

УДК 656.062:625.7/.8

DOI: <https://doi.org/10.18664/338.47:338.45.v0i62.133635>

ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

*Царенкова И.М., к.э.н., доцент,
Кравченя И.Н., к.т.н., доцент (БелГУТ)*

Применение цементобетонных смесей при строительстве автомобильных дорог требует создания условий для эффективного функционирования их цепей поставок на дорожные объекты, обеспечивающих не только высокое качество данного материала, но и требуемый уровень качества готовой дорожной конструкции. В статье особое внимание уделяется применению логистического подхода к традиционным формам организации материально-технического обеспечения дорожно-строительных работ.

Ключевые слова: дорожное строительство, имитационное моделирование, логистика, материальный поток, цепи поставок

ОПТИМІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ ЦЕМЕНТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ

*Царенкова І.М., к.е.н., доцент,
Кравченя І.Н., к.т.н., доцент (БелГУТ)*

Застосування цементобетонних сумішей при будівництві конструкцій дорожніх одягів автомобільних доріг забезпечує їх експлуатаційну надійність і довговічність.

© Царенкова И.М.,
Кравченя И.Н.

Вісник економіки транспорту і промисловості № 62, 2018

Виконаний аналіз показує зростання обсягів робіт з застосуванням цементобетонних сумішей на об'єктах дорожньої мережі країни. Теоретично і експериментально встановлено, що якість улованих шарів цементобетонних залежить як від дотримання технології виробництва робіт, так і від якості цементобетонної суміші надходить на об'єкт. Потрібне формування та будівля умов для ефективного функціонування ланцюгів поставок цементобетонної суміші на об'єкти виробництва робіт, забезпечують не тільки високу якість даного матеріалу, але і необхідний рівень якості готової дорожньої конструкції. У зв'язку з цим особливу увагу в статті приділено застосування логістичного підходу до традиційних форм організації матеріально-технічного забезпечення дорожньо-будівельних робіт. Розвиток і застосування інформаційних технологій дозволяє ефективно впливати на процеси організаційного та технологічного забезпечення робіт. Метою статті є розробка методичних пропозицій щодо оптимізації логістичних транспортних процесів в ланці «цементобетонний завод – транспортні засоби – бетоноукладач». Для досягнення поставленою мети систематизовано організаційні та технологічні особливості формування матеріального потоку цементобетонної суміші, встановлено межі логістичного циклу її постачання, ідентифіковані причини виникнення ризиків у вузлових ланках логістичного циклу. Як засіб оптимізації транспортно-логістичного процесу використовується система автоматизації імітаційного моделювання GPSS World 2.0. Сутність процесу оптимізації полягає в транспортуванні цементобетонної суміші на об'єкт виробництва робіт оптимальною кількістю транспортних засобів.

Ключові слова: дорожнє будівництво, імітаційне моделювання, логістика, матеріальний потік, ланцюги поставок

OPTIMIZATION OF LOGISTIC PROCESSES IN THE TRANSPORTATION OF CEMENT-CONCRETE MIXTURES

**Tsarenkova I.M., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
Kravchenya I.N., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (BelSUT)**

The use of cement concrete mixtures in the construction of road pavement structures of roads provides their operational reliability and durability. The performed analysis shows the growth of the volume of work with the use of cement concrete mixtures on the objects of the road network of the country. Theoretically and experimentally it was found that the quality of the suspended cement concrete layers depends both on the compliance with the technology of work, and on the quality of the cement concrete mixture entering the facility. The formation and co-building of conditions for the effective functioning of the supply chains of cement concrete mix to the production facilities are required, providing not only high quality of the material, but also the required level of quality of the finished road structure. In this regard, special attention is paid to the application of the logistics approach to the traditional forms of organization of material and technical support of road construction works. The development and application of information technologies also allows to effectively influence the processes of organizational and technological support of the work. The purpose of the article is to develop methodological proposals for the optimization of logistics transport processes in the link "cement concrete plant – concrete paver vehicles". To achieve this goal, the organizational and technological features of the formation of the material flow of the cement concrete mix are systematized, the boundaries of the logistics cycle of its delivery are established, the causes of risks in the key links of the logistics cycle are identified. The system of automation of simulation modeling

GPSS World 2.0 is used as a means of optimization of transport and logistics process. The essence of the process of optimization is the transportation of cement concrete mixture to the object of work with the optimal number of vehicles.

Key words: *road construction, simulation modeling, logistics, material flow, supply chains*

Постановка проблеми. Автомобильные дороги являются важнейшим элементом логистической инфраструктуры Республики Беларусь, предопределяя ее совершенствование своим техническим уровнем развития и транспортно-эксплуатационным состоянием.

В соответствии с Европейскими стандартами, магистральные дороги должны обеспечивать пропуск транспортных средств с нагрузкой 11,5 тонн на одиночную ось. В перспективе нагрузки на ось должны возрасти до 13 тонн и выше. Основная часть республиканских дорог (76,9 %) способна пропускать нагрузку в 10 тонн на одиночную ось и только около 11 % – 11,5 тонн и ещё примерно столько же могут выдерживать менее 10 тонн на ось [1], в то время как современные большегрузные автомобили имеют нагрузку 11,5 т на одиночную ось и выше.

Из-за указанных несоответствий, с целью сохранения дорожных покрытий от преждевременного разрушения, дорожные службы вынуждены вводить весенние и летние ограничения движения для большегрузных транспортных средств, что отрицательно сказывается на величине транспортно-логистических издержек организаций-перевозчиков и грузовладельцев. Цементобетонные дороги снимают необходимость введения таких сезонных ограничений.

Как свидетельствует мировой опыт и проведенные исследования в нашей стране, цементобетонные покрытия по сравнению с асфальтобетонными являются наиболее долговечными. При фактическом сроке службы цементобетонных покрытий в США, в среднем, 26 лет, асфальтобетонных – 16

лет, в Германии, соответственно, 26 лет и 18 лет ставится реально выполнимая задача обеспечить срок службы цементобетонных покрытий 50 лет и более. В России и Беларуси проектируемый срок службы цементобетонных покрытий составляет 20–25 лет, асфальтобетонных 16–20 лет [2].

В настоящее время протяженность дорог с покрытием из цементобетона составляет около 1236,4 км (1,43 % от протяженности всей сети автомобильных дорог общего пользования республики) и должна увеличиться к концу 2019 года на 108,1 км, согласно данным Программы эффективного использования мощностей организаций цементной промышленности на 2015–2020 годы, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 27.01.2015 № 51. Динамика протяженности автомобильных дорог с цементобетонным покрытием представлена на рисунке 1.

Согласно Государственной программы по развитию и содержанию автомобильных дорог в Республике Беларусь на 2017-2020 годы при разработке конструкций дорожной одежды требуется вариантная проработка проектных решений в направлении использования асфальто- или цементобетонных смесей [3]. Завершено строительство МКАД с жесткой конструкцией дорожной одежды. Стратегически важный для нашей страны, пилотный проект государственно-частного партнерства по реконструкции участка автомобильной дороги М-10 также предусматривает применение в покрытии дорожной одежды из цементобетонных смесей [4].

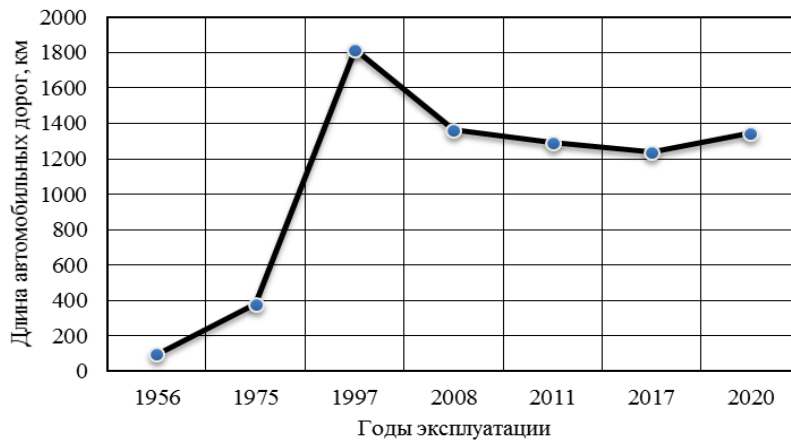


Рис. 1. Изменение протяженности автомобильных дорог с цементобетонным покрытием

Для производства цементобетонной смеси используются цемент, щебень, песок, вода и различные виды добавок, обеспечивающие получение материала требуемой марки по прочности и долговечности. Строительная отрасль страны готова обеспечить необходимое количество бетона, поскольку за последние годы в Беларуси завершилась модернизация цементных заводов. Современные технологические линии по производству цемента сухим способом мощностью 1,8 млн т каждая запущены в открытых акционерных обществах «Кричевцементношифер», «Белорусский цементный завод», «Красносельскстройматериалы».

Остальные исходные компоненты также производятся на территории Республики Беларусь, что позволяет сформировать эффективные цепи их поставок и применить логистические принципы для оптимизации их работы.

Анализ последних исследований и публикаций. Совершенствованию организации производства дорожно-строительных работ уделяют внимание многие ученые: Афанасьев В.А., Дингес Э.В., Кривко Е.В., Могилевич В.М., Подольский В.П., Силкин В.В. и др. [5, 6]. Развитию теории логистики посвящены работы Семененко А.И., Сергеева В.И., М. Довба и др. [7, 8]. При этом вопросы

транспортной логистики наибольшее развитие получили в трудах Елового И.А., Ивутя Р.Б., Полещук И.И., Пелиха С.А. и др. [9, 10].

Нерешенные составляющие общей проблемы. Все более актуальными становятся вопросы снижения несогласованности между участниками строительства дорог по оптимальному использованию имеющихся ресурсов. На практике все чаще возникает потребность в логистической поддержке решения таких проблем.

Целью статьи является разработка методических предложений по оптимизации логистических транспортных процессов в звене «цементобетонный завод – транспортные средства – бетоноукладчик».

Изложение основного материала исследования. Логистическая цепь поставок формируется из упорядоченного множества поставщиков, перевозчиков и потребителей, осуществляющих логистические операции по доведению внешнего материального потока от одной логистической системы до другой. Каждый поставщик является потребителем для предыдущего сочетания звеньев логистической системы, и наоборот, продвигаясь вниз по потоку, одна и та же организация выступает в роли и потребителя и поставщика до тех пор, пока

поток не достигнет потребителя конечного уровня. В связи с этим, цепь поставок цементобетонной смеси на объект дорожного строительства охватывает все организации и виды деятельности, связанные с перемещением и переработкой составляющих ее компонентов, начиная со стадии сырья и заканчивая укладкой ее в конструкцию дорожной одежды. При этом материальный поток непрерывно взаимодействует с сопровождающими его информационным, транспортным и, внутри логистической системы, дорожно-строительным потоками [11].

Логистические принципы диктуют необходимость интеграции и взаимного сотрудничества, с целью создания эффективных цепей поставок цементобетонной смеси, которые обеспечат экономическое преимущество для каждого из участников при максимальной экономии ресурсов.

Структурные схемы цепи поставок могут быть разнообразны в зависимости от включенных в них видов транспорта, сортировочных станций, количества посредников, складских комплексов и т.д. В самом общем виде, исходные компоненты для приготовления цементобетонной смеси транспортируются различными транспортными средствами и накапливаются на расходном складе цементобетонного завода (ЦБЗ), последовательно потребляясь в каждом его производственном цикле. Далее готовая смесь различными видами транспортных средств поставляется на строящийся участок автомобильной дороги.

В представленной ситуации одной из главных задач логистики является поставка цементобетонной смеси «точно в срок». При этом требуется непрерывный мониторинг перемещения конкретной партии и, при необходимости, эффективные управляющие воздействия материальным и информационным потоками. Рассматривая логистическую цепь поставок как совокупность сложных транспортно-технологических операций,

реализуемых ее участниками, требуется согласование их технических параметров, таких как перерабатывающая способность и вместимость складов, мощность материального потока, время его функционирования, надежность звеньев, пропускная и провозная способность дорог. Эффективность транспортного процесса целесообразно оценить временем доставки необходимого количества смеси на конкретный участок производства работ, при сохранении ее качества.

При проектировании и организации материального потока цементобетонной смеси следует учитывать особенности, связанные с ее специфическими свойствами и технологией производства работ по устройству цементобетонного покрытия:

- цикл производства цементобетонной смеси составляет короткий промежуток времени, в зависимости от производительности технологического оборудования, что повышает роль планирования и организации работы ЦБЗ и степени загрузки его производственных мощностей;

- допустимая продолжительность транспортирования готовой бетонной смеси, ограниченная ее «рабочими» свойствами и, как следствие, ограниченная дальность транспортировки (около 10 – 12 км), обусловленные температурными ограничениями (при температуре воздуха до 20°С продолжительность перевозки смеси должна быть не более 60 мин, при +20...+30°С – не более 30 мин.;

- потребность в специальном подвижном составе с целью сохранения качественных характеристик готового продукта;

- отсутствие необходимости в дополнительных контрагентах на участке логистической цепи «ЦБЗ – строящийся участок автомобильной дороги», в связи с возможностью организации отгрузки цементобетонной смеси только с места производства;

- процесс потребления смеси зависит от природно-климатических факторов, что

обуславливает наличие высокой степени неопределенности при производстве работ;

– необходимость строгого соблюдения требований технологического процесса, как при производстве смеси, так и при ее укладке в слои дорожной одежды;

– технические требования к обеспечению задела по предыдущим работам к моменту поставки цементобетонной смеси на объект.

Логистический подход требует оптимизации транспортировки цементобетонных смесей при производстве работ на участке автомобильной дороги, с целью снижения транспортных расходов по доставке материалов в составе сметной стоимости. Современные экономико-математические методы являются базой для оптимизации возникающих в процессе дорожно-строительного производства задач.

Согласно требований нормативных документов допустимо цементобетонную смесь доставлять на участок производства работ автосамосвалами. Для обеспечения непрерывности процесса укладки цементобетонного покрытия требуется синхронная организация работы звена «автомобили-самосвалы – бетоноукладчик», что на стадии проектирования и подготовки достигается за счет проведения последовательных аналитических расчетов при разработке технологических карт подрядными организациями.

Количество автомобилей-самосвалов варьирует в зависимости от принятого темпа производства работ. Логистический

цикл включает: поступление и прием заявки на ЦБЗ на установленное количество продукции, планирование ее отгрузки, производство цементобетонной смеси, погрузку продукта в транспортное средство, его транспортировку к месту производства работ, выгрузку смеси в бетоноукладчик и ее укладку в слои дорожной одежды.

Количество автомобилей-самосвалов изменяется также в зависимости от дальности транспортировки смеси. Известно, что с увеличением дальности транспортирования, производительность транспортных средств снижается в связи с замедлением периода оборота. При построении логистического цикла особенно важно определить критические точки ($l_{кр}$) изменения потребности в транспортных средствах. В противном случае будет нарушен один из логистических принципов поставки «точно в срок».

Для определения оптимального количества автомобилей-самосвалов в логистическом цикле «цементобетонный завод – транспортные средства – бетоноукладчик» предлагается следующая математическая модель. Целевая функция модели учитывает затраты на эксплуатацию транспортных средств в зависимости от их марки, на погрузо-разгрузочные работы, перевозку смеси, дополнительные расходы, связанные с календарным планированием и организацией перевозок, обеспечением своевременного технического обслуживания и ремонта транспортных средств и оборудования:

$$Y = \frac{(C_m^ц + Ц_{маш.-ч}^ц) + (Ц_{маш.-ч}^{A1} n + Ц_{маш.-ч}^{A2} m \cdot 2l_T) + Ц_{маш.-ч}^y}{Q_{см}} + \frac{K_ц + K_A n + K_y}{P_B T_\Gamma} + \frac{\sum_{i=1}^k L_i}{Q_{см}} \rightarrow \min$$

при ограничениях на:

– имеющееся в наличии количество транспортных средств: $n \leq N$,

– длину участка автомобильной дороги:
 $(l_T + l_m)T_{пл} = L_{уч}$,

– объем цементобетонной смеси:
 $qnK_r = Q_{см}$,

– условие неотрицательности: $n \geq 0$.

где $C_m^ц$ – стоимость исходных компонентов цементобетонной смеси, включая затраты на их транспортировку;

$Ц_{маш.-ч}^ц$ – расчетная цена 1 маш.-смены работы комплекса технологического оборудования цементобетонного завода,

руб.; $Ц_{маш.-ч}^{A1}$ – затраты на 1 маш.-смену работы автосамосвала, не зависящие от дальности транспортирования, руб.;

n – количество транспортных средств, необходимых для доставки цементобетонной смеси на объект

производства работ, шт.; $Ц_{маш.-ч}^{A2}$ –

затраты на 1 маш.-смену работы автосамосвала, зависящие от дальности транспортирования в расчете на 1 км, руб.;

m – суммарное число рейсов всех транспортных средств, необходимое для доставки цементобетонной смеси на

объект в течение 1 смены, шт.; l_T – расстояние транспортировки

цементобетонной смеси от места погрузки до места выгрузки, км; $Ц_{маш.-ч}^y$ –

расчетная цена 1 маш.-смены работы бетоноукладочного комплекта машин, руб.;

$Q_{см}$ – количество цементобетонной смеси, необходимое для обеспечения

непрерывной работы бетоноукладчика при устройстве конструктивного слоя

дорожной одежды в течение рабочей смены, т; $K_ц$, K_A , K_y – балансовая

стоимость соответственно комплекса оборудования по производству цементобетонной смеси, автосамосвала, бетоноукладочного комплекта машин, руб.;

$П_B$ – производительность ведущей машины в комплекте, т/смену; T_r –

количество смен работы в год; $\sum_{i=1}^k L_i$ –

логистические затраты i -го вида в звене «цементобетонный завод – дорожно-строительная организация»;

k – количество видов логистических затрат, выраженных в денежных единицах, включая затраты на погрузо-разгрузочные

операции; N – имеющееся в наличии количество транспортных средств

определенной марки и грузоподъемности; l_m – длина уложенной полосы из смеси,

перевозимой одним транспортным средством, км; $T_{пл}$ – планируемый фонд

рабочего времени по строительству конструктивного слоя дорожной одежды,

смен; $L_{уч}$ – длина участка автомобильной дороги, для которого осуществляется поиск

оптимального решения по транспортировке смеси, км; q – грузоподъемность

транспортного средства, т; K_r – коэффициент использования

грузоподъемности транспортных средств. Сущность процесса, описанного

данной функцией заключается в транспортировке цементобетонной смеси на

объект производства работ оптимальным количеством транспортных

средств, обеспечивающим строительство конструктивного слоя цементобетона в

заданные графиком производства работ сроки с качеством, соответствующим

установленным нормативным требованиям при минимальных

транспортно-логистических издержках. Однако выполнение этих процессов

подвержено влиянию случайных факторов и сопровождается некоторой степенью

неопределенности их своевременной реализации в связи с влиянием различных

факторов: нерегулярность поставок грузов и его потребление, неритмичность технологического процесса и т.п. По этой

количества автосамосвалов для доставки цементобетонной смеси на участок реконструкции дороги с целью устройства цементобетонного покрытия в заданные графиком производства работ сроки предлагается использование теории массового обслуживания [12, 13].

Для обеспечения непрерывности процесса укладки цементобетонного покрытия и синхронизации звена «автомобили-самосвалы

бетоноукладчик» предлагается следующая математическая модель замкнутой системы массового обслуживания, которая включает: погрузку продукта в транспортное средство, его транспортировку к месту производства работ, выгрузку смеси в бетоноукладчик для укладки в слои дорожной одежды. Ее графическое изображение представлено на рисунке 2.

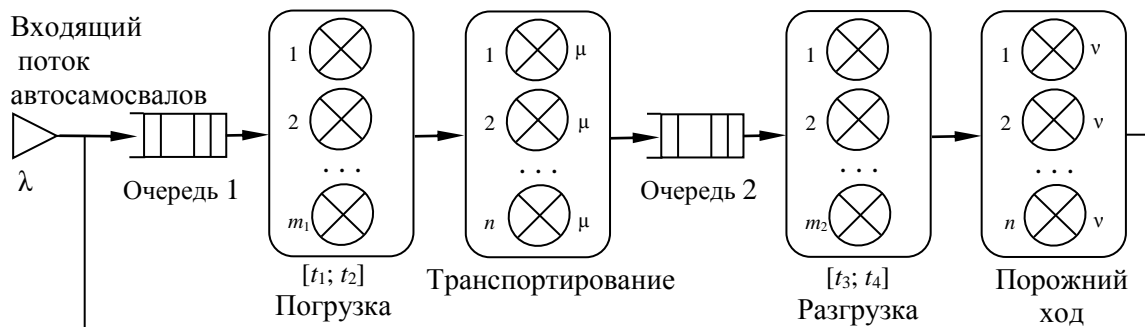


Рис. 2. Концептуальная модель транспортирования смеси

Автосамосвалы прибывают на ЦБЗ для загрузки цементобетонной смесью. Интервалы времени между поступлением автосамосвалов на загрузку имеют экспоненциальное распределение с интенсивностью λ . Поступившие автосамосвалы ожидают обслуживания в Очереди 1. Время загрузки кузова автосамосвала смесью величина, равномерно распределенная на отрезке $[t_1; t_2]$ час. Одновременно может загружаться m_1 автосамосвалов. Далее автосамосвалы прибывают на участок для выгрузки смеси и ожидают обслуживания в Очереди 2. Мест для выгрузки автосамосвалов m_2 . Время для разгрузки смеси величина равномерно распределенная на отрезке $[t_3; t_4]$ час. Время, затраченное на доставку загруженного автосамосвала имеет экспоненциальный закон распределения со средним значением μ час, а время для порожнего хода v час. Разгрузившись, автосамосвал возвращается на ЦБЗ для дальнейшей загрузки. Расстояние от начала участка производства работ до ЦБЗ

составляет l_0 км. Длина всего участка $L_{уч}$ км.

При определении времени, необходимого для погрузки транспортного средства, следует учитывать время технологического процесса погрузки и время перерыва в режиме погрузки транспортных средств, необходимое для приготовления очередной партии смеси и смены транспортного средства под погрузкой.

Для обеспечения необходимого количества цементобетонной смеси аналитически рассчитанное число автосамосвалов составляет от n_1 до n_2 штук.

В качестве критериев, используемых для определения оптимального количества автосамосвалов, транспортирующих цементобетонную смесь, рассматриваются: количество поступивших и обслуженных автосамосвалов; коэффициенты загрузки мест для погрузки и разгрузки; максимальные и средние длины очередей; количество циклов одного автосамосвала

за восьмичасовий робочий день; середнє время обслуговування автосамосвалов (включаючи время очікування).

Предложена модель масового обслуговування реалізована в пакеті автоматизації імітаційного моделювання GPSS World 2.0 [14]. Апробація імітаційної моделі (ІМ) була проведена на прикладі участку реконструкції автомобільної дороги М10 Гомель – Кобрин.

Іспитання імітаційної моделі включало два етапи: верифікацію і перевірку адекватності. На етапі верифікації перевірена правильність алгоритма функціонування ІМ, його відповідність задуму моделювання, коли розроблена ІМ во всіх

ситуаціях правильно відображає поведінку досліджуваної системи. С допомогою верифікації встановлено достовірність логічної структури моделі. Верифікація виконувалася в ході комплексної налагодки програми ІМ на реальних вихідних даних. Адекватність ІМ об'єкту дослідження перевірена шляхом співпадіння з заданою точністю значень характеристик функціонування ІМ з даними, отриманими аналітичними методами розрахунку.

С метою аналізу результатів моделювання отримані характеристики моделювання зведені в таблицю 1.

Таблиця 1

Результати імітаційного моделювання для участку реконструкції автомобільної дороги М10 Гомель – Кобрин

Показатели	Кількість автосамосвалов		
	5	6	7
Коефіцієнт завантаження пристрою «погрузка»	0,878	0,937	0,966
Коефіцієнт завантаження пристрою «разгрузка»	0,877	0,936	0,965
Коефіцієнт простою пристрою «погрузка»	0,122	0,063	0,034
Коефіцієнт простою пристрою «разгрузка»	0,123	0,064	0,035
Максимальна довжина черги на погрузку, автосамосвал	4	5	6
Максимальна довжина черги на разгрузку, автосамосвал	4	5	6
Середня довжина черги на погрузку, автосамосвал	0,505	0,869	1,258
Середня довжина черги на разгрузку, автосамосвал	0,710	1,139	1,622
Середнє время очікування на погрузку, мин	7,5	11	16
Середнє время очікування на разгрузку, мин	10	14,5	20
Середнє время обслуговування автосамосвала (включаючи время очікування), мин	68,5	76,5	87
Кількість циклів одного автосамосвала за восьмичасовий робочий день	7	6,3	5,5

По результатам моделювання отримано, що оптимальна кількість автосамосвалов 6, оскільки при такому кількості найбільш оптимальний коефіцієнт простою, середня довжина черги, середнє время очікування. Отримана кількість циклів одного автосамосвала за восьмичасовий робочий

день забезпечує необхідний обсяг цементобетонної суміші і не призводить до удорожання реконструкції.

Висновок. Представлена аналітико-імітаційна модель дозволяє оптимізувати доставку цементобетонної суміші на об'єкт будівництва шляхом вибору такого

оптимального количества транспортных средств, которое обеспечивает достижение следующих показателей: минимальные расходы на перевозку; отсутствие нарушения сроков строительства из-за несвоевременной поставки; грузоподъемность транспортных средств максимально использована; обеспечен установленный темп работ; качество цементобетонной смеси не ухудшено; время простоя транспортных средств под погрузкой и выгрузкой минимальны.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 «Отрасль дорожного строительства – 2015» Дисклеймер, ЗАО “Инвестиционная компания “ЮНИТЕР” – Минск, 2015. – 22 с.
- 2 Князева, Н.В. Совершенствование отрасли дорожного строительства в современных экономических условиях / Н.В. Князева, Ю.В. Калашникова // Журнал управление инвестициями и инновациями. – 2018. – №1. – С. 62–69. DOI: 10.14529/iimj180108.
- 3 Государственная программа по развитию и содержанию автомобильных дорог в Республике Беларусь на 2017 – 2020 годы : постановление Совета Министров Республики Беларусь, 18 сентября 2017 г., № 699 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2017/september/25645/>. – Дата доступа : 01.04.2018.
- 4 Пилотный проект ГЧП «Реконструкция участка автомобильной дороги М10» в Республике Беларусь. Предварительный информационный меморандум и вопросы для консультаций с рынком. Март 2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://pppbelarus.by/files/images/_10.pdf. – Дата доступа : 04.04.2018.
- 5 Дингес, Э.В. Принципы и методы оптимизации стратегий деятельности дорожных организаций : учебное пособие / Э.В. Дингес. – М. : МАДИ, 2015. – 96 с.
- 6 Кривко, Е.В. Экономика отрасли (дорожное строительство) : учеб. пособие / Е.В. Кривко. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2010. – 307 с.
- 7 Семенов, А.И. Логистика. Основы теории : учеб. для вузов / А.И. Семенов, В.И. Сергеев. – СПб. : Изд-во «Союз», 2003. – 544 с.
- 8 Економіка логістичних систем : [монографія] / [М. Василевський, І. Білик, О. Дейнега, М. Довба, О. Костюк, Є. Крикавський та ін.]. – Львів : Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2008. – 596 с.
- 9 Ивуть, Р.Б. Логистические системы на транспорте : учеб.-метод. пособие / Р.Б. Ивуть, Т.Р. Кисель, В.С. Холупов. – Минск : БНТУ, 2014. – 76 с.
- 10 Еловой, И.А. Логистика : учеб.-метод. пособие / И. А. Еловой. – 2-е изд., перераб. и доп. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 165 с.
- 11 Царенкова, И.М. Логистические потоки в дорожном хозяйстве // Вестник Днепроп. нац. ун-та трансп. : науч.-техн. журнал – 2007. – №15. – С. 259-264.
12. Taha, Hamdy A. Operations research: an introduction.– 8th ed.– New Jersey: Upper Saddle River, 2007. – 815 p.
13. Afanasyeva, L.G., Grishunina, S.A. Queueing systems with different service disciplines // Lobachevskii Journal of Mathematics, № 9.– Moscow, 2017.– p. 864-869.
14. GPSS World reference manual. Fourth Edition Copyright Minuteman Software. Holly Springs, NC, U.S.A., 2009. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.minutemansoftware.com/reference/reference_manual.htm. – Дата доступа : 10.04.2018.