

УДК 330.131.52

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ  
СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

**Железнов Максим Максимович**

Доцент, д.т.н., профессор кафедры Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве НИУ МГСУ (Москва, Россия); e-mail: [zheleznovmm@mgsu.ru](mailto:zheleznovmm@mgsu.ru)

**Адамцевич Любовь Андреевна**

Доцент, к.т.н., доцент кафедры Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве НИУ МГСУ (Москва, Россия); e-mail: [AdamtsevichLA@mgsu.ru](mailto:AdamtsevichLA@mgsu.ru)

**Соловьев Дмитрий Александрович**

Старший научный сотрудник, к.физ.-мат.н., Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (Москва, Россия); e-mail: [solovev@guies.ru](mailto:solovev@guies.ru)

**Адамцевич Алексей Олегович**

Старший научный сотрудник, к.т.н., НИИ Строительных материалов и технологий НИУ МГСУ (Москва, Россия); e-mail: [AdamtsevichAO@mgsu.ru](mailto:AdamtsevichAO@mgsu.ru)

**Аннотация:** В статье рассматриваются некоторые актуальные вопросы снижения энергоемкости строительства объектов транспортной инфраструктуры. Показана взаимосвязь дорожно-транспортного строительства в России с возможностями производственного сектора ЖБИ. Рассмотрены пути повышения эффективности работы заводов ЖБИ, за счет оптимизации технологических процессов производства.

Отмечена актуальность внедрения технологий информационного моделирования при строительстве дорог и возведении сооружений транспортной инфраструктуры в рамках реализации концепции управления жизненным циклом объектов капитального строительства.

**Ключевые слова:** транспортная инфраструктура, дорожное строительство, ЖБИ, эффективность, энергоемкость, технологии информационного моделирования

**SOME ASPECTS OF REDUCING THE ENERGY INTENSITY OF  
THE CONSTRUCTION OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE  
FACILITIES**

**Zheleznov Maxim Maksimovich**

Associate Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction, NRU MGSU (Moscow, Russia); e-mail: [zheleznovmm@mgsu.ru](mailto:zheleznovmm@mgsu.ru)

**Adamtsevich Liubov Andreyevna**

Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction, NRU MGSU (Moscow, Russia); e-mail: [AdamtsevichLA@mgsu.ru](mailto:AdamtsevichLA@mgsu.ru)

**Solovyev Dmitry Alexandrovich**

Senior Researcher, Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Joint Institute of High Temperatures of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia); e-mail: [solovev@guies.ru](mailto:solovev@guies.ru)

**Adamtsevich Aleksey Olegovich**

Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences, Research Institute of Building Materials and Technologies, NRU MGSU (Moscow, Russia); e-mail: [AdamtsevichAO@mgsu.ru](mailto:AdamtsevichAO@mgsu.ru)

**Abstract:** The article discusses some actual issues of reducing the energy intensity of the transport infrastructure construction. The relationship between road transport construction in Russia with the capabilities of the production sector of reinforced concrete products is shown. The ways of increasing the precast concrete factories efficiency by optimizing the technological processes of production are considered.

The relevance of the information modeling technologies implementation in the construction of roads and the construction of transport infrastructure in the framework of the implementation of the concept of life cycle management of capital construction objects is noted.

**Key words:** transport infrastructure, road construction, concrete goods, efficiency, energy intensity, building information modeling

В последнее время эффективное развитие транспортной инфраструктуры становится одной из приоритетных задач для многих стран мира. Для России, имеющей огромную территорию, особенно актуально строительство автомобильных и железных дорог, которые не только связывают отдаленные регионы с центральной областью, но и обеспечивают жизнедеятельность промышленных центров, крупных городов и во многом определяют качество жизни населения. Развитая дорожная сеть обеспечивает

мобильность населения и доступ к материальным ресурсам, а также расширение производственных мощностей экономики за счет снижения транспортных расходов и времени, затрачиваемого на транспортировку [1]. Недостаточное развитие железнодорожной инфраструктуры на сегодняшний день это одна из основных проблем развития транспортной отрасли в России [2], [3]. Российские железные дороги (РЖД) - вторая по величине транспортная система мира. По общей протяженности оперативных маршрутов они уступают только США. По протяженности электрифицированных линий ОАО «РЖД» занимает первое место в мире. В этом отношении Россия вторая страна после США, где насчитывается 227,2 тыс. км железных дорог. Для сравнения: в Индии - 64 тыс. км, Китае - 66,2 тыс. км, Канаде - 58,3 тыс. км. Протяженность границ Российской Федерации составляет свыше 17 млн. кв. км, поэтому нашей стране выгодно использовать скоростное железнодорожное сообщение для создания современной и энергоэффективной транспортной системы. Однако, даже в настоящее время в некоторых регионах Дальнего Востока железных дорог все еще нет. Например, в таких городах, как Магадан, Петропавловск-Камчатский, Анадырь и Якутск железнодорожное сообщение практически не развито или попросту отсутствует. Однако стоит отметить, что существуют планы строительства железной дороги до Магадана к 2035 году, но текущие темпы строительства железных дорог в России не позволяют рассчитывать на их своевременную реализацию.

Что касается Российских автомобильных дорог федерального и общего значения, то объемы нового строительства и реконструкции дорог в ближайшее время будут увеличены. Общая протяжённость автомобильных дорог федерального значения в России на 1 января 2020 года составила 57 266,9 км. На рис.1 показана динамика роста протяженности автомобильных дорог России общего пользования федерального значения [4]. В 2020 году прирост протяженности автомобильных дорог общего пользования федерального значения составил 751 км, при этом планируется, что после 2020

г. темпы ввода новых дорог должны возрасти - до 750–1000 км за сезон. При этом по общей протяженности автомобильных дорог (1,4 млн км) Россия занимает лишь 5 место в мире, немногим уступая Бразилии (1,6 млн км) и значительно отставая от США (6,6 млн км), Индии (4,7 млн км) и Китая (4,1 млн км).

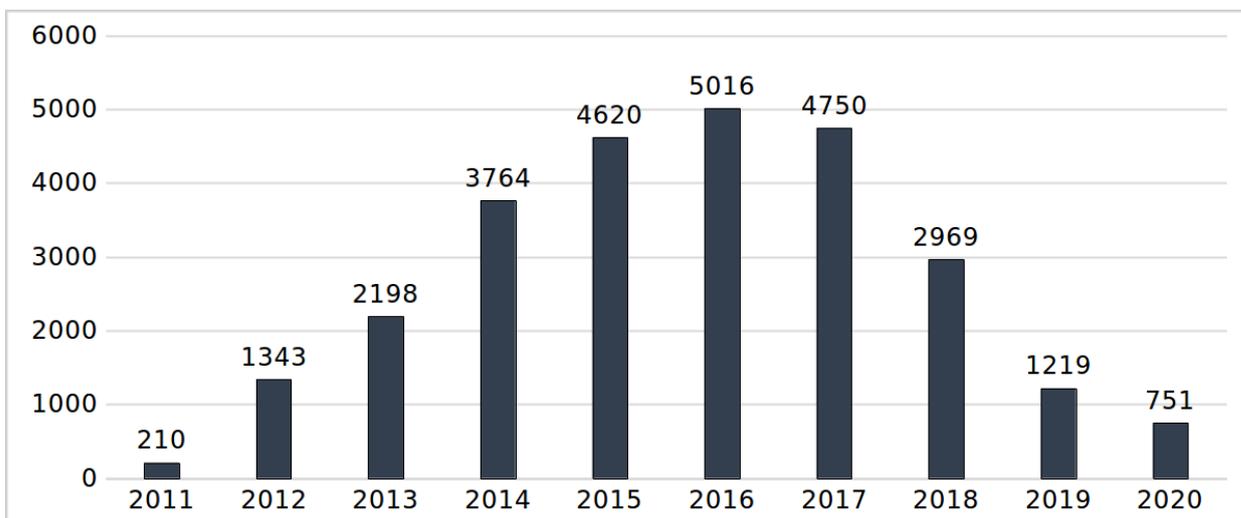
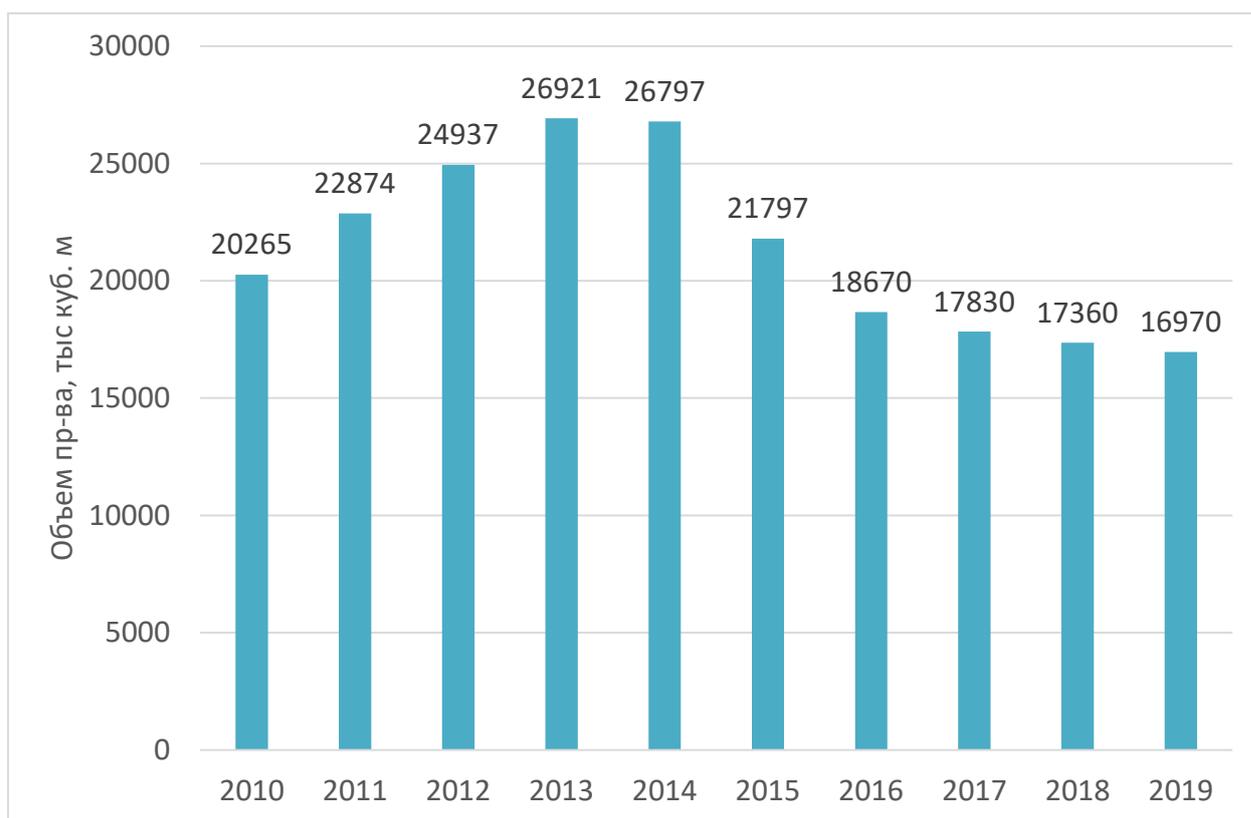


Рис. 1. Прирост протяженности автомобильных дорог общего пользования федерального значения (км), соответствующих нормативным требованиям к транспортно-эксплуатационным показателям (по данным ФЦП «Развитие транспортной системы России (2010–2020 годы), [4]).

При реализации транспортного строительства все активнее внедряются инновационные технологии, в том числе информационного моделирования (BIM от англ. Building Information Model или Modeling) и управления на этапах жизненного цикла инфраструктурного объекта [5]. Несмотря на имеющиеся проблемы, сегодня созданы предпосылки для успешной реализации стратегии развития автомобильных дорог РФ [6]. В результате в России протяжённость скоростных дорог к 2035 г. вырастет с 5 до 17 тыс. км. А время в пути, от границы Беларуси до границы Казахстана сократится с 27 до 18 часов, а от Екатеринбурга до побережья Чёрного моря — с 33 до 22 часов.

Темпы дорожного строительства тесно связаны с возможностями сектора производства сборного железобетона. Производство бетонных изделий для строительства дорог и мостов относится к направлению строительства инженерных сооружений. Это направление включает

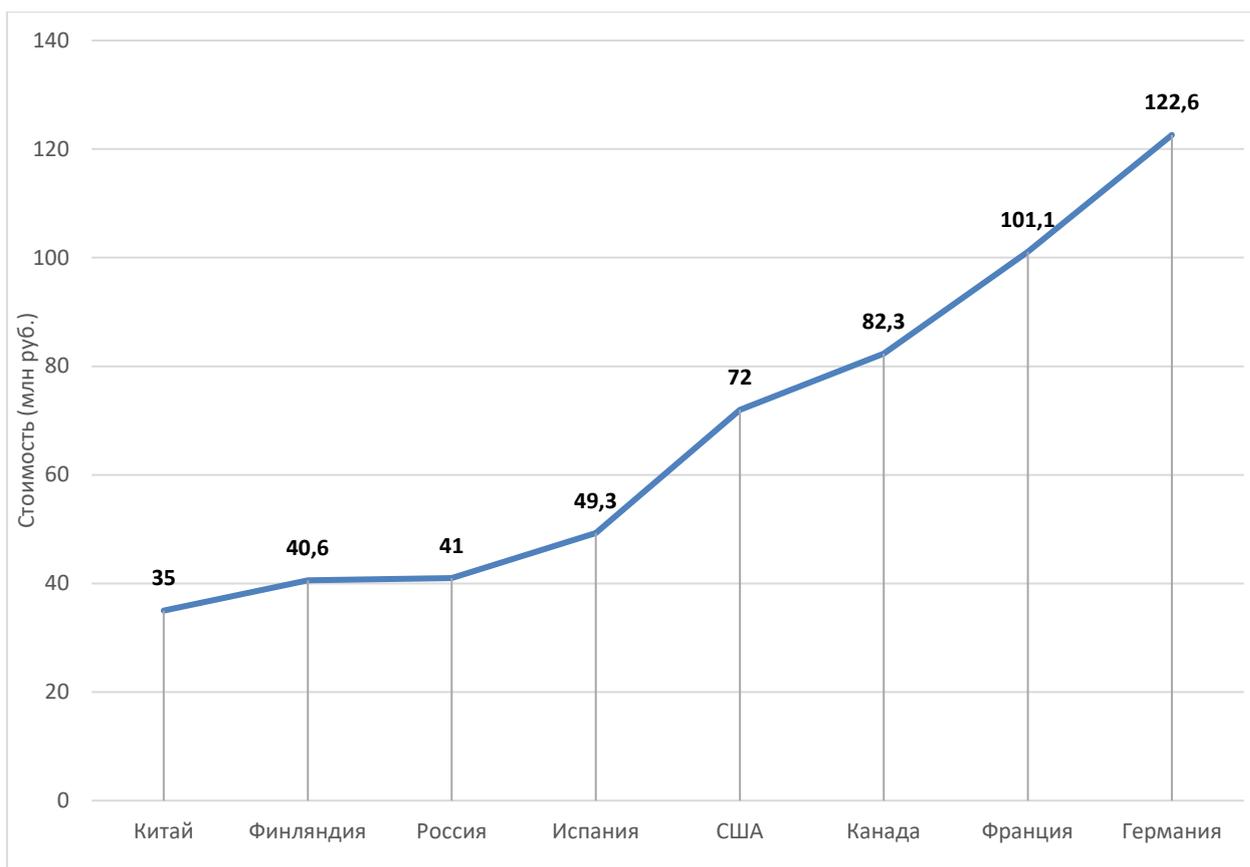
производство изделий для инженерных сооружений (специальный железобетон): пролеты мостов, опоры, сваи, водопропускные трубы, лотки, блоки и трубы для облицовки туннелей, плиты дорожной и аэродромной, тротуаров, шпалы, опоры ВЛ СВН и ЛЭП, элементы ограждающих труб, напорных и безнапорных и др. Значительная часть этих изделий изготавливается из предварительно напряженного железобетона стендовым или проточно-агрегатным способом.



**Рис 2.** Объем производства ЖБИ в России в 2010 -2019 гг. в натуральном выражении, [7].

Помимо самих дорог, мостов и инженерных сооружений развитие транспортной сети требует также возведения прочих объектов транспортной инфраструктуры – вокзалов, ТПУ, АЗС и т.д. Реализация планов по развитию транспортной инфраструктуры напрямую связано с производством бетонных и железобетонных изделий и конструкций в заводских условиях. Динамика производства ЖБИ в РФ по данным за 2010–2019 гг. в натуральном выражении представлена на рис.2. Уже несколько десятилетий железобетонные изделия классифицируются как основные материалы, используемые для строительства различных объектов. Они применяются при строительстве жилых и

промышленных зданий, мостов и дорог, при прокладке инженерных и коммуникационных сетей, в энергетической и газовой промышленности. Однако, как показано на рис.2, начиная с 2014 г. наблюдается постоянный спад сбыта данного вида продукции. Этот тренд усилился в 2020 г. в связи с кризисом, вызванным пандемией «Covid-19», что привело к снижению объема производства ЖБИ примерно на 10% к объему 2019 г. Данная тенденция объясняется тем, что с 2014 г. на фоне замедления экономического роста уменьшался и объем строительства, в том числе и в дорожной отрасли. Однако, в последние годы несмотря на отмеченный спад производства ЖБИ, по данным Росстата [8] в 2019 г. общий объем работ, выполненных по виду деятельности «Строительство» (включая капитальное, дорожное строительство и другие виды деятельности), вырос на 0,6% к уровню 2018 г. (в сопоставимых ценах). В 2020 г. объем строительных работ увеличился на 0,1% к уровню 2019 г. Таким образом, начавшийся небольшой рост общего объема работ позволяют прогнозировать окончание спада и начало роста спроса на ЖБИ в ближайшие годы. По расчетам Московского государственного автомобильно-дорожного университета (МАДИ), средняя стоимость 1 км пути (без НДС и с учетом затрат на подготовку территории) в России почти в два раза ниже, чем в сопоставимых по размеру странах – США и Канаде и почти в три раза ниже, чем в Германии (Рис.3.) [9]. Кроме того, российские дороги дороже финских и китайских дорог (см. рис.3). В мировой практике стоимость 1 км полосы движения колеблется от 1 до 10 млн дол. [10]. При этом в РФ большая часть затрат приходится на подготовку территории, транспортировку необходимых материалов, разработку и согласование проектной документации, а затраты на строительные материалы, включая ЖБИ изделия составляют лишь порядка 10%.



**Рис.3** Средняя стоимость строительства 1 км полосы автодороги в различных странах мира (в млн руб.), без НДС, [10].

Таким образом, с учётом известной доли стоимости материалов в общей стоимости строительства 1 км полосы автодороги в РФ, известной из ежегодного доклада Минтранса России [11], можно сделать качественную оценку общей потребности транспортной отрасли в сборном железобетоне. В качестве примера приведем расчет по среднегодовым данным ежегодного ввода в эксплуатацию, автомобильных дорог федерального и общего значения в России - около 200 тыс. км и проведение ремонта - около 8 тыс. км на конец года [12]. Наши расчеты показывают, что годовая потребность транспортной отрасли в сборном железобетоне в стоимостном выражении может составить величину порядка 25–30 млрд. руб. Для успешной реализации имеющихся планов развития дорожного хозяйства в последующие годы эта величина должна постоянно увеличиваться, что неразрывно связано с повышением производительности мощностей ЖБИ.

На сегодняшний день, для повышения производительности на заводах ЖБИ применяются различные технологии прогрева бетонной смеси, позволяющие ускорить кинетику гидратации цементного вяжущего раствора и за счет этого увеличить оборачиваемость опалубочных форм, а также достичь высоких темпов набора прочности производимых изделий [13]. Энергоемкость производства ЖБИ при современных технологиях составляет свыше 3500 кДж/кг веса готового продукта, что является достаточно высоким показателем [14]. Оптимизация технологического процесса изготовления бетонных и железобетонных изделий и конструкций является актуальной задачей по снижению энергоемкости и повышения энергоэффективности строительной и транспортной отраслей российской экономики. Одной из возможностей оптимизации технологического процесса, может стать реализация предложений по изменению схемы проведения технологических процессов производства ж/б изделий таким образом, чтобы при сохранении скорости твердения, а также прочностных характеристик изделий, можно было бы снизить температуру теплообработки [15]. Оценочные расчеты показывают, что использование возобновляемых энергетических ресурсов в производственном цикле ЖБИ наряду со снижением температуры теплообработки даже на 1 градус, позволяет получить снижение энергоемкости производства на величину от 2 до 5% , что могло бы создать условия для экономии энергоносителей, а также снижения сопутствующих выбросов CO<sub>2</sub> и вредных веществ в атмосферу [16], [17]. Снижение энергоемкости производства ЖБИ может быть так же достигнуто за счет внедрения энергосберегающих систем децентрализованного энергоснабжения заводских потребителей тепловой энергии [18].

## **Выводы**

Анализ текущего состояния автомобильных дорог России и других стран, а также тенденций при устройстве дорог различного назначения, позволяет сделать вывод о том, что сегодня весьма актуальным становится

вопрос повышения производительности заводов ЖБИ, за счет снижения энергоемкости производства, создания новых технологий и их широкого применения при разработке составов бетона, используемых для строительства транспортных магистралей. Успешное решение данных проблем потребует проведения дальнейших исследований в этом направлении.

Анализ экономических показателей и данных статистики позволяет сделать выводы, что при рациональном и эффективном использовании выделяемых на дорожное хозяйство денежных средств в ближайшие годы прогнозируется увеличение объемов дорожно-строительных работ и рост производства ЖБИ. Важным направлением для снижения энергоемкости строительных работ дорожно-транспортной отрасли России может стать использование синергетического эффекта от внедрения инновационных технологий производства ЖБИ и технологий информационного моделирования (BIM) при строительстве дорог и возведении сооружений транспортной инфраструктуры, а также в рамках реализации концепции управления жизненным циклом объектов капитального строительства дорожно-транспортной инфраструктуры.

**Благодарность:** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, НТУ «Сириус», ОАО «РЖД» и Образовательного Фонда «Талант и успех» в рамках научного проекта № 20-38-51013

### Литература

1. Халтурин Р.А. Дороги в системе инфраструктурного комплекса России // Экономические науки. 2010. № 1(62). С. 290–292.
2. Железнодорожная инфраструктура в России, проблемы и их решения [Электронный ресурс]. . 2017 URL: <http://trreg.ru/zheleznodorozhnaya-infrastruktura-v-rossii> (дата обращения: 22.02.2017).
3. О Стратегии развития железнодорожного транспорта до 2030 года [Электронный ресурс]. . 2008 URL: <http://government.ru/docs/19759/> (дата обращения: 18.03.2021).
4. О федеральной целевой программе «Развитие транспортной системы России (2010–2020 годы)» [Электронный ресурс]. . 2017 URL: <http://government.ru/docs/29443/> (дата обращения: 18.03.2021).
5. Costin A., Adibfar A., Hu H., Chen S.S. Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure--Literature review, applications, challenges, and recommendations // Automation in Construction. 2018. (94). С. 257–281.
6. Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года | Федеральное дорожное агентство [Электронный ресурс]. URL: <https://rosavtodor.gov.ru/docs/transportnaya->

- strategiya-rf-na-period-do-2030-goda (дата обращения: 18.03.2021).
7. Рынок ЖБИ изделий [Электронный ресурс]. URL: <https://jbisk.ru/novosti/rynok-zhbi-izdeliy/> (дата обращения: 18.03.2021).
  8. Строительство [Электронный ресурс]. . 2021URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/14458> (дата обращения: 16.05.2021).
  9. Волобуев А. Дороги обходятся России дороже, чем освоение космоса :: Экономика :: РБК [Электронный ресурс]. . 2013URL: <http://www.rbc.ru/economics/27/02/2013/570404279a7947fcbd446276> (дата обращения: 28.02.2017).
  10. Решетова Е.М. Сравнение стоимости строительства автомобильных дорог в России и в странах мира // Экономика. Налоги. Право. 2015. № 4.
  11. Доклад о стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, ремонта и содержания 1 км автомобильных дорог общего пользования Российской Федерации (2019 год) | Министерство транспорта Российской Федерации [Электронный ресурс]. . 2020URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/11/11086> (дата обращения: 16.05.2021).
  12. Финансирование отрасли дорожного строительства в России в 2017 году сохранится на уровне 2016 года - 500 млрд рублей [Электронный ресурс]. . 2016URL: <http://www.gudok.ru/news/?ID=1352775> (дата обращения: 28.02.2017).
  13. Чернильник А.А., Яновская А.В., Доценко Н.А. Некоторые аспекты повышения эффективности производства центрифугированных железобетонных изделий // Молодой исследователь Дона. 2019. № 6 (21).
  14. Кузмин М. Основные направления снижения энергоемкости производства цемента [Электронный ресурс]. . 2012URL: <https://www.rae.ru/forum2012/205/2793> (дата обращения: 28.02.2017).
  15. Жадановский Б.В., Исрафилов К.А., Ахмедов А.К. Прямые и косвенные энергозатраты при производстве бетонных и железобетонных изделий, конструкций и сооружений // Системные технологии. 2018. № 1 (26).
  16. Даужанов Н.Т., Крылов Б.А. Малоэнергоемкая технология термообработки изделий из пенобетона на полигонах с помощью солнечной энергии // Вестник МГСУ. 2014. № 3.
  17. Подгорное Н.И. Опыт использования солнечной энергии для термообработки бетона // Промышленное и гражданское строительство. 2008. № 1. С. 58–59.
  18. Беккер Л.Н., Трембицкий С.М. Методы и технические решения по снижению энергозатрат в строительной индустрии // Энергосбережение. 2000. № 4. С. 14–16.