungsarbeit. Straßenbau und insbesondere der Bau von Asphaltbedeckungsschichten ist ein wesentlicher Teil der Bauindustrie. Asphaltbedeckung besteht aus einigen Komponenten wie Graben und Verarbeiten Anfangsmaterialien, Bereiten, Legen und Verdichtung Asphaltgemischen, Transportieren aller Materialien. Man gibt Energieverbrauchswerte für jede Asphaltbedeckungsarbeitskomponente. Der in der Artikel beschriebener Ressourcen- und Energiequelleneinsparungszugang man kann für die Entwicklung und Anwendung innovative technische und organisatorische Beschlüsse verwenden, die für allgemein Verbrauch oder für individuelle Bauvorhaben geeignet werden können.

**Ключевые слова:** ресурсосбережение, строительство, асфальтобетонное дорожное покрытие, энергосбережение, инновационная технология.

**Key words:** resource saving, construction, bituminous road pavement, energy saving, innovative technology.

**Mots clefs:** économisation des ressources, construction, revêtements routiers bitumineux, économisation d'énergie, technologie innovative.

**Schlüsselwörter:** Ressourcenquelleneinsparung, Bau, Straßenasphaltbedeckung, Energiequelleneinsparung, Innovationstechnologie.

Строительная индустрия является сферой народного хозяйства, располагающей значительными резервами ресурсосбережения. Возможности ресурсосбережения в строительстве определяются значительными объемами потребления строительных материалов и большими затратами на их переработку и транспортирование.

Инновационные технические решения в этой сфере могут дать значительный ресурсосберегающий эффект за счет рационального использования материальных и энергетических ресурсов при проведении работ по строительству разного рода объектов промышленного и гражданского строительства, применения новых технических решений, рационального конструирования и продления сроков службы сооружений.

В данной работе возможности ресурсосбережения рассмотрены на примере дорожного строительства, как одной их сфер, требующих расходования значительных объе-

мов дорожно-строительных материалов и энергозатрат на их переработку и транспортирование.

В области дорожного строительства одним из важных направлений является строительство и ремонт дорожных конструкций с асфальтобетонными покрытиями. Дороги с асфальтобетонными покрытиями составляют основу дорожной сети страны, на них приходится основной объем перевозок автомобильным транспортом. Протяженность дорог с асфальтобетонными покрытиями составляет более 90% от общей протяженности дорог с покрытиями усовершенствованного капитального типа. Дорожные асфальтобетонные покрытия в наибольшей степени отвечают требованиям современного скоростного и грузонапряженного движения автотранспорта.

В целях выявления наиболее эффективных технических решений, обеспечивающих реальные возможности ресурсосбережения, необходима объективная оценка сравнительных затрат материальных, энергетических и финансовых ресурсов. При планировании и проведении строительных и ремонтных работ оценка эффективности принятых технических решений основывается, как правило, на анализе приведенных затрат, основанном на сопоставлении стоимостных показателей вариантов технических решений.

Однако в условиях свободной вариации ценовых показателей, определяемых на договорной основе между подрядчиком и заказчиком, оценка стоимости работ не всегда дает объективную картину реальной технической эффективности принимаемых решений. Колебания цен могут зависеть от ряда конъюнктурных факторов, не связанных непосредственно с особенностями технических решений.

Наиболее объективным критерием технической эффективности тех или иных решений при проведении работ по строительству и ремонту, не зависящим от колебаний ценовых показателей, является анализ энергозатрат, необходимых для реализации принятых вариантов строительства или ремонта. Такой анализ позволяет оценить фактически необходимый объем энергозатрат на реализацию проекта, выраженный в сумме кило-

ватт-часов или тоннах условного топлива. Оценка затрат энергоносителей (топлива, электроэнергии) на реализацию выбранного технического решения дает объективную характеристику технической эффективности рассматриваемого варианта строительства или ремонта.

Так, в частности, проведенный анализ структуры энергозатрат на строительство дорожных асфальтобетонных покрытий показывает, что они складываются из затрат на производство исходных материалов для приготовления асфальтобетонных смесей, транспортирования этих материалов к асфальтобетонному заводу (АБЗ), подготовки исходных материалов и приготовления асфальтобетонных смесей, транспортирования смесей к месту устройства покрытия, укладки и уплотнения готовой смеси при устройстве покрытия.

Анализ распределения энергозатрат показывает, что на производство дорожно-строительных материалов, их подготовку и транспортирование к месту производства работ расходуется 25–45% от общей суммы энергозатрат.

Для устройства асфальтобетонного покрытия на 1 км двухполосной дороги районного значения (шириной 7 м) при толщине слоя покрытия 10 см требуется около 1650 тонн асфальтобетонной смеси, в том числе 850 тонн щебня, 580 тонн песка, 130 тонн минерального порошка и 90 тонн нефтяного битума. Для устройства 1 км асфальтобетонного покрытия на магистральной многополосной автомобильной дороге (шириной 21 м) при толщине слоя покрытия 18 см требуется около 9000 тонн асфальтобетонной смеси, в том числе 4600 тонн щебня, 3200 тонн песка, 700 тонн минерального порошка и 500 тонн нефтяного битума.

На производство указанного количества материалов необходимо затратить значительное количество энергоресурсов.

#### Энергозатраты на производство различных дорожно-строительных материалов

Данные об удельных затратах энергии на производство различных дорожно-строительных материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Энергозатраты на производство основных дорожно-строительных материалов

Наименование материала	Расход энергии на производство 1т материала, ГДж	Эквивалентный расход условного топлива на производство 1т материала, л
портландцемент	7,63	250
битум	0,62	20
щебень	0,06	2
песок, гравий	0,016	0,5
минеральный порошок	0,06	2

Расчеты показывают, что на производство материалов для устройства 1 км асфальтобетонного покрытия дороги районного значения необходимо затратить 125 ГДж энергии, а на производство материалов для устройства 1 км асфальтобетонного покрытия магистральной автодороги необходимо затратить 680 ГДж энергии.

#### Энергозатраты на транспортирование материалов к месту производства асфальтобетонной смеси

Энергозатраты на транспортирование щебня, песка, минерального порошка и битума к месту приготовления асфальтобетонной смеси зависят от дальности и способа перевозки материалов.

При перевозке щебня железнодорожным транспортом удельный расход энергоресурсов составляет в среднем 98,9 кВт.ч на 10 000 т/км.

С учетом коэффициента пересчета на условное топливо, эквивалентный расход его на 10 000 т/км для электровозной тяги составляет 33,6 кг, а для тепловозной тяги – 45 кг. Средний расход энергоресурсов на 10 000 т/км железнодорожным транспортом составляет 39 кг условного топлива или 273 Мкал, что эквивалентно 1,15 ГДж.

Перевозка по железной дороге 500–1000 т щебня, необходимого для устройства слоя толщиной 10 см (при расчетной дальности возки 1500 км), требует затрат энергии в размере 85–170 ГДж (а с учетом затрат на погрузо-разгрузочные операции – 100–200 ГДж). Перевозка того же количества местного щебня автомобилями (на расстояние в среднем 35 км) требует затрат энергии в размере 15–30 ГДж (принимая, что средняя норма расхода энергоресурсов при перевозке автомобилями составляет 39 кг условного топлива на 1000 т/км). Перевозка 500–1000 т песка автомобилями также требует затрат энергии в размере 15–30 ГДж.

Расход энергии на погрузку и разгрузку щебня или песка при перевозках автомобилями состав-

ляет 4,64 МДж/т. Таким образом, энергозатраты на погрузо-разгрузочные работы при перевозке 500–1000 т песка равны 2,3–4,6 ГДж.

Перевозка 100–120 т битума по железной дороге требует затрат энергии в размере 17–20 ГДж, а перевозка 65–200 т минерального порошка – 20–35 ГДж. Таким образом, общие затраты энергии на транспортирование материалов, необходимых для устройства 1 км дорожного покрытия, составляют 180–300 ГДж при использовании привозного щебня и 120–150 ГДж при использовании местного щебня.

#### Анализ энергозатрат на производство асфальтобетонной смеси на АБЗ

Затраты энергии на технологические операции по приготовлению асфальтобетонных смесей складываются из затрат на нагрев материалов, подготовительные операции и перемешивание компонентов смеси.

На разогрев битума при сливе в битумохранилище из бункерного полувагона вместимостью 40 т расходуется около 220 Мкал (0,92 ГДж), т.е. на разогрев и слив 100 т битума затрачивается 2,5 ГДж. Такое же количество энергии затрачивается и при повторном разогреве битума при подаче его из хранилища в котел. Для нагрева 1 т щебня на 1°C необходимо затратить около 0,7 МДж.

Следовательно, на нагрев 1400 т щебня и песка до температуры 160–180°C при приготовлении горячих асфальтобетонных смесей требуется затратить 150–160 ГДж энергии. При производстве холодных асфальтобетонных смесей нагрев щебня и песка до температуры 100–120°C требует затрат энергии в размере 100 ГДж. Таким образом, на приготовление 1650 т холодной асфальтобетонной смеси расходуется примерно на 50–60 ГДж энергии меньше, чем на производство горячей асфальтобетонной смеси. Данные о температурах нагрева битумов разных марок и соответствующих энергозатратах на приготовление 1 т асфальтобетонной смеси приведены в таблице 2.

Таблица 2

Температуры нагрева битумов разных марок и энергозатраты на приготовление 1 т асфальтобетонной смеси на АБЗ

Марка битума	Температура нагрева, °С	Энергозатраты на 1 т смеси, МДж/т
БНД 40/60, БНД 60/90, БНД 90/130	130–150	100–110
БНД 130/200, БНД 200/300	100–120	80–90
МГ 130/200, СГ 130/200	90–100	65–70
МГ 70/130, СГ 70/130	80–90	55–65
МГ 40/70, СГ 40/70	70–80	45–55
МГ 25/40, СГ 25/40	60–70	40–50

Значительных затрат энергоресурсов требует сушка минеральных материалов. Данные о расходе энер-

горесурсов на сушку минеральных материалов в зависимости от их влажности приведены в таблице 3.

Таблица 3

## Затраты энергии на сушку минеральных материалов

Влажность минерального материала, %	Расход топлива по массе на сушку 1 т материала, л	Энергозатраты на сушку 1 т материала, МДж/т
10	11,5	449
8	9,9	385
6	8,3	323
4	6,7	260
2	5,2	198

Расход топлива при работе сушильного барабана составляет в среднем 250–300 кг/ч, а установленная мощность электродвигателей – 60–110 кВт (при производительности 25–50 т/ч). При производительности 100 т/ч расход топлива составляет 1140 кг/ч, а мощность электродвигателей – 153 кВт.

Ориентировочно можно принимать, что общий расход топлива на нагрев и сушку составляет 0,8–1,2% от массы минерального материала. Таким образом, нагрев и сушка 1400 т щебня и песка, используемых при приготовлении асфальтобетонной смеси, потребует расхода 12–15 т условного топлива, т.е. затрат энергии в количества 350–400 ГДж.

Энергозатраты на перемешивание 1 т горячей асфальтобетонной смеси составляют в среднем 1,9–2,0 кВт.ч при производительности установок 25–30 т/ч или 4–4,5 кВт.ч для асфальтосмесительных установок производительностью 40–50 т/ч. При расчетах следует учитывать, что на выработку 1 кВт.ч электроэнергии расходуется 170 г условного топлива, т.е. 1 т условного топлива дает 6000 кВт.ч электроэнергии (1 МДж = 0,156 кВт.ч = 0,026 кг условного топлива).

Таким образом, энергозатраты на перемешивание 1 т горячей асфальтобетонной смеси составляют 0,015–0,030 ГДж, а на перемешивание 1650 т – 25–50 ГДж.

Суммарные затраты энергии при производстве асфальтобетонной смеси на АБЗ складываются из затрат на хранение и подготовку битума (в среднем 0,007 ГДж/т), внутризаводского перемещения минеральных компонентов смеси (0,005 ГДж/т), работы сушильного барабана и газопылеуловителей (0,005 ГДж/т), работы смесителя (4,1 МДж/т) и составляют в среднем около 0,021 ГДж/т. На приготовление 1650 т асфальтобетонной смеси на АБЗ требуется затратить 57–60 ГДж энергии.

#### Суммарные энергозатраты на строительство асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги

Энергозатраты на транспортирование готовой асфальтобетонной смеси к месту устройства двухполосного дорожного покрытия (при сред-

ней дальности возки 20–25 км) составляют около 0,07–0,1 ГДж/т. Транспортирование 1650 т готовой асфальтобетонной смеси к месту укладки потребует затрат энергии в размере 120–165 ГДж.

Принимая, что энергозатраты на укладку и уплотнение смеси составляют в среднем около 0,017 ГДж/т, выполнение этих работ при устройстве 1 км покрытия потребует ориентировочно 28–30 ГДж энергии. Суммарная энергоемкость строительства 1 км покрытия из горячего асфальтобетона слоем толщиной 10 см составляет 800–1200 ГДж.

Удельный расход энергии на устройство 1 м<sup>2</sup> асфальтобетонного покрытия равен 0,125–0,170 ГДж (в среднем около 0,15 ГДж).

Таким образом, анализ энергозатрат на устройство асфальтобетонных покрытий показывает, что затраты на транспортные операции составляют с учетом погрузо-разгрузочных работ в среднем около 25–30% от общей суммы энергозатрат, в том числе непосредственно на транспортирование готовой горячей смеси к месту укладки – около 10–15%.

Энергозатраты на приготовление асфальтобетонной смеси составляют около 40–50% общего объема энергозатрат, а непосредственно укладка и уплотнение требуют около 5% от общего объема энергозатрат.

Проведенный анализ позволяет определить наиболее эффективные пути снижения расхода энергии при строительстве и ремонте дорожных асфальтобетонных покрытий.

Как видно из приведенных данных, снижение затрат энергии при строительстве асфальтобетонных покрытий возможно различными способами. Так, например, снижение температуры приготовления и укладки при применении холодных асфальтобетонных смесей позволяет сократить затраты энергии на 50–60 ГДж/км, по сравнению с применением горячих смесей. Существенным фактором снижения энергозатрат является улучшение условий хранения битума и минеральных материалов, позволяющее исключить необходимость в сушке щебня и обезвоживании битума. Значительные ре-

зервы экономии энергозатрат заключаются в использовании местных материалов и отходов промышленности, что позволяет сократить затраты на транспортирование материалов. Имеется целый ряд научных разработок, направленных на достижение задач экономного расходования энергоресурсов при проведении строительных и ремонтных работ в дорожной отрасли.

Одним из наиболее эффективных направлений ресурсосбережения является повышение долговечности дорожных покрытий, продление их сроков службы и соответствующее сокращение затрат на проведение ремонтных работ в процессе эксплуатации.

При необходимости проведения ремонтных работ с целью восстановления ровности и сцепных характеристик дорожного покрытия (в среднем один раз в 3–4 года согласно действующим нормам межремонтных сроков), на ремонт 1 км покрытия двухполосной дороги необходимо затрачивать в среднем около 200 тонн асфальтобетонной смеси.

Общая протяженность дорог с асфальтобетонными покрытиями в стране составляет более 300 тыс. км. Следовательно, для поддержания всей сети дорог в требуемом технико-эксплуатационном состоянии ежегодно необходимо расходовать на ремонтные работы около 60 млн. т асфальтобетонных смесей общей стоимостью порядка 120 млрд. руб.

Внедрение инновационных технических решений, позволяющих продлить сроки службы дорожных покрытий вдвое, позволит сэкономить до 60 млрд. руб. ежегодно. При этом обеспечивается ресурсосбережение в размере 14 млн. т щебня, 11 млн. т песка, 3,5 млн. т минерального порошка и 1,5 млн. т. нефтяного битума.

Наряду с инновационными технологическими решениями, направленными на повышение долговечности дорожных покрытий, существенный ресурсосберегающий эффект дают разработки по использованию местных материалов при производстве асфальтобетонных смесей, совершенствованию технологических процессов при производстве асфальтобетонных смесей за счет снижения температуры нагрева материалов и исключения

сушки каменных материалов. Так, технология, позволяющая заменить около 25% высокопрочного привозного щебня (нередко доставляемого по железной дороге с расстояния около 1000 км) местным щебнем без снижения качества асфальтобетона, дает возможность снижения энергозатрат на транспортирование в размере до 20 ГДж на 1 км дорожного покрытия. Снижение температуры приготовления асфальтобетонной смеси, необходимой для устройства 1 км двухполосного дорожного покрытия, за счет применения менее вязких нефтяных битумов обеспечит экономию энергозатрат от 20 до 60 ГДж (в зависимости от марки применяемого нефтяного битума).

Таким образом, из приведенных примеров видно, что строительная сфера располагает значительными и реальными резервами ресурсосбережения вследствие огромных объемов использования строительных материалов и имеющихся возможностей широкого использования инновационных технологий.

Выводы:

1. Дорожное строительство располагает значительными резервами ресурсосбережения. В частности, при строительстве и ремонте дорожных асфальтобетонных покрытий резервы ресурсосбережения связаны, в первую очередь, с использованием инновационных технологий, обеспечивающих продление сроков службы покрытий и соответствующего сокращения затрат материальных и энергетических ресурсов на проведение периодических ремонтных работ в процессе эксплуатации. Освобождающиеся ресурсы могут быть направлены на совершенствование и развитие автодорожной сети страны.

2. Не менее важными направлениями ресурсосбережения в дорожном строительстве являются: реализация технических решений, обеспечивающих расширение применения местных материалов; повышение эффективности технологических процессов производства асфальтобетонных смесей; расширение научных исследований, направленных на решение дальнейших задач в области ресурсосбережения и повышения энергоэффективности работ в строительной отрасли.

Руденский А. В. – доктор технических наук, академик Академии военных наук

Roudensky A. V. – Doctor of Technical Sciences; Academician, Academy of Military Sciences

e-mail: evgenii.zhukov@mail.ru