

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-3-256-264>

УДК 338.28

К устойчивому дорожному хозяйству через производство негаресурсов

Магистр Е. М. Жуковский¹⁾, канд. техн. наук, доц. С. Е. Кравченко¹⁾,
докт. экон. наук, проф. Н. В. Шехова²⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь),

²⁾Санкт-Петербургский государственный экономический университет (Санкт-Петербург,
Российская Федерация)

© Белорусский национальный технический университет, 2023
Belarusian National Technical University, 2023

Реферат. В статье рассмотрена актуальная проблема достижения устойчивого развития через обеспечение устойчивости отдельных отраслей национальной экономики, в частности дорожного хозяйства. Раскрыто понятие «устойчивое развитие» и оценены шаги по его достижению в Республике Беларусь в настоящее время. Кроме того, предпринята попытка обосновать влияние устойчивости дорожного хозяйства как составной и связующей части субъектов экономики на устойчивое развитие стран и регионов. Рассмотрено влияние дорожного хозяйства на элементы устойчивого развития и оценены его дальнейшие перспективы. Для этого предложено рассматривать влияние дорожного строительства на различных структурных уровнях: мега-, мезо-, макро- и микроуровне, которые затрагивают все аспекты дорожного хозяйства, такие как проектирование, строительство, содержание и ремонт, производство строительных материалов и изделий. Рассмотрена возможность реализации концепции негаресурсов в дорожном хозяйстве. Под негаресурсами понимают потенциальные ресурсы, которые формируются в результате совершенствования процессов обращения с конечной продукцией за счет рационализации ее потребления, а также с исходными ресурсами за счет оптимизации отдельных стадий производственного и логистического циклов. Рынок негаресурсов может быть создан по примеру существующего рынка квот на выбросы в рамках Киотского протокола и Парижского соглашения по климату. В дорожном хозяйстве сегодня имеется множество перспективных технологий, при применении которых образуется большое количество негаресурсов. Так, учет негаресурсов в жизненном цикле транспортных сооружений, а также создание системы материального стимулирования на основе негаресурсов позволят обеспечить устойчивость дорожного строительства, а вместе с тем и устойчивое развитие страны и региона в целом.

Ключевые слова: устойчивое развитие, дорожное строительство, негаресурсы, экологическая безопасность, экономическая безопасность, экономическая эффективность, ресурсосбережение, энергосбережение, ответственное потребление

Для цитирования: Жуковский, Е. М. К устойчивому дорожному хозяйству через производство негаресурсов / Е. М. Жуковский, С. Е. Кравченко, Н. В. Шехова // *Наука и техника*. 2023. Т. 22, № 3. С. 256–264. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-3-256-264>

Toward Sustainable Road Infrastructure Through Production of Nega-Resources

Ya. M. Zhukouski¹⁾, S. E. Kravchenko¹⁾, N. V. Shehova²⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus),

²⁾Saint Petersburg state university of economics (Saint Petersburg, Russian Federation)

Abstract. The paper deals with the actual problem of achieving sustainable development, through ensuring the sustainability of certain sectors of the national economy, in particular the road sector. The concept of “sustainable development” has been revealed and the steps to achieve it in the Republic of Belarus today have been assessed. In addition, an attempt has

Адрес для переписки

Жуковский Егор Михайлович
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 65,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 237-38-81
zhukovskye@gmail.com

Address for correspondence

Zhukovski Yavor M.
Belarusian National Technical University
65, Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 237-38-81
zhukovskye@gmail.com

been made to substantiate the impact of the sustainability of the road sector, as an integral and connecting part of economic entities on the sustainable development of countries and regions. The influence of the road sector on the elements of sustainable development is considered and its further prospects are assessed. For this, it is proposed to consider the impact of road construction at various structural levels: mega-, meso-, macro- and micro-level, which affect all aspects of the road economy, such as design, construction, maintenance and repair, production of building materials and products. The possibility of implementing the concept of nega-resources in the road sector is considered. Nega-resources are understood as such potential resources that are formed as a result of improving the processes of handling the final product by rationalizing its consumption, as well as with initial resources by optimizing individual stages of the production and logistics cycles. A market for nega-resources could be created following the example of the existing market for emissions allowances under the Kyoto Protocol and the Paris Climate Agreement. The road sector today has many promising technologies, the use of which generates a larger amount of nega-resources. So taking into account nega-resources in the life cycle of transport facilities, as well as creating a system of material incentives based on nega-resources, will ensure the sustainability of road construction, and at the same time the sustainable development of the country and the region as a whole.

Keywords: sustainable development, highway engineering, nega-resources, environmental safety; economic security; economic efficiency; resource saving; energy saving; responsible consumption

For citation: Zhukouski Ya. M., Kravchenko S. E., Shehova N. V. (2023) Toward Sustainable Road Infrastructure Through Production of Nega-Resources. *Science and Technique*. 22 (3), 256–264. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-3-256-264> (in Russian)

Введение

Согласно докладу Всемирной комиссии по вопросам окружающей среды и развития, человечество должно придать развитию «устойчивый и долговременный характер, с тем чтобы оно отвечало потребностям нынешнего поколения, не лишая будущие поколения возможности удовлетворять свои потребности» [1, с. 24]. Устойчивое развитие предполагает такие экономические и социальные реформы, при которых эксплуатация природных ресурсов, направление инвестиций, научно-техническое развитие и развитие личности, а также институциональные изменения согласованы друг с другом и укрепляют потенциал для удовлетворения потребностей человека.

Изначально эти идеи вылились в Цели развития тысячелетия, принятые Генеральной ассамблеей Организации Объединенных Наций в 2000 г. [2]. Стоит отметить, что это была первая попытка интегрировать принципы устойчивого развития в социально-экономическую жизнь государств и общества. В 2015 г. подвели итоги данной программы и, согласно итоговому отчету [3], программа в целом признана успешной.

Поскольку данная программа включала в себя только элементы устойчивого развития, в дальнейшем эта идея трансформировалась в принятие Генеральной ассамблеей ООН в 2015 г. Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 г. [4]. Данная Повестка включает в себя Цели устойчивого развития (17 пунк-

тов), выполнение которых поможет внести положительный вклад в решение глобальных проблем.

Достижение данных Целей возможно только совместными усилиями мирового сообщества, и выполняются они государствами в рамках их возможностей. Республика Беларусь одна из первых приняла к реализации Цели устойчивого развития, и для координации усилий учрежден институт Национального координатора по достижению Целей устойчивого развития и создан Совет по устойчивому развитию [5].

Ключевой задачей на сегодняшний момент является создание устойчивых отраслей национальной экономики как составных частей развития государства. Одна из главных отраслей экономики – транспорт и дорожное хозяйство как ее неотъемлемая часть. Профессор В. В. Звонков в середине XX в. писал: «Транспорт – главный нерв экономической жизни страны» [6, с. 651]. И сегодня транспорт играет эту же роль, обеспечивая связи между субъектами национальной и мировой экономики и в целом влияя на экономическое развитие [7, 8]. Таким образом, импульсом для устойчивого развития как отдельных отраслей, так и государств и регионов в целом может стать дорожное хозяйство как связующее звено между субъектами экономики.

Устойчивое дорожное хозяйство сегодня

Под устойчивым можно понимать такое дорожное хозяйство, которое способствует до-

стижению устойчивого развития в экологическом, социальном и экономическом направлениях. Устойчивое дорожное хозяйство рассматривает вопросы экономической и энергетической эффективности, экологической безопасности и взаимодействия дороги и человека не как отдельные проблемы, а как комплексную.

Дорожное хозяйство сегодня затрагивает девять следующих Целей устойчивого развития. Это: 6. Чистая вода и санитария; 7. Недорогостоящая и чистая энергия; 8. Достойная работа и экономический рост; 9. Индустриализация, инновации и инфраструктура; 11. Устойчивые города и населенные пункты; 12. Ответственное потребление и производство; 13. Борьба с изменениями климата; 14. Сохранение морских экосистем; 15. Сохранение экосистем суши.

Для оценки влияния дорожного хозяйства на все сферы жизнедеятельности человека и, как итог, на устойчивое развитие рассмотрим его на мега-, мезо-, макро- и микроуровнях (рис. 1).

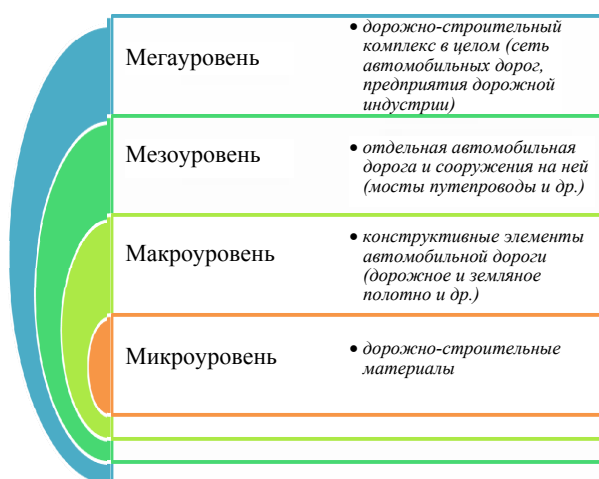


Рис. 1. Структурная схема влияния дорожно-строительного комплекса на составляющие устойчивого развития

Fig. 1. Block diagram of impact of road construction complex on components of sustainable development

Под мегауровнем понимается влияние всего дорожно-строительного комплекса на всех этапах жизненного цикла автомобильной дороги, таких как проектирование, строительство, содержание и ремонт. Сюда входит как сама автомобильная дорога и транспорт на ней, так и предприятия дорожной индустрии. Поскольку автомобильные дороги имеют значительную

протяженность, а предприятия, обслуживающие их, расположены по территории всей страны, устойчивости на мегауровне можно достичь, только обеспечив устойчивость более низких уровней.

К мезоуровню можно отнести саму автомобильную дорогу и сооружения на ней. На мезоуровне рассматривается воздействие отдельной автомобильной дороги как одного целого, без учета ее конструктивных частей.

Сегодня дороги должны быть одновременно дешевыми в строительстве и долговечными, обеспечивать требуемую безопасность движения и высокую скорость перевозки грузов, при этом оказывать минимальное техногенное воздействие на окружающую среду и негативное воздействие на здоровье и психоэмоциональное состояние людей, живущих рядом. Так, эти вопросы, например взаимодействие дороги и человека, взаимодействие дороги с окружающей средой, как правило, решаются при трассировании автомобильных дорог [9] и обычно не требуют радикальных или кардинально новых принципов проектирования, материалов и технологий.

Отдельные конструктивные элементы автомобильной дороги, например такие, как земляное и дорожное полотно, мосты и трубы, находятся на макроуровне влияния. На этом уровне могут возникать следующие проблемы: преждевременное разрушение дорожных конструкций и искусственных сооружений, повышенная шумность и эмиссия загрязняющих веществ от транспортных средств и др. Причем стоит понимать, что данные проблемы возникают не только в системе «дорога – автомобиль», разрушенное покрытие негативно влияет на транспортное средство, вызывая его поломки, что требует большого количества запасных частей и принадлежностей. Для решения данных проблем традиционалистских подходов недостаточно, здесь необходимо прибегать как к новым подходам к конструированию и проектированию, так и к новым дорожно-строительным материалам и технологиям.

К микроуровню относятся элементы, составляющие основу качества и долговечности автомобильных дорог, – дорожно-строительные материалы и технологии их производства.

К сожалению, современные требования, предъявляемые к материалам, не везде позволяют использовать их в исходном виде. Поэтому данные материалы должны быть подвергнуты технологической обработке. Сырье для производства многократно подвергается различным механическим, физическим и химическим воздействиям, которых, в конечном итоге, можно было бы избежать или значительно уменьшить их.

Сами по себе дорожно-строительные материалы при правильном их выборе и надлежащих условиях эксплуатации не могут оказывать какое-либо негативное воздействие. Наибольшую сложность оказывают существующие технологии изготовления строительных материалов. В своем большинстве эти технологии требуют колоссальных затрат материальных и энергетических ресурсов, причем зачастую используемых нерационально и неэффективно, что сказывается, в конечном итоге, не только на себестоимости строительных материалов и строительного производства в целом, но и на состоянии окружающей среды в районах расположения данных предприятий, а также на здоровье их сотрудников.

Основным сырьем для изготовления строительных материалов являются минеральные материалы, получаемые из горных пород в результате разработки их месторождений, как правило открытым способом. Это приводит к выводу из оборота сельскохозяйственных земель, существенному изменению гидрологического режима местности, загрязнению почв и грунтовых вод. При нерациональной разработке это может привести к колоссальному ущербу окружающей среде, без возможностей дальнейшего восстановления. Кроме минеральных материалов в дорожном строительстве широко применяются битумы, которые производятся из ископаемой нефти. Они оказывают негативное влияние на окружающую среду, и поэтому необходимо использовать их рационально.

В настоящий момент одной из основных задач строительства является совершенствование существующих или создание новых эффективных технологий изготовления строительных материалов. Причем эти технологии должны быть менее энергозатратными, чем имеющиеся

сегодня. Это позволит снизить затраты на изготовление строительных материалов, а также улучшить экологическую ситуацию в целом, что, в конечном итоге, сможет помочь достижению устойчивого развития как отрасли, так и страны в целом.

В Республике Беларусь постепенно уходят от строительства новых дорог. Так, первоочередными задачами на 2021–2025 гг., согласно Государственной программе «Дороги Беларуси» [10], являются: «улучшение транспортно-эксплуатационного состояния республиканских автомобильных дорог», «повышение качественных показателей республиканских автомобильных дорог», «улучшение транспортно-эксплуатационного состояния местных автомобильных дорог». Реализация данных задач происходит в основном путем реконструкции и ремонта дорог. Отдельные участки нового строительства возможны только в местах обходов населенных пунктов. Это объясняется тем, что автодорожная сеть страны полностью сформирована. Такая ситуация в целом характерна для развитых стран и стран с относительно небольшой площадью [11].

Таким образом, на сегодняшний день обеспечить устойчивость на мега- и мезоуровнях дорожного строительства практически невозможно, при этом обеспечение устойчивого развития через макро- и микроуровень не должно вызывать особых затруднений. Однако стоит понимать, что переход на принципы устойчивого развития дорожных организаций – весьма сложный и длительный процесс. С одной стороны, его можно объяснить инертностью и традиционализмом данной отрасли, а с другой – отсутствием стимулирования перехода на данные принципы.

Для стимулирования дорожного хозяйства, в целях обеспечения его устойчивости, может использоваться концепция негаресурсов.

Общие понятия о концепции и рынке негаресурсов

Концепция негаресурсов предложена Н. В. Овчинниковой как «один из инструментов интернационализации внешних эффектов в природопользовании» [12].

Негаресурсы – это «такие потенциальные ресурсы, которые формируются в результате

совершенствования процессов обращения с конечной продукцией за счет рационализации ее потребления, а также с исходными ресурсами за счет оптимизации отдельных стадий производственного и логистического циклов» [12]. Как правило, они формируются в сфере обращения и связаны с улучшением процессов обращения с конечной продукцией, вызванных рационализацией потребления. Кроме того, они могут образовываться на стадиях оптимизации производственных и логистических циклов. Формирование негаресурсов связано с совершенствованием общественных институтов (организации экономической деятельности) и носит организационный (институциональный) характер. При применении традиционных технологических решений у конечных потребителей возникают дополнительные расходы, что является существенным недостатком и ограничением.

Процесс формирования негаресурсов может быть описан примером: «Для сокращения выбросов углекислого газа в атмосферу при производстве электроэнергии возможно прибегнуть к традиционному технологическому подходу – установить фильтрующие элементы или перейти на альтернативные источники энергии. Организационным подходом будет являться сбережение электроэнергии за счет изменения условий ее использования, например изменения технологий и режима производственных процессов, тепловая модернизация зданий. При этом сэкономленная энергия образует негаватт-часы, то есть потенциальные ватт-часы, которые могли бы быть произведены. Таким образом сэкономленная энергия и является негаресурсом» [14].

Негаресурсы потенциально являются отдельным товаром, равноценным исходным ресурсам, что создает экономические выгоды участникам. Они также могут быть элементом материального стимулирования для снижения экологического воздействия на окружающую среду, что реализуется системой поощрений и штрафов, например оплата за произведенные негакилометры поездок, негалитры топлива и т.д. или штрафы за использование ресурсов сверх норм. Сегодня основная задача заключается в разработке и внедрении методов материального стимулирования на основе нега-

ресурсов в отраслях экономики. Так, рыночные элементы решения экологических проблем могут быть более эффективными, чем командно-контрольные, то есть установление норм и требований для каждого производственного объекта [15, 16].

Прообраз создания рынка негаресурсов в настоящее время существует в таких странах, как США, Германия, Япония и другие, однако на постсоветском пространстве он не получил должного развития [17]. Например, в качестве прообраза рынка негаресурсов можно рассматривать рынок эмиссионных квот. Он появился в результате подписания Рамочной конвенции ООН об изменении климата [18] в 1992 г., основной целью которой являлась защита климатической системы путем стабилизации концентрации парниковых газов.

Одним из инструментов реализации положений Рамочной конвенции [18] являлось принятие в 1998 г. Киотского протокола [19], где были установлены квоты на выброс диоксида углерода странами-участниками соглашения. Одна из возможностей данного Протокола – торговля квотами на выбросы между странами-участниками: если одна страна не укладывается в установленные квоты, то она может приобрести права на дополнительные выбросы у других стран, если их эмиссия загрязняющих веществ меньше установленных квот. Как правило, квоты реализовывались из развитых стран в развивающиеся. В Парижском соглашении [20], принятом в 2015 г. взамен Киотского протокола [19], система торговли выбросами сохранена. В будущем рекомендуется постепенный отказ от этого, поскольку Парижское соглашение подразумевает, что все страны должны иметь цели в области смягчения последствий изменения климата, в отличие от Киотского протокола, где страны были разделены на имеющие экологические обязательства (развитые) и без экологических обязательств (развивающиеся) [21].

Однако рынок эмиссионных квот создает ряд проблем, поскольку основным здесь является не потенциально сэкономленный ресурс, а загрязняющие вещества. Так, возможность купли-продажи квот на выбросы парниковых газов вызывает снижение их эмиссии в одних регионах и рост в других, что не приводит к решению экологических проблем. Отдельным

участникам рынка выгодно проводить модернизацию производства с целью высвобождения квот для их последующей продажи, а другим – выгодно сохранить status quo и продолжать производственную деятельность, опасную для окружающей среды.

Таким образом, хотя рынок эмиссионных квот довольно спорный, его механизм взаимодействия между участниками может использоваться при создании рынка негаресурсов, которые являются важным элементом устойчивого развития и могут стать основой устойчивости дорожного хозяйства.

Возможности производства и использования негаресурсов в дорожном строительстве

Сегодня в дорожном хозяйстве существует реальная возможность реализации концепции негаресурсов, так как имеются технологии, внедрение которых позволит производить последние в значительных объемах. Причем образуются негаресурсы как материальные, так и энергетические.

В качестве примера рассмотрим различные технологии и методы, когда при их применении происходит образование негаресурсов, известные сегодня, но широко не используемые.

Теплые асфальтобетонные смеси готовятся с использованием менее вязкого битума. Температура укладки таких смесей составляет 80 °С, что значительно меньше, чем при укладке традиционных горячих смесей [22]. Поэтому для их приготовления требуется затратить меньшее количество энергии. Таким образом, можно говорить о производстве энергетических негаресурсов. Кроме того, необходимо учитывать, что смеси подвергаются минимальной тепловой обработке. Поэтому снижается скорость процессов старения битума, что существенно влияет на долговечность дорожных покрытий. Это позволяет говорить о том, что происходит формирование материальных и трудовых негаресурсов (негатонны ремонтных материалов, негамашинно- и негачеловеко-часы).

Вспенивающий эффект битума. Для качественного асфальтобетона необходимо, чтобы битум полностью покрывал зерна минерально-

го материала, и поэтому битум нагревают для снижения его вязкости. Один из возможных способов снижения вязкости битума и повышения его активности – его вспенивание [23], которое может осуществляться непосредственно в смесителе (организационное решение) [24, 25]. Основным материальным негаресурсом являются негатонны битума, поскольку вспенивание битума позволяет сократить его расход без нанесения ущерба качеству асфальтобетонных смесей. Также снижение температуры нагрева битума позволяет сокращать расход энергоресурсов на подготовку материалов, тем самым создавая энергетические негаресурсы. Кроме того, это также позволяет создавать негаресурсы на стадии эксплуатации и ремонта дорог.

Разнопрочные дорожные одежды отличаются от традиционных тем, что их прочностные характеристики распределены неравномерно по ширине проезжей части, что позволяет учитывать реальное разрушающее воздействие от комплекса факторов [26, 27]. Распределение прочностных параметров, в первую очередь, вызывается перераспределением материалов в поперечном профиле автомобильной дороги [28, 29] и не требует принципиально иного подхода к процессу организации строительных работ, необходимо только их совершенствование. Устройство разнопрочных дорожных одежд позволяет увеличить их срок службы, что приводит к снижению объемов текущего ремонта. Это создает негаресурсы на стадии ремонта и эксплуатации дорог.

Виды негаресурсов, образующихся на этапах жизненного цикла автомобильной дороги, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Виды негаресурсов, образующихся в дорожном хозяйстве

Types of nega-resources generated in road sector

Этап жизненного цикла	Производство исходного сырья	Производство строительных материалов	Строительство и эксплуатация
Негаресурсы	Материальные, трудовые	Материальные, энергетические	Материальные, трудовые

Процесс образования негаресурсов в дорожном хозяйстве связан, в первую очередь, со стадией производства дорожно-строительных материалов, то есть происходит на микро-

уровне влияния. Однако это оказывает существенное влияние на все этапы жизненного цикла автомобильной дороги или иного транспортного сооружения: совершенствование этапа производства строительных материалов приводит к улучшению качества конечной продукции, тем самым снижая потребность в новых строительных материалах (образуются материальные негаресурсы). Снижение потребности в строительных материалах вызывает снижение потребности в исходном сырье для их производства, т. е. производство материальных негаресурсов тем самым снижает воздействие на окружающую среду.

Основным способом реализации концепции негаресурсов может стать система материальных поощрений и штрафов. Предлагается при создании дорожными организациями негаресурсов оплачивать им не только фактические затраты ресурсов, но также и произведенные негаресурсы.

Что касается негаресурсов, образующихся в отдаленной перспективе, например при производстве ремонтных работ, предлагается следующая система стимулирования: на основании данных о текущем состоянии дорог, объемах и стоимости ремонтов установить норму денежных средств, которые могут быть затрачены на проведение ремонтов в течение срока службы. Если в результате применения тех или иных решений объем затрат на производство ремонтных мероприятий оказывается меньше установленной нормы, то есть имеется факт производства негаресурсов, то данная разница выплачивается организации. Если имеется превышение объемов данных средств, то таких выплат не происходит. Наоборот, на организацию накладывается штраф в размере части суммы потенциально произведенных негаресурсов.

Метод поощрений и штрафов позволит не только повысить качество производства работ по строительству дорог (организациям будет выгодно проводить работы качественно и получать дополнительный доход с этого вместо оплаты штрафов), но и перенаправить полученные средства на совершенствование производства, поощрение сотрудников и другие цели, связанные с деятельностью предприятия. Все это позволит перейти к устойчивому дорожному хозяйству и помочь в достижении устойчивого развития.

ВЫВОДЫ

1. Эффективным способом достижения устойчивого развития может стать применение концепции негаресурсов, то есть потенциальных ресурсов, образующихся при оптимизации экономической деятельности.

2. В настоящий момент в дорожной отрасли существует вопрос практической реализации концепции негаресурсов. Одно из возможных решений – их систематизация и последующий учет в сметно-финансовых расчетах проектов строительства, реконструкции, ремонта и содержания дорожных сооружений, а также создание и использование системы материального стимулирования (системы поощрений – штрафов).

ЛИТЕРАТУРА

1. Развитие и международное экономическое сотрудничество: проблемы окружающей среды [Электронный ресурс]: доклад Всемирной комиссии по вопросам окружающей среды и развития от 4 августа 1987 г., A/42/427 / Организация Объединенных Наций. Генеральная ассамблея. 1987. Режим доступа: <https://undocs.org/ru/a/42/427> (дата доступа: 23.10.2019).
2. Декларация тысячелетия Организации Объединенных Наций [Электронный ресурс]: резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 8 сентября 2000 г., A/RES/55/2 / Организация Объединенных Наций. Генеральная ассамблея. Режим доступа: <https://undocs.org/ru/a/res/55/2> (дата доступа: 04.08.2022).
3. Цели развития тысячелетия: доклад за 2015 год. Нью-Йорк: ООН, 2015. 72 с.
4. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года [Электронный ресурс]: резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 25 сентября 2015 г., A/RES/70/1 / Организация Объединенных Наций. Генеральная ассамблея. Режим доступа: <https://undocs.org/ru/a/res/70/1> (дата доступа: 23.10.2019).
5. О Национальном координаторе по достижению Целей устойчивого развития [Электронный ресурс]: Указ Президента Республики Беларусь, 25 мая 2017 г., № 181 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. Минск, 2022.
6. Иосифу Виссарионовичу Сталину Академия наук СССР: [в ознаменование семидесятилетия Иосифа Виссарионовича Сталина] / [ред. коллегия: акад. С. И. Вавилов (гл. ред.) и др.]. М.: Изд-во АН СССР, 1949. 773 с.
7. Финансовая диета: реформы государственных финансов Беларуси / К. В. Рудый [и др.]; под науч. ред. К. В. Рудого. Минск: Звезда, 2016. 464 с.
8. Лазарев, Ю. Г. Транспортная инфраструктура (автомобильные дороги) / Ю. Г. Лазарев. Германия: LAP LAMBERT, 2015. 173 с.
9. Бабков, В. Ф. Ландшафтное проектирование автомобильных дорог: учеб. пособие для студ. автомобильно-

- дорожных специальностей высших учебных заведений / В. Ф. Бабков. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Транспорт, 1980. 187 с.
10. О Государственной программе «Дороги Беларуси» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: Постановление Совета Министров Республики Беларусь, 9 апреля 2021, № 212 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. Минск, 2022.
 11. Лапин, Р. П. Оценка густоты дорожной сети / Р. П. Лапин // Молодой ученый. 2016. № 12 (116). С. 311–314.
 12. Овчинникова, Н. В. Экономические основы интернализации внешних эффектов в природопользовании: автореф. дисс. ... д-ра экон. наук. СПб.: Санкт-Петербургский гос. экон. ун-т, 2007. 32 с.
 13. Yujie Lu, Effectiveness and Equity Implications of Carbon Policies in the United States Construction Industry / Yujie Lu, Xinyuan Zhu, Qingbin Cui // Building and Environment. 2012. Vol. 49. P. 259–269. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.10.002>.
 14. Шехова, Н. В. Оптимизация строительства энергетических объектов посредством производства негаресурсов [Электронный ресурс] / Н. В. Шехова // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Социально-гуманитарные и экономические науки: сб. статей / Самарский государственный технический университет. Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2017. С. 202–205. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29918425&pff=1>.
 15. Stavins, R. N. What Can We Learn from the Grand Policy Experiment? Lessons from SO₂ Allowance Trading / R. N. Stavins // Journal of Economic Perspectives. 1998. Vol. 12, Iss. 3. P. 69–88. <https://doi.org/10.1257/jep.12.3.69>.
 16. Kraft, M. E. Blue Skies, Green Politics: The Clean Air Act of 1990. Gary C. Bryner / M. E. Kraft // The Journal of Politics. 1994. Vol. 56, Iss. 3. P. 826–828. <https://doi.org/10.2307/2132198>.
 17. Щеголева, Е. П. Негаресурсы как основа устойчивого развития [Электронный ресурс] / Е. П. Щеголева // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 71-й Всероссийской науч.-техн. конф. по итогам НИР 2013 года, Самара, 7–11 апреля 2014 года / под ред. М. И. Бальзанникова, Н. Г. Чумаченко. Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2014. С. 243–247. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22279991>.
 18. Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата [Электронный ресурс] / Организация Объединенных Наций. 1992. Режим доступа: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convru.pdf> (дата доступа: 11.08.2022).
 19. Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата [Электронный ресурс] / Организация Объединенных Наций. 1998. Режим доступа: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kprus.pdf> (дата доступа: 11.08.2022).
 20. Парижское соглашение [Электронный ресурс] / Организация Объединенных Наций. 2015. Режим доступа: https://unfccc.int/sites/default/files/russian_paris_agreement.pdf (дата доступа: 11.08.2022).
 21. Good-bye Kyoto: Transitioning Away from Offsetting After 2020 [Electronic Resource]: Carbon Market Watch Policy Brief April 2017. Mode of access: https://carbonmarketwatch.org/wp-content/uploads/2017/04/Good-bye-Kyoto_Transitioning-away-from-offsetting-after-2020_WEB_1final.pdf (Date of access: 11.08.2022).
 22. Ковалев, Я. Н. Дорожно-строительные материалы и изделия: учеб.-метод. пособие для студ. специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» / Я. Н. Ковалев, С. Е. Кравченко, В. К. Шумчик. Минск: Новое знание; М.: Инфра-М, 2018. 628 с.
 23. Першин, М. Н. Вспененные битумы в дорожном строительстве / М. Н. Першин, Е. Н. Баринов, Г. В. Корневский. М.: Транспорт, 1989. 80 с.
 24. Жуковский, Е. М. Технологическая реализация применения вспенивающего эффекта битума при производстве асфальтобетонной смеси / Е. М. Жуковский, Д. Г. Игошкин, С. Е. Кравченко // Автомобильные дороги и мосты. 2019. № 1. С. 19–24.
 25. Chomicz-Kowalska, A. Study of the Simultaneous Utilization of Mechanical Water Foaming and Zeolites and Their Effects on the Properties of Warm Mix Asphalt Concrete / A. Chomicz-Kowalska, K. Maciejewski, M. M. Iwański // Materials. 2020. Vol. 13, No 2. P. 357. <https://doi.org/10.3390/ma13020357>.
 26. Факторы, определяющие характер напряженно-деформированного состояния дорожной конструкции на различных полосах движения транспорта / Е. М. Жуковский [и др.] // Автомобильные дороги и мосты. 2021. № 2 (28). С. 14–23.
 27. Влияние укрепленных элементов обочин на изменение дефектности по ширине дорожных покрытий / Е. М. Жуковский [и др.] // Автомобильные дороги и мосты. 2022. № 1 (29). С. 19–27.
 28. Жуковский, Е. М. Особенности воздействия транспорта на конструкции нежестких дорожных одежд и их учет при проектировании конструкций / Е. М. Жуковский, А. В. Корончик, С. Е. Кравченко // Каспий и глобальные вызовы: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., Астрахань, 23–24 мая 2022 года / сост.: О. В. Новиченко [и др.]. Астрахань: Астраханский государственный университет, 2022. С. 888–893.
 29. Тришин, Г. Г. Прочность многополосных дорог / Г. Г. Тришин, Р. З. Порицкий, В. П. Корюков // Автомобильные дороги. 1978. № 9. С. 22–23.

Поступила 06.10.2022

Подписана в печать 27.02.2023

Опубликована онлайн 31.05.2023

REFERENCES

1. United Nations. General Assembly (1987) *Development and International Economic Cooperation: Environmental Issues: Report of the World Commission on Environment and Development Dated August 4, 1987, A/42/427*. Available at: <https://undocs.org/ru/a/42/427> (accessed 23 October 2019) (in Russian).
2. United Nations. General Assembly (2000) *United Nations Millennium Declaration: Resolution Adopted by the General Assembly on September 8, 2000, A/RES/55/2*. Available at: <https://undocs.org/ru/a/res/55/2> (accessed 04 August 2022) (in Russian).
3. United Nations (2015) *Millennium Development Goals: Report for 2015*. New York, United Nations. 72.
4. United Nations. General Assembly (2015) *Transformation of our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development: Resolution adopted by the General Assembly on*

- September 25, 2015, A/RES/70/1. Available at: <https://undocs.org/ru/a/res/70/1> (accessed 23 October 2019) (in Russian).
5. About the National Coordinator for the Achievement of the Sustainable Development Goals: Decree of the President of the Republic of Belarus, May 25, 2017. No 181. National Center of Legal Information of the Republic of Belarus. *Information Search System "ETALON". Legislation of the Republic of Belarus*. Minsk, 2022 (in Russian).
 6. Vavilov S. I. (ed.) (1949) *USSR Academy of Sciences to Joseph Vissarionovich Stalin: [in Commemoration of the 70th Birthday of Joseph Vissarionovich Stalin]*. Moscow, Publishing House of USSR Academy of Sciences. 773 (in Russian).
 7. Rudyi K. V., Shuleiko O. L., Prokhorik M. V., Sorokina T. V., Sakovich V. V., Osmolovskaya L. N., [et al.] (2016) *Financial Diet: Public Finance Reforms in Belarus*. Minsk, Zvyazda Publ, 464 (in Russian).
 8. Lazarev Yu. G. (2015) *Transport Infrastructure (Car Roads)*. Germany, LAP LAMBERT. 173 (in Russian).
 9. Babkov V. F. (1980) *Landscaping of Highways*. 2nd ed. Moscow, Transport Publ, 187 (in Russian).
 10. About the State Program "Roads of Belarus" for 2021–2025: Decree of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, April 9, 2021, No 212. National Center of Legal Information of the Republic of Belarus. *Information Search System "ETALON". Legislation of the Republic of Belarus*. Minsk, 2022 (in Russian).
 11. Lapin R. P. (2016) Assessment of Road Network Density in Belarus. *Molodoy Uchyony* [Young Scientist], (12), 311–314 (in Russian).
 12. Ovchinnikova N. V. (2007) *Economic Bases of Internalization of External Effects in Nature Management*. Saint-Petersburg, Saint Petersburg State University of Economics, 32 (in Russian).
 13. Yujie Lu, Xinyuan Zhu, Qingbin Cui (2012) Effectiveness and Equity Implications of Carbon Policies in the United States Construction Industry. *Building and Environment*, 2012, 49, 259–269. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.10.002>.
 14. Shekhova N. V. (2017) Optimization of the Construction of Energy Facilities Through the Production of Nega-Resources. *Traditsii i Innovatsii v Stroitel'stve i Arkhitekture. Sotsial'no-Gumanitarnye i Ekonomicheskie Nauki: Sbornik Statei* [Traditions and Innovations in Construction and Architecture. Social-Humanitarian and Economic Sciences: Collected Papers]. Samara, Samara State University of Architecture and Civil Engineering, 202–205. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29918425&pff=1> (in Russian).
 15. Stavins R. N. (1998) What Can We Learn from the Grand Policy Experiment? Lessons from SO₂ Allowance Trading. *Journal of Economic Perspectives*, 12 (3), 69–88. <https://doi.org/10.1257/jep.12.3.69>.
 16. Kraft M. E. (1994) Blue Skies, Green Politics: The Clean Air Act of 1990. Gary C. Bryner. *The Journal of Politics*, 56 (3), 826–828. <https://doi.org/10.2307/2132198>.
 17. Shchegoleva E. P. (2014) Nega-Resources as a Basis for Sustainable Development. Balzannikov M. I., Chumachenko N. G. *Traditsii i Innovatsii v Stroitel'stve i Arkhitekture: Materialy 71-i Vserossiiskoi Nauch.-Tekhn. Konf. po Itogam NIR 2013 goda, Samara, 07–11 Aprelya 2014 goda* [Traditions and Innovations in Construction and Architecture: Proceedings of the 71st All-Russian Scientific and Technical Conference on the Results of Research in 2013, Samara, April 07–11, 2014]. Samara, Samara State University of Architecture and Civil Engineering, 243–247. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22279991> (in Russian).
 18. United Nations (1992) *United Nations Framework Convention on Climate Change*. Available at: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convru.pdf> (accessed 11 August 2022) (in Russian).
 19. United Nations (1998) *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Available at: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kprus.pdf> (accessed 11 August 2022) (in Russian).
 20. United Nations (2015) *Paris Agreement*. Available at: https://unfccc.int/sites/default/files/russian_paris_agreement.pdf (accessed 11 August 2022) (in Russian).
 21. *Good-bye Kyoto: Transitioning Away from Offsetting After 2020: Carbon Market Watch Policy Brief April 2017*. Available at: https://carbonmarketwatch.org/wp-content/uploads/2017/04/Good-bye-Kyoto_Transitioning-away-from-offsetting-after-2020_WEB_1final.pdf (accessed 11 August 2022) (in Russian).
 22. Kovalev Ya. N., Kravchenko S. E., Shumchik V. K. (2018) *Road Building Materials and Products*. Minsk, Novoye Znanie Publ.; Moscow, Infra-M Publ, 628 (in Russian).
 23. Pershin M. N., Barinov E. N., Korenevsky G. V. (1989) *Foamed Bitumen in Road Construction*. Moscow, Transport Publ. 80 (in Russian).
 24. Zhukovsky E. M., Igoshkin D. G., Kravchenko S. E. (2019) Technological Implementation use of the Foaming Effect of Bitumen in the Production of Asphalt Concrete Mix. *Avtomobilnye Dorogi i Mosty* [Highways and Bridges], (1), 19–24 (in Russian).
 25. Chomicz-Kowalska A., Maciejewski K., Iwański M. M. (2020) Study of the Simultaneous Utilization of Mechanical Water Foaming and Zeolites and Their Effects on the Properties of Warm Mix Asphalt Concrete. *Materials*, 13 (2), 357. <https://doi.org/10.3390/ma13020357>.
 26. Zhukovsky E. M., Ladyshev A. V., Koronchik A. V., Kravchenko S. E. (2021) Factors that Determine the Nature of the Stress-Strain State of the Road Structure in Different Traffic Lanes. *Avtomobilnye Dorogi i Mosty* [Highways and Bridges], (2), 14–23 (in Russian).
 27. Zhukovsky E. M., Ladyshev A. V., Koronchik A. V., Kravchenko S. E. (2022) The Influence of Reinforced Roadside Elements on the Change in Defectiveness Along the Width of Road Surfaces. *Avtomobilnye Dorogi i Mosty* [Highways and Bridges], (1), 19–27 (in Russian).
 28. Zhukovsky E. M., Koronchik A. V., Kravchenko S. E. (2022) Features of the Impact of Transport on the Structures of Non-Rigid Pavement and their Consideration in the Design of Structures. *Kaspii i Global'nye Vyzovy: Materialy Mezhdunar. Nauch.-Prakt. Konf., Astrakhan', 23–24 Maya 2022 goda* [The Caspian and Global Challenges: Proceedings of International Scientific and Practical Conference, Astrakhan, May 23–24, 2022]. Astrakhan, Astrakhan State University, 888–893 (in Russian).
 29. Trishin G. G., Poritsky R. Z., Koryukov V. P. (1978) Strength of Multi-Lane Roads. *Avtomobilnye Dorogi i Mosty* [Highways and Bridges], (9), 22–23 (in Russian).

Received: 06.10.2022

Accepted: 27.02.2023

Published online: 31.05.2023