

УДК 625.7:004.9

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-6-916-927>

EDN: VOJONE

Научная статья



АКТУАЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПОТОКА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТА ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ

Т. В. Боброва

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет «СибАДИ»

г. Омск, Россия,

bobrova.tv@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-0292-4421>

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье отражены основные тенденции и проблемы развития технологии информационного моделирования в дорожной отрасли России. Представлен комплекс взаимно интегрированных отечественных программных продуктов, обеспечивающих формирование и поддержку информационных моделей автомобильных дорог в процессе жизненного цикла. Установлено, что переход от традиционного имитационного моделирования строительных потоков к информационному моделированию потоковых систем требует детального анализа низовых элементов потоковой структуры. К таким элементам в системе комплексного дорожно-строительного потока относят линейные специализированные отряды.

Модели и методы. Единая информационная модель объекта в составе проекта организации строительства (ПОС) формирует общую стратегию управления строительством дороги. На стадии проекта производства работ (ППР) в календарном плане необходимо учесть технические и технологические особенности подрядной организации. На уровне ППР нужно создать новую структуру и определить параметры этой структуры таким образом, чтобы удовлетворить заданным ограничениям, установленным ПОС по сроку и затратам, а также предусмотреть определённые резервы для страхования возможных рисков. Целью исследования является разработка методик информационного моделирования специализированного дорожного потока в составе ППР с учетом оптимизации и актуализации его параметров применительно к условиям подрядной организации.

Результаты. Разработан алгоритм моделирования при создании обновленной структуры специализированного линейного потока в интегрированной компьютерной среде, обеспечивающий визуализацию стройплощадки, контроль и оперативное управление производством работ в среде общих данных. Рассмотрен пример реализации данного метода при проектировании специализированного потока сначала в составе ПОС, с последующей актуализацией этой модели в программе MS Project при разработке ППР на основе типовой технологической карты.

Заключение. Использование информационного моделирования создаёт широкие возможности для анализа и контроля хода работ на строительной площадке линейного потока, а также позволяет выполнять оперативную автоматизированную реструктуризацию загрузки машин отряда при корректировке объемов работ на захватках.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: информационное моделирование, специализированный дорожно-строительный поток, карта трудового процесса, интегрированная компьютерная среда.

Статья поступила в редакцию 03.10.2022; одобрена после рецензирования 08.11.2022; принята к публикации 19.12.2022.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Боброва Т. В. Актуализация параметров информационной модели дорожно-строительного потока при разработке проекта производства работ // Вестник СибАДИ. 2022. Т.19, № 6 (88). С. 916-927. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-6-916-927>

© Боброва Т. В., 2022

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Original article
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-6-916-927>
EDN: VOJONE

UPDATING PARAMETERS OF AN INFORMATION MODEL FOR ROAD CONSTRUCTION FLOW IN WORK DEVELOPMENT PROJECT

Tatyana V. Bobrova

Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)

Omsk, Russia

bobrova.tv@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-0292-4421>

ABSTRACT

Introduction. The article reflects the main trends and problems in the development of information modelling technology in the Russian road industry. A set of mutually integrated domestic software products is presented that provide the formation and support of information models of roads in the life cycle process. It has been established that the transition from traditional simulation modelling of building flows to information modelling of flow systems requires a detailed analysis of the lower elements of the flow structure. Such elements in the system of an integrated road construction flow include linear specialized detachments.

Models and methods. A single information model of an object as part of the construction organization project (COP) forms the overall strategy for managing the construction of the road. At the stage of the project for the production of works (PPW), it is necessary to take into account the technical and technological features of the contractor in the calendar plan. At the PPW level, it is necessary to create a new structure and define the parameters of this structure in such a way as to satisfy the specified restrictions established by the COP in terms of time and costs, and also provide for certain reserves for insuring possible risks. The aim of the study is to develop a methodology for information modelling of a specialized road flow as part of the PPW, taking into account the optimization and updating of its parameters in relation to the conditions of the contracting organization.

Results. A modelling algorithm has been developed for creating an updated structure of a specialized linear flow in an integrated computer environment, which provides visualization of a construction site, control and operational management of work in a shared data environment. An example of the implementation of this method is considered when designing a specialized flow, first as part of a COP, with the subsequent updating of this model in the MS Project program when developing a PPW based on a typical flow chart.

Conclusion. The use of information modelling creates wide opportunities for analyzing and monitoring the progress of work at the construction site of a linear flow, and also allows you to perform prompt automated restructuring of the loading of detachment vehicles when adjusting the amount of work at the work sites.

KEYWORDS: *information modelling, specialized road construction flow, labor process map, integrated computer environment.*

The article was submitted 03.10.2022; approved after reviewing 08.11.2022; accepted for publication 19.12.2022.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Bobrova T. V. Updating parameters of an information model of road construction flow work development project. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022; 19 (6): 916-927. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-6-916-927>

© Bobrova T. V., 2022



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Эволюция информационного моделирования в виде BIM-технологий реализуется в строительной отрасли России на принципах сквозного цифрового представления объектов на разных стадиях их жизненного цикла. При этом учитываются, с одной стороны, общие международные тенденции, с другой стороны, уровень развития нормативной базы и особенности формирования национальной цифровой платформы [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Ведущие ученые и практики дорожной отрасли в своих публикациях отразили основные проблемы развития информационных технологий за последние десятилетия, обозначили перспективы развития и первоочередные задачи, которые, по их мнению, необходимо решить для полноценного внедрения этих технологий на этапах проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13].

Отечественные разработчики информационных технологий и инициатив с начала 2000-х гг. не только перенимали зарубежный опыт, но и активно участвовали в разработке и оптимизации программного обеспечения для стандартизации различных аспектов информационного моделирования. В настоящее время в рамках импортозамещения работают Российские компьютерные компании. Так, группа компаний *Model Studio CS* представила на российский рынок в 2022 г. комплексную линейку продуктов, включающую 19 модулей для строительных решений. «*Model Studio CS* – Строительные решения» – это программный продукт, работающий на платформе *nanoCAD* и *AutoCAD*¹.

По информации разработчиков, Российский программный комплекс *nanoCAD* – инженерный BIM реализует: построение единой информационной модели здания набором специализированных инструментов, оптимально решает поставленные проектные задачи. Благодаря поддержке экспорта в обменные файлы стандарта IFC, информационные модели инженерных систем, выполненные в *nanoCAD*, без каких-либо затруднений вливаются в общую информационную модель проектируемого объекта, реализуемую на любой BIM-платформе: *ARCHICAD*, *REVIT*, *Allplan* и т.д.

Применительно к автомобильным дорогам разработан ряд специальных взаимно интегрируемых систем [14]:

- CAD (САПР) – система автоматизированного проектирования (3D);
- GIS (ГИС) – геоинформационная система (3D);
- IPM (ИСУП) – информационная система управления проектами (3D+время=4D);
- АССР – автоматизированная система сметных расчётов (4D+ресурсы=5D);
- ИАСУ ДСР – интегрированная автоматизированная система управления дорожно-строительными работами;
- ITS (ИТС) – интеллектуальная транспортная система.

Указанные системы обеспечивают формирование и поддержку информационных моделей автомобильных дорог в процессе жизненного цикла. Система САПР-BIM ключевая, так как именно она предопределяет основные инженерные характеристики и потребительские свойства будущей автомобильной дороги.

На стадии проектирования в автоматизированных системах выполняют достаточно точные расчеты элементов автомобильной дороги, определяют объемы и стоимость строительных работ, сроки строительства. Несмотря на то, что проект организации строительства (ПОС), разрабатываемый на этой стадии, является обязательным документом для прохождения экспертизы, при заключении договора подряда строительные организации рассматривают его в большей степени как рекомендательный документ, диктующий в то же время директивные ограничения по срокам выполнения отдельных этапов и ввода объекта в эксплуатацию.

Единая информационная модель объекта, представленная в ПОС, формирует общую стратегию управления строительством объекта, но в процессе проектирования организации дорожно-строительных работ на разных стадиях жизненного цикла меняется не только уровень детализации элементов объекта, как это присуще строительству зданий, но могут существенно меняться технологические процессы при сооружении элементов дороги. Это означает, что при проектировании производства работ (ППР) необходимо выполнить актуализацию информационной модели в рамках определенных ограничений, предусмотренных проектом организации строительства.

¹ Алгоритм перехода на отечественные САПР и BIM-решения. URL: <https://www.nanocad.ru/products/#bim> (дата обращения: 26.09.22).

Для того чтобы осуществлять производство работ, подрядчик должен сформировать новый календарный план с учетом реальной ситуации на строительной площадке. Это особенно важно при продолжительном строительстве автомобильных дорог, учитывая следующие обстоятельства:

- многовариантность используемых машин для выполнения отдельных технологических операций по слоям дорожной конструкции;
- многообразии свойств грунтов и других строительных материалов, которые уточняются в процессе производства линейных работ;
- возможное смещение сроков производства работ относительно сезонов года в реализуемом календарном плане;
- режим работы подрядчика по сезонам года (в частности, сменность, длительность рабочей смены, вахтовый метод и т.д.).

Таким образом, если рассматривать дорожно-строительный поток как объект проектирования, то на уровне ППР нужно создать новую структуру и определить параметры этой структуры таким образом, чтобы удовлетворить заданным ограничениям, установленным ПОС по сроку и затратам, а также предусмотреть определённые резервы для страхования возможных рисков. Но есть более широкий круг задач на строительной площадке, требующий наличия информационных моделей, адекватно отражающих ход строительства. Это контроль материально-технического снабжения, своевременная поставка материалов на строительную площадку и в приобъектные склады, оперативное планирование и управление, контроль качества, обеспечение безопасных условий труда и многое другое. Авторы [15] относят задачу проектирования организации работ на стройплощадке к одной из важнейших научных и практических задач, которые необходимо отработать на уровне «Открытого BIM».

Большинство работ этого научного направления посвящено моделированию комплексного дорожно-строительного потока на основе имитационного моделирования систем [16, 17, 18, 19, 20]. Вопросы оптимизации потоковых систем при переходе от имитационного моделирования к информационному с использованием современных программных средств рассмотрены в работах [21, 22, 23, 24] на основе теории структурно-параметрического синтеза. Данный метод предусматривает формирование потоковой структуры на двух уровнях: на первом уровне – моделирование и оптимизацию отдельных элементов потоковой системы; на втором – рассмотрение сводного потока как объекта во вза-

имодействии с окружающей средой. Применительно к строительным системам, в частности к организации комплексного дорожно-строительного потока, эта концепция была впервые предложена и реализована в работе [25] с использованием инструментария MS Project и других компьютерных программ календарного планирования производства. В то же время ряд вопросов моделирования элементов потоковых систем в транспортном строительстве, к которым относится прежде всего линейный специализированный дорожный поток, требует дальнейшего развития и совершенствования.

Разработка календарных планов в составе ППР является функцией подрядчика. Эти информационные модели требуют тщательной подготовки и должны далее встраиваться в систему оперативного управления производственной программой дорожной организации, включая взаимодействие с обеспечивающими подсистемами (подсобным производством, транспортом, поставками материальных ресурсов, техническим обслуживанием машин и другими факторами производства). Необходимо не только создать новую оптимальную структуру, обеспечить возможности визуализации процессов производства работ, но и учесть ограничения, накладываемые на неё вышестоящим уровнем – проектом организации строительства. Главным звеном структуры дорожно-строительного производства является специализированный дорожно-строительный поток, функционирующий в различных природных и производственных условиях. Продукция специализированного потока – законченный конструктивный элемент, подготовленный для производства последующих работ. Целью исследования является разработка методики информационного моделирования специализированного дорожного потока в составе ППР с учетом оптимизации и актуализации его параметров применительно к условиям подрядной организации.

МЕТОДЫ И МОДЕЛИ

Приступая к расчету и моделированию специализированного потока на конструктивном элементе дороги, мы должны принять те ограничения по срокам производства работ, которые заложены в составе ПОС проектной организацией. Т.е. принять условие:

$$T_{\text{сп}}^{\text{ППР}} \leq T_{\text{сп}}^{\text{ПОС}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{сп}}^{\text{ПОС}}$ и $T_{\text{сп}}^{\text{ППР}}$ – время действия специализированного потока в составе ПОС и ППР.

Состав специализированного отряда формируют на основе парка машин подрядной организации при выполнении технологического процесса на линейном конструктивном элементе. Этот состав может варьироваться в рамках ограничений по наличному или привлекаемому парку машин подрядчика. В качестве основы для подбора состава отряда принимают типовую технологическую карту или специально разрабатывают карту трудового процесса на строительство линейного конструктивного элемента дороги. ПОС не решает проблему подбора состава отряда, так как базируется на усреднённой нормативной базе и укрупнённых технологических операциях в составе государственных элементных сметных норм (ГЭСН)².

Для оптимизации состава специализированного отряда и сменного фронта работ достаточно выполнить несколько расчетных итераций с изменением сменной захватки. Критерием локальной оптимизации сменного темпа могут служить затраты на единицу продукции отряда, трудовые или энергетические затраты, коэффициент использования машин отряда и др. Предпочтительнее использовать интегральный показатель, представляющий аддитивную свертку частных критериев [26]:

$$y^* = f(y) = \sum_{j=1}^n \frac{w_j y_j}{s_j} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где y_j – значение j -го критерия; s_j – нормирующий коэффициент, равный максимальному значению шкалы для j -го критерия и переводящий его в безразмерную величину; w_j – весовой коэффициент (вес) j -го критерия, пропорциональный его значимости и определяемый на основе экспертного анализа. Обычно весовые коэффициенты нормируются при $\sum_{j=1}^n w_j = 1$.

Результатом моделирования технологического процесса является оптимальный состав специализированного отряда (количество машин) и основные параметры потока:

- $l_{см}$ – сменный фронт работ (захватка), м;
- $t_{разв}$ – время развёртывания потока; ч;
- $t_{св}$ – время свёртывания потока, ч;
- $L_{сп}$ – фронт работ специализированного потока, м;

- $l_{раст}$ – организационное или технологическое растяжение фронта работ специализированного потока, м.

Информационное моделирование специализированного дорожного потока на конструктивном элементе дороги в составе ППР выполняют в среде автоматизированного календарного планирования (*Microsoft Project*, *Oracle Primavera*, *Project Spider* и др.). Для визуализации стройплощадки линейного отряда в течение рабочей смены возможно использование отечественных программных продуктов *Model Studio CS*, *nanoCAD*. Блок-схема моделирования и подготовки объекта к визуализации представлена на рисунке 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Реализация данного метода представлена на примере технологии строительства 2-слойного щебёночного основания (15 см + 15 см) на участке автомобильной дороги III технической категории протяжённостью 10 км. Для рассмотрения метода принята известная типовая технология и простое конструктивное решение, чтобы в большей степени отразить различие в подходах при проектировании ПОС и ППР на основе разных нормативных баз. В составе ПОС расчеты выполнены на основе ГЭСН в двух вариантах: 1 – при стандартной продолжительности смены 8 ч, во втором варианте продолжительность смены принята 12 ч (с учетом вахтового метода). В таблице представлен расчет состава отряда и определена длительность выполнения работ на дороге по нормативам ГЭСН. При продолжительности смены 12 ч она составила 52 дня, сменный темп 190 м. При 8-часовой смене, если работы будут выполняться этим же составом отряда, длительность составит 80 дней, сменный темп 125 м.

Для расчета специализированного потока при выполнении работ подрядчиком была использована типовая технологическая карта по устройству двухслойного щебёночного основания автомобильных дорог по методу заклинки на дороге II технической категории³. Длина захватки в типовой карте принята 150 м. При разработке технологической карты на принятый объект объёмы работ на 1 км были пересчитаны с учетом III технической категории (ширина основания 8,3 м).

² Государственные элементные сметные нормы «ГЭСН», утв. приказами Минстроя России №№ 871/пр – 876/пр от 26.12.2019 г. URL: <https://minstroyf.gov.ru/trades/view.gesn-2020.php> (дата обращения: 27.09.2022).

³ Технологические карты на устройство земляного полотна и дорожной одежды. Введены в действие распоряжением Минтранса России от 23.05.2003 г. № ОС-468-р. Изд-во РОСАВТОДОП. М., 2004. 357с.



Рисунок 1 – Блок-схема моделирования специализированного линейного потока в компьютерной среде
Источник: составлено автором

Figure 1 – Block diagram of specialized linear flow modelling in a computer environment
Source: compiled by the author

Учитывая ограничения на сроки выполнения работ в ПОС (52 дня), подбор состава отряда выполнялся при длине захватки от 190 м и более. Производительность машин определена на основе расчётно-аналитического метода в соответствии с типовой технологической картой. Моделирование технологических операций при разной длине захватки выполнено в программе MS Project. Оптимальная захватка по критерию минимальных затрат на эксплуатацию машин отряда со-

ставляла 192 м. На рисунке 2 представлен сменный график выполнения технологических операций на пяти захватках специализированного отряда (после развёртывания потока). На рисунке 3 – эпюры потребности уплотняющих машин с часовой загрузкой по результатам расчета в Project. Выполнены условия ПОС, оптимизирован состав отряда по типовой технологической карте, установлены параметры специализированного потока.

Таблица
Подбор состава отряда и определение длительности работ по ГЭСН при строительстве 2-слойного щебеночного основания
 Источник: составлено автором

Table
Selection of the composition of the detachment and determination of the duration of work on GESN during the construction of a 2-layer crushed stone base
 Source: compiled by the author

	ГЭСН / ед. изм.	Показатель на ед. изм. по ГЭСН	Показатель на объект в ед. изм. ГЭСН	Количество чел.-смен, машино-смен работы на объекте (при вахтовом методе 12 ч)	Количество чел.-смен, машино-смен работы на объекте (при стандартной смене 8 ч)	Количество чел.-смен, машино-смен работы на объекте (при 8-часовой смене)	Количество чел.-смен, машино-смен работы на объекте, дни (при 12-часовой смене)	Расчетная длительность работы, дни (при 8-часовой смене)	Расчетная длительность работы, дни (при 12-часовой смене)	Принятая длительность работы на объекте, дни/ч при 12-часовой смене	Коэффициент загрузки ресурса (гр.8/гр.10)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Технологический процесс (вид работ) / вид ресурсов											
Строительство двухслойного щебеночного основания толщиной 30 см	ГЭСН 27-04-006-03+ 27-04-006-02 / 1000м2	83								52/624	
Затраты труда рабочих	чел.-ч	62,6	5196	649	433	9	48	72	52	52	0,93
Затраты труда машинистов	чел.-ч	66,68	5534	692	461	9,5	49	73	52	52	0,93
Бульдозеры, мощность 59 кВт (80 л.с.)	маш.-ч	2,35	195	24	16	0,5	33	49	52	52	0,63
Автогрейдеры среднего типа, мощность 99 кВт (135л.с.)	маш.-ч	1,96	163	20	14	0,3	45	68	52	52	0,87
Погрузчики, грузоподъемность 5 т	маш.-ч	11,65	967	121	81	1,5	54	81	52	52	1,03
Катки дорожные самоходные вибрационные, масса более 8 т	маш.-ч	30,7	2548	319	212	4	53	80	52	52	1,02
Катки дорожные самоходные вибрационные, масса до 8 т	маш.-ч	14,25	1183	148	99	2	49	74	52	52	0,95
Распределители каменной мелочи	маш.-ч	0,57	47	6	4	0,25	16	24	52	52	0,30
Машины поливомоечные 6000 л	маш.-ч	5,2	432	54	36	0,8	45	67	52	52	0,86

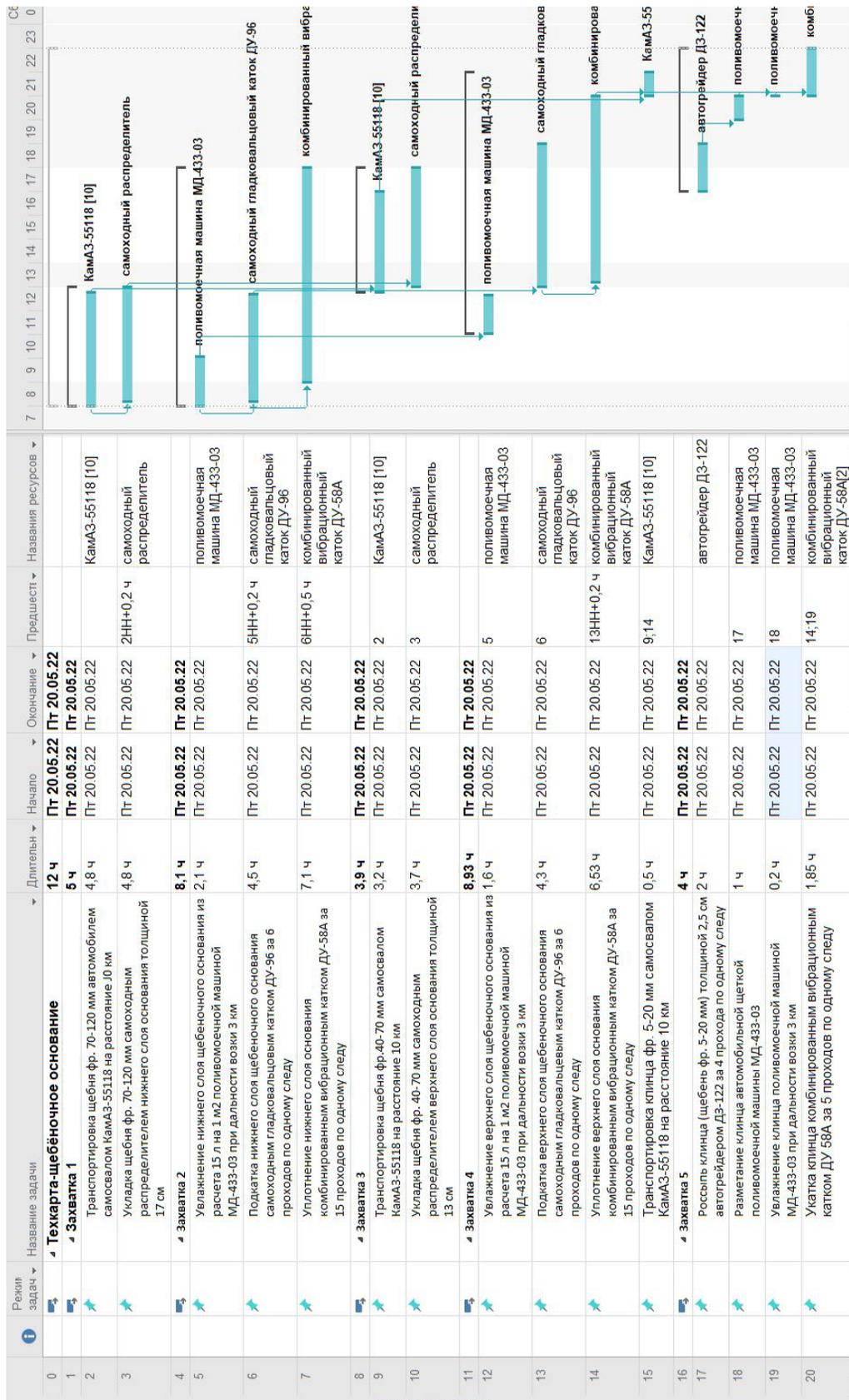


Рисунок 2 – Фрагмент диаграммы Ганта из MS Project: технологический процесс развернутого потока по строительству 2-слойного щебеночного основания (длительность смены 12 ч)
 Источник: составлено автором

Figure 2 – A fragment of the Gantt chart from MS Project: the technological process of the developed flow for the construction of a 2-layer crushed stone base (12h shift duration)
 Source: compiled by the author

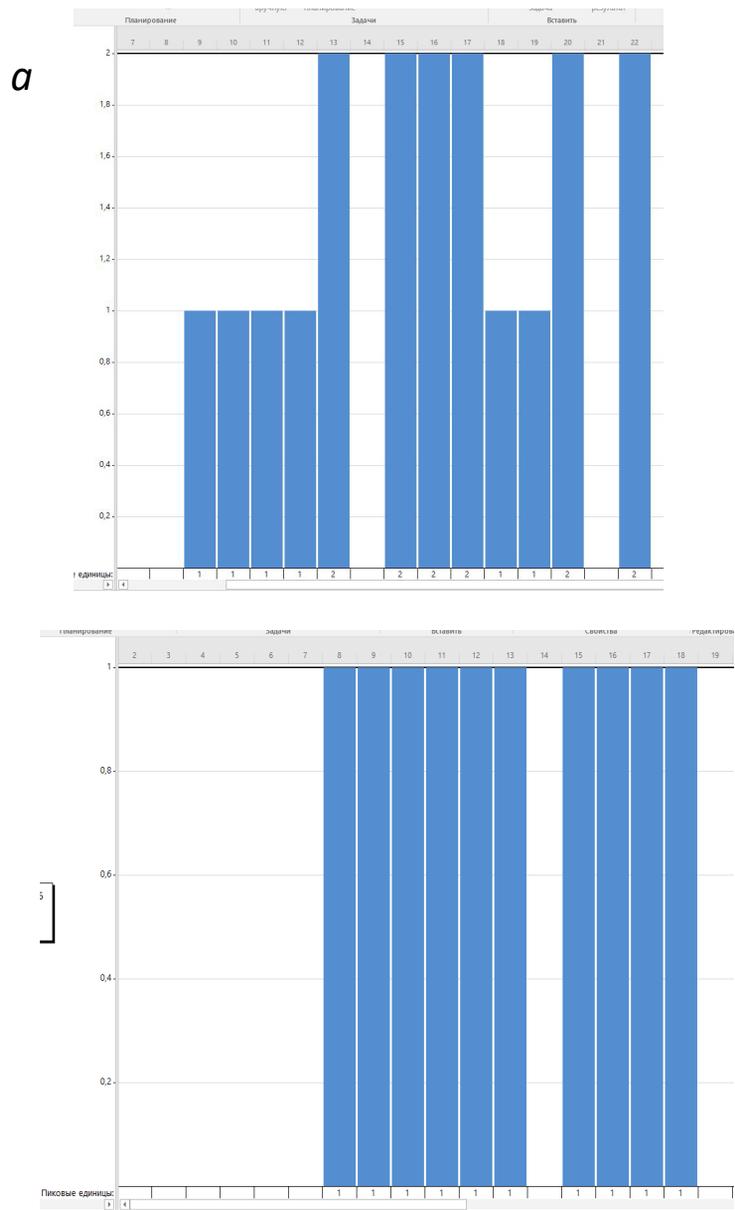


Рисунок 3 – Эпюры почасовой загрузки катков на захватках специализированного потока в программе MS Project:
 а – комбинированный вибрационный каток ДУ-58А;
 б – самоходный гладковальцовый каток ДУ-96
 Источник: составлено автором

Figure 3 – Diagrams of the hourly loading of rollers on the grippers of a specialized flow in the MS Project program:
 a) combined vibratory roller DU-58A;
 b) self-propelled smooth roller DU-96
 Source: compiled by the author

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проектировать организацию работ на стройплощадке подрядчика на основе нормативной базы ГЭСН нельзя, так в ней не отражаются все необходимые технологические операции, их последовательность и взаимосвязи. Для разработки проектов производства работ необходимо создавать и шире использовать современные карты трудовых процессов, типовые технологические карты на все, в том числе и на инновационные технологии.

2. В настоящее время в большинстве методических рекомендаций по разработке технологических карт операции на захватках отображаются в виде линейных графиков загрузки машин. Так учат студентов в автодорожных вузах. Однако это представление не даёт четкой картины перехода машин при работе на разных захватках. Использование инструментов информационного моделирования позволяет более четко установить взаимодействие машин в форме почасовой диаграммы Ганта и получить оптимальное решение.

3. Использование информационного моделирования создаёт широкие возможности для анализа и контроля хода работ на строительной площадке линейного потока в режиме визуализации, а также позволяет выполнять оперативную автоматизированную реструктуризацию загрузки машин отряда при корректировке объемов работ на захватках.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Возгомент Н. В. Современные вызовы и перспективы развития BIM-моделирования в России в эпоху цифровизации // *E-Management*. 2020. Т. 3, № 3. С. 20–27. DOI 10.26425/2658-3445-2020-3-3-20-27.

2. Khodabandelu A. Agent-based modeling and simulation in construction / A. Khodabandelu, J. W. Park // *Automation in Construction*. 2021. Vol. 131. P. 103882. DOI 10.1016/j.autcon.2021.103882.

3. Doukari O. Automatic generation of building information models from digitized plans / O. Doukari, D. Greenwood // *Automation in Construction*. 2020. Vol. 113. P. 103129. DOI 10.1016/j.autcon.2020.103129.

4. T. Omar and M.L. Nehdi. Automated Data Collection for Progress Tracking Purposes: A Review of Related Techniques. Springer International Publishing AG 2018 H. Rodrigues et al. (eds.), *Facing the Challenges in Structural Engineering, Sustainable Civil Infrastructures*, DOI 10.1007/978-3-319-61914-9_30.

5. Баранник С. В. Национальный BIM-стандарт – Соединенные Штаты Америки, Версия 3. Разд. 5. Практические документы (рус.) // BIM-стандарты Англии и США на русском языке. URL: <http://bimstandart.ru> (дата обращения: 12.04.2017).

6. Баранник С. В. Обзор британских стандартов семейства PAS 1192 // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2016. № 1(6). С. 24–27. DOI: 10.17273/CADGIS.2016.1.4.

7. Скворцов А. В. Модели данных BIM для инфраструктуры // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1(4). С. 16–23. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.2.

8. Скворцов А. В. Нормативно-техническое обеспечение BIM автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2(3). С. 22–32. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.2.4.

9. Сарычев Д. С. Информационное моделирование при разработке проектной и рабочей документации // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2(5). С. 20–24. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.3.

10. Скворцов А. В. Общая среда данных как ключевой элемент информационного моделирования автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2(5). С. 37–41. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.6.

11. Сарычев Д. С., Скворцов А. В. Элементы моделей автомобильных дорог и уровни проработки как основа требований к информационным моделям // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1(4). С. 30–36. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.4.

12. Бойков В. Н., Скворцов А. В. Эволюция ГИС автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2017. № 1(8). С. 46–53. DOI: 10.17273/CADGIS.2017.1.7.

13. Бойков В. Н., Скворцов А. В., Сарычев Д. С. Цифровая автомобильная дорога как отраслевой сегмент цифровой экономики // *Транспорт Российской Федерации*. 2017. №2(75). С.56–60.

14. Максимычев О. И., Бойков В. Н. Поддержка жизненных циклов проектов дорожно-строительных работ в парадигме цифровой экономики. САПР и ГИС автомобильных дорог. 2019. № 1(12). С. 11–15. DOI: 10.17273/CADGIS.2019.1.2

15. Бойков В. Н., Скворцов А. В. InfraBIM для автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2019. № 1(12). С. 4–9. DOI: 10.17273/CADGIS.2019.1.1.

16. Брызгалова Р. М., Воробьев В. С., Каталымова К. В. Имитационная модель управления стоимостью железнодорожного строительства // *Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока*. 2008. № 2. С. 51–57.

17. Воробьев В. С., Манаков А. Л. Концепция имитационного моделирования организации производства инфраструктурного комплекса железных дорог // *Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока*. 2013. № 1. С. 81–85.

18. Bobrova T., Vorobyev V. Linear structure taxonomy with the account of environmental polystructures impact. MATEC Web of Conferences 216, 01003 (2018). URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821601003>.

19. Боброва Т. В., Дубенков А. А., Тытарь И. В. Совершенствование организационно-технологического проектирования линейных транспортных объ-

ектов на основе моделирования их пространственной декомпозиции // Системы. Методы. Технологии. 2016. № 4(32). С. 169–175. DOI 10.18324/2077-5415-2016-4-169-175.

20. Боброва Т. В., Дубенков А. А. Календарно-сетевое планирование строительства линейных объектов в среде MS PROJECT // Вестник СибАДИ. 2017; 56 (4-5(56-57)). С. 68–77. DOI:10.26518/2071-7296-2017-4-5(56-57). С.68–77.

21. Волков В. А., Чудинов С. М. Системный анализ для структурно-параметрического синтеза // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: экономика. информатика. 2012. № 19 (138) Выпуск 24/1. С. 153–157.

22. Акимов С. В. Анализ проблемы автоматизации структурно-параметрического синтеза // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2011. №. 2-2 (24). С.204–211.

23. Аристов А. О. Теория квазиклеточных сетей: научная монография. М: МИСиС, 2014. 188 с. URL: https://vk.com/wall1563794_1577.

24. Аристов А. О. Модели организации движения транспортных потоков на основе дискретных структур // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. Т. 6, №. 12. С. 662– 675.

25. Боброва Т. В. Структурно-модульная параметризация дорожно-строительного потока в системе информационного моделирования // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2022. № 2 (61). С. 86–95. DOI 10.52170/1815-9265_2022_61_86.

26. Микони С. В. Теория и практика рационального выбора: монография. М.: Маршрут, 2004. 463 с.

REFERENCES

1. Vozgoment N.V. Modern challenges and prospects for the development of BIM-modeling in Russia in the age of digitalization. *E-Management*. 2020;3(3):20-27. (In Russ.) <https://doi.org/10.26425/2658-3445-2020-3-3-20-27>

2. Khodabandelu. A., Park J. W. Agent-based modeling and simulation in construction. *Automation in Construction*. 2021; Vol. 131: 103882. DOI 10.1016/j.autcon.2021.103882.

3. Doukari O., Greenwood D. Automatic generation of building information models from digitized plans. *Automation in Construction*. 2020; Vol. 113:103129. DOI 10.1016/j.autcon.2020.103129.

4. Omar T. and Nehdi M. L. Automated Data Collection for Progress Tracking Purposes: A Review of Related Techniques. Springer International Publishing AG 2018 H. Rodrigues et al. (eds.). Facing the Challenges in Structural Engineering. *Sustainable Civil Infrastructures*. DOI 10.1007/978-3-319-61914-9_30.

5. Barannik S. V. Natsionalnyy BIM-standart – Soyedinennyye Shtaty Ameriki. Versiya 3. Razd. 5. Prakticheskiye dokumenty (rus.). *BIM-standarty Anglii i SShA na russkom yazyke*. Available at: <http://bimstandart.ru> (accessed 12.04.2017).

6. Barannik S. V. Obzor britanskikh standartov semeystva PAS 1192 [Overview of the British standards of the PAS 1192 family]. *SAPR i GIS avtomobilnykh dorog*. 2016; 1 (6): 24?27. DOI: 10.17273/CADGIS.2016.1.4. (In Russ.)

7. Skvortsov A. V. Modeli dannykh BIM dlya infrastruktury [BIM data models for infrastructure]. *SAPR i GIS avtomobilnykh dorog*. 2015; 1(4): 16-23. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.2. (In Russ.)

8. Skvortsov A. V. Normativno-tekhnicheskoye obespecheniye BIM avtomobilnykh dorog [Regulatory and technical support of BIM of motor roads]. *SAPR i GIS avtomobilnykh dorog*. 2014; 2(3): 22?32. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.2.4. (In Russ.)

9. Sarychev D. S. Informatsionnoye modelirovaniye pri razrabotke proyektnoy i rabochey dokumentatsii [Informational modeling during the development of design and working documentation]. *SAPR i GIS avtomobilnykh dorog*. 2015; 2(5): 20?24. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.3. (In Russ.)

10. Skvortsov A. V. Obshchaya sreda dannykh kak klyuchevoy element informatsionnogo modelirovaniya avtomobilnykh dorog [General data environment as a key element of information modeling of highways]. *SAPR i GIS avtomobilnykh dorog*. 2015; 2(5): 37?41. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.6. (In Russ.)

11. Sarychev D. S. Skvortsov A. V. Elementy model-eley avtomobilnykh dorog i urovni prorabotki kak osnova trebovaniy k informatsionnym modelyam [Elements of road models and development levels as the basis for requirements for information models]. *SAPR i GIS avtomobilnykh dorog*. 2015; 1(4): 30–36. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.4. (In Russ.)

12. Boykov V. N. Skvortsov A. V. Evolyutsiya GIS avtomobilnykh dorog. [Evolution of GIS of highways]. *SAPR i GIS avtomobilnykh dorog*. 2017; 1(8): 46-53. DOI: 10.17273/CADGIS.2017.1.7. (In Russ.)

13. Boykov V. N., Skvortsov A. V., Sarychev D. S. Tsifrovaya avtomobilnaya doroga kak otraslevoy segment tsifrovoy ekonomiki [Digital highway as a branch segment of the digital economy]. *Transport Rossiyskoy Federatsii*. 2017; 2 (75):56-60. (In Russ.)

14. Maksimychev O. I. Boykov V. N. Podderzhka zhiznennykh tsiklov proyektov dorozhno-stroitelnykh rabot v paradigme tsifrovoy ekonomiki [Support of life cycles of road construction projects in the paradigm of the digital economy]. *SAPR i GIS avtomobilnykh dorog*. 2019; 1 (12): 11-15. DOI: 10.17273/CADGIS.2019.1.2 (In Russ.)

15. Boykov V. N. Skvortsov A. V. InfraBIM dlya avtomobilnykh dorog [InfraBIM for highways]. *SAPR i GIS avtomobilnykh dorog*. 2019; 1(12): 4-9. DOI: 10.17273/CADGIS.2019.1.1. (In Russ.)

16. Bryzgalova R. M., Vorobyev V. S. Katalymova K. V. Imitatsionnaya model upravleniya stoimostyu zheleznodorozhnogo stroitelstva [Imitation model of management of the cost of railway construction]. *Nauchnyye problemy transporta Sibiri i Dalnego Vostoka*. 2008; 2: 51-57. (In Russ.)

17. Vorobyev V. S., Manakov A. L. Kontseptsiya imitatsionnogo modelirovaniya organizatsii proizvodstva infrastruktornogo kompleksa zheleznykh dorog [Kont-

septsiya imitatsionnogo modelirovaniya organizatsii proizvodstva infrastruktornogo kompleksa zheleznykh dorog]. *Nauchnyye problemy transporta Sibiri i Dalnego Vostoka*. 2013; 1: 81-85. (In Russ.)

18. Bobrova T., Vorobyev V. Linear structure taxonomy with the account of environmental polystructures impact. *MATEC Web of Conferences* 216. 01003 (2018). URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821601003>

19. Bobrova T. V., Dubenkov A. A., Tytar I. V. Sovershenstvovaniye organizatsionno-tekhnologicheskogo proyektirovaniya lineynykh transportnykh obyektov na osnove modelirovaniya ikh prostranstvennoy dekompozitsii. [Sovershenstvovaniye organizatsionno-tekhnologicheskogo proyektirovaniya lineynykh transportnykh obyektov na osnove modelirovaniya ikh prostranstvennoy dekompozitsii] *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. 2016; 4(32): 169-175. DOI 10.18324/2077-5415-2016-4-169-175. (In Russ.)

20. Bobrova T. V., Dubenkov A. A. Calendar-network planning of construction of linear objects in the medium of ms project. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2017;56(4-5(56-57)):68-77. (In Russ.) [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-4-5\(56-57\)-68-77](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-4-5(56-57)-68-77)

21. Volkov V. A., Chudinov S. M. Sistemnyy analiz dlya strukturno-parametricheskogo sinteza [System analysis for structural-parametric synthesis]. *Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. seriya: ekonomika. informatika*. 2012; 19 (138) Vypusk 24/1: 153-157. (In Russ.)

22. Akimov S. V. Analiz problemy avtomatizatsii strukturno-parametricheskogo sinteza [Analysis of the problem of automation of structural and parametric synthesis]. *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo*

universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki. 2011; 2-2 (24): 204-211. (In Russ.)

23. Aristov A. O. Teoriya kvazikletochnykh setey nauchnaya monografiya [Theory of quasi-cell networks scientific monograph]. M: MISiS. 2014: 188. Available at: https://vk.com/wall1563794_1577 (In Russ.)

24. Aristov A. O. Modeli organizatsii dvizheniya transportnykh potokov na osnove diskretnykh struktur [Models of the organization of traffic flows based on discrete structures]. *Gornyy informatsionno-analiticheskii byulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*. 2011; T. 6. №. 12: 662- 675. (In Russ.)

25. Bobrova T. V. Strukturno-modulnaya parametrizatsiya dorozhno-stroitel'nogo potoka v sisteme informatsionnogo modelirovaniya [Structural and modular parameterization of road construction flow in the information modeling system]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya*. 2022; 2 (61): 86–95. DOI 10.52170/1815-9265_2022_61_86. (In Russ.)

26. Mikoni S. V. Teoriya i praktika ratsionalnogo vybora: monografiya [Theory and practice of rational choice: monograph]. Moscow.: Marshrut. 2004: 463. (In Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Боброва Татьяна Викторовна – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры «Проектное управление и информационное моделирование в строительстве».

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Tatyana V. Bobrova – Dr. of Sci., Professor, Project Management and Information Modelling in Construction Department.