

Научная статья
 УДК 625.7.004.9
 DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-5-832-843>
 EDN: KRQKW1



НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ К РЕАЛЬНЫМ УСЛОВИЯМ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА ИНСТРУМЕНТАМИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Т.В. Боброва ✉, В.А. Уткин

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ),
 г. Омск, Россия

✉ ответственный автор
 bobrova.tv@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Введение. Вектор технологий информационного моделирования в дорожной отрасли (ТИМ АД) постепенно смещается из области проектирования объектов в область непосредственного управления строительством. Элементы ТИМ пока слабо используются в сфере производства из-за отсутствия необходимых инструментов и методик для управления ходом работ в условиях строительной площадки. Повысить результативность оперативного управления технологическими процессами может применение электронных технологических карт (ЭТК). Для этого технологические карты должны адекватно отражать реальные условия строительства: параметры техники, объемы работ по длине автомобильной дороги, свойства материалов, учитывать погодные факторы. Эти проблемы и актуальность применения ТИМ на стадии строительства определили цель данной статьи: разработать модель и алгоритм привязки параметров технологических карт в дорожном строительстве к реальным условиям производства для оперативного управления организационными и технологическими процессами с использованием ТИМ и компьютерных программ календарно-сетевого планирования.

Модели и методы. В статье представлен метод настройки функциональных, временных и пространственных параметров ЭТК с применением технологий информационного моделирования. На первом этапе базовую модель ЭТК строят в виде потоковой структуры технологического процесса (ТП). Модель включает элементы системы и связи между ними в виде выполняемых операций преобразования элементов из одного состояния в другое. На втором этапе формируют пространственную структуру модели с декомпозицией фронта работ на сменные участки (захватки) с оценкой длительности операций при заданном ресурсном обеспечении. Реализацию ТИМ выполняют в среде компьютерных программ по управлению проектами.

Результаты. Использование метода продемонстрировано на примере разработки цифровой модели типовой ТК в программе MS Project и трансформации её параметров к условиям реального производства при строительстве земляного полотна автомобильной дороги.

Заключение. Применение электронных ТК в условиях строительной площадки повышает точность и оперативность текущего планирования, обеспечивает актуальной информацией производителей работ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дорожное строительство, технологический процесс, информационная модель технологической карты, параметрическое моделирование, сменный почасовой график, интегрированная информационная среда

Статья поступила в редакцию 03.08.2025; одобрена после рецензирования 16.09.2025; принята к публикации 21.10.2025.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Боброва Т.В., Уткин В.А. Настройка параметров технологических карт к реальным условиям дорожно-строительного производства инструментами информационного моделирования // Вестник СибАДИ. 2025. Т. 22, № 5. С. 832-843. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-5-832-843>

© Боброва Т.В., Уткин В.А., 2025



Контент доступен под лицензией
 Creative Commons Attribution 4.0 License.

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-5-832-843>

EDN: KRQKWI

SETTING UP PROCESS CHARTS' PARAMETERS TO REAL ROAD CONSTRUCTION CONDITIONS WITH THE USE OF INFORMATION MODELING TOOLS

Tatyana V. Bobrova ✉, Vladimir A. Utkin

Siberian State Automobile and Highway University (SibADI),
Omsk, Russia

✉ Corresponding author
bobrova.tv@gmail.com

ABSTRACT

Introduction. The focus of information modeling technologies in the road industry is gradually shifting from the design of facilities to the management of construction. Elements of information modeling technologies are currently underutilized in production due to the lack of necessary tools and methodologies for managing work progress under construction site conditions. The use of electronic technological maps can improve the efficiency and fasten operational process management. To achieve this, process charts must adequately reflect actual construction conditions: equipment parameters, volumes of work along the road length, material properties, and must take into account weather factors. These challenges and the relevance of using information modeling technologies during the construction phase determined the purpose of this article: to develop a model and algorithm for linking process chart parameters in road construction to actual production conditions to optimize the organizational and technological process operational management with the use of information modeling technologies and calendar-network planning computer programs.

Models and Methods. This article presents a method for setting the functional, temporal, and spatial parameters of electronic process charts using information modeling technologies. At the first stage, the basic process map model is constructed as a flow structure of the technological process. The model includes system elements and the relationships between them in the form of the performed operations of element transformation from one state to another. At the second stage, the spatial structure of the model is formed by decomposing the front of work into replaceable sections (segments), with the estimation of operation duration with a determined resource provision. The information modeling technologies have been implemented with the use of project management software.

Results. Method's application has been demonstrated by the example of developing a digital model of the typical technological process flow chart in "MS Project" and by transforming its parameters to real conditions for the highway roadbed construction.

Conclusion. The use of electronic process charts, on a construction site improves the accuracy and efficiency of the current planning and provides contractors with up-to-date information.

KEYWORDS: road construction, technological process, information model of the process chart, parametric modeling, hourly shift schedule, integrated information environment

The article was submitted: August 3, 2025; **approved after reviewing:** September 16, 2025; **accepted for publication:** October 21, 2024.

All 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., Utkin V.A. Setting up process charts' parameters to real road construction conditions with the use of information modeling tools. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2025; 22 (5): 832-843. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-5-832-843>

© Bobrova Tatyana V., Utkin Vladimir A., 2025



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

ВВЕДЕНИЕ

В дорожной отрасли за последние годы много делается для создания благоприятных условий в области цифровой трансформации: упорядочение нормативной базы, создание машиночитаемых технических регламентов, развитие специального программного обеспечения, обучение специалистов. Новые информационные технологии должны восприниматься не только как умение работать в компьютерных программах, но и как возможность более эффективно управлять реальными объектами. Авторы [1, 2, 3] обращают внимание на необходимость создания «антропогенной среды обитания в цифровом формате», чтобы цифровая информационная модель (ЦИМ) стала привычным способом обмена информацией между участниками инвестиционных проектов для принятия решений на всех уровнях. В этом ключе цикл PDCA (Деминга): «Планируй – Делай – Проверь – Действуй»¹ звучит особенно актуально и может быть применен ко всем процессам в системе управления сроками и качеством дорожного строительства.

Основная информационная модель автомобильной дороги создается на стадии проектирования объекта, когда формируются принципиальные конструктивные решения. Создание цифровой информационной модели автомобильной дороги (ЦИМ АД) на стадии проектирования позволяет в дальнейшем обрабатывать эту информацию в автоматизированном режиме, в том числе для проектирования организационно-технологических способов производства работ [4, 5, 6].

Системы автоматизированного проектирования (САПР АД), используемые при обработке результатов инженерных изысканий и проектировании дорожной части, в России развиваются давно. Такие САПР конкурируют как с зарубежными аналогами, так и друг с другом. Еще до возникновения острой необходимости в импортозамещении они занимали весомую долю отечественного рынка. Основными преимуществами отечественных САПР АД перед зарубежными аналогами яв-

ляются высокая адаптированность программных продуктов под российские нормативные требования и методы проектирования, а также поддержка и учет пожеланий пользователей².

В настоящее время вектор информационных технологий постепенно смещается из области проектирования объектов в область непосредственного управления строительством. Исследователи обозначают это направление как «информационный менеджмент в строительстве». По мнению специалистов, совершенствование взаимодействия этих областей должно быть направлено на повышение интероперабельности (совместимости) моделей, создаваемых в разных системах³. Опыт создания такой интегрированной среды в промышленном производстве продемонстрировал возможности совмещения этапов проектирования изделия и отдельных стадий технологического процесса его изготовления [7]. Метод основан на создании библиотеки параметрических моделей конструктивных элементов (деталей, изделий) и организации единого информационного пространства технологической подготовки производства [8, 9].

Исследования связанности параметров цифровых моделей объектов на стадиях жизненного цикла ведутся и в строительном производстве. В работах [10, 11, 12] рассмотрены вопросы развития интегрированной среды на базе информационных моделей, содержащих необходимую геометрическую, физическую и техническую информацию для реализации параметрического моделирования в строительстве. На базе этой информации предполагается формирование и пополнение базы знаний отраслевых экспертных систем для управления технологическими процессами, контролем качества работ и обеспечением безопасных условий на строительной площадке [13, 14, 15].

Крупные заказчики и подрядчики в разных строительных направлениях используют в своей деятельности отечественные и зарубежные программные продукты для управления производством на основе календарно-сетевое планирования: *Renga, Model Studio CS*, Адепт,

¹ ГОСТР ИСО 9001–2015. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 сентября 2015 г. № 1391-Система менеджмента качества.

² Дамир Ильясов. Информационное моделирование автомобильных дорог: российские решения и перспективы импортозамещения [Электронный ресурс]: <<https://bim-info.ru/articles/informatsionnoe-modelirovanie-avtomobilnykh-dorog-rossiyskie-resheniya-i-perspektivy-importozameshch/>> (дата обращения: 24.02.2025).

³ Олейников А.Я. Обеспечение интероперабельности информационных систем [Электронный ресурс]: <https://www.itweek.ru/upload/iblock/6c4/oleynikov.pdf> (дата обращения: 20.07.2025).

Spider, Plan-R, MS Project и др. В последние годы увеличилось количество исследований, связанных с применением ТИМ в дорожной отрасли [16, 17, 18]. Консалтинговая компания «Айбим» провела экспресс-обследование текущих процессов управления проектом при строительстве крупного промышленного объекта. В качестве инструмента управления сроками выбрали российское ПО *Plan R*. Для повышения качества и точности планирования, формирования корректных отчетов была разработана система на основе связанности цифровых моделей графиков на организационно-технологическом, функциональном и операционном уровнях, что соответствовало интегрированному графику на уровне генподрядчика, локальным графикам подрядных и субподрядных организаций, рабочим планам непосредственных исполнителей работ. Методологической основой планирования и актуализации графиков выступил практико-ориентированный подход. Каждому графику соответствовали определенные организационно-технологические решения в зависимости от степени детализации работ. На рисунке 1 представлена схема взаимосвязи графиков

при управлении экспериментальным объектом⁴.

Анализ взаимосвязи плановых графиков показал преимущества использования совместной унифицированной базы данных для оптимизации производственных процессов в масштабе строительного проекта на разных стадиях его жизненного цикла. В то же время выявились определенные сложности увязки графиков верхнего уровня с рабочими графиками производителей работ на строительной площадке. Причины несогласованности часто связаны с недостаточным учетом в технологических процессах структурных изменений производственных факторов: материально-технических, организационных, климатических. В интегрированном графике 3-го уровня (см. рисунок 1) план производства работ должен учитывать состав парка машин подрядной организации, т.е. уже на этом уровне должна выполняться привязка типовых технологических карт к производственным условиям. Далее на уровне исполнителей работ карты технологических процессов и рабочие графики 4-го уровня необходимо оперативно актуализировать с учетом реальных условий строительства.

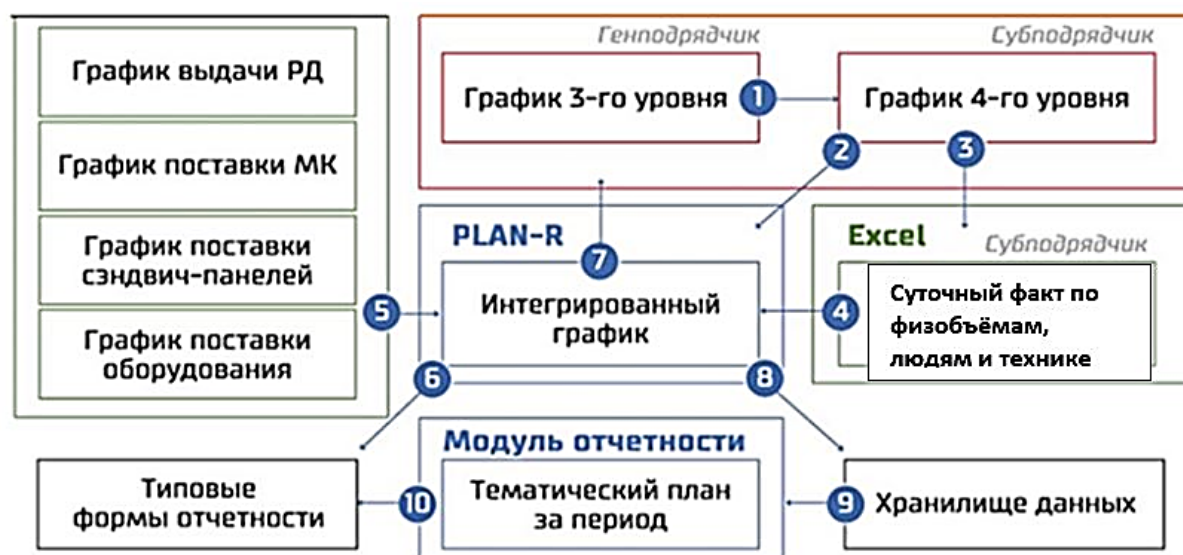


Рисунок 1 – Схема взаимосвязи цифровых моделей графиков в интегрированной среде⁴

Figure 1 – Scheme of relationship between digital models of graphs in an integrated environment⁴

⁴ Игорь Саенко. Внедрение Plan-R на строительстве крупного промышленного объекта. <https://bim-info.ru/projects/vnedrenie-plan-r-na-stroitelstve-kрупного-promyshlennogo-obekta/> Дата обращения 20.07.2025).

Указанные обстоятельства обусловили проведение исследований по применению современных информационных технологий для формирования технологических карт и нормирования трудовых процессов при строительстве зданий на основе пространственно-временного моделирования [19, 20]. В то же время при внедрении технологий информационного моделирования (ТИМ) в строительстве автомобильных дорог и других линейных объектов возникают трудности, незнакомые промышленному и гражданскому строительству. Уже на этапе проектирования большая протяженность, сильная зависимость от существующих условий местности, необходимость в точной географической привязке и сложная, изменяющаяся геометрия, делают привычные методы моделирования, пришедшие из промышленно-гражданского строительства, практически неприменимыми. Разработчик типовых технологических карт ОАО «ПКТИпромстрой»⁵ указывает, что «привязка технологической карты к конкретным объектам и местным условиям строительства заключается в уточнении объемов работ, средств механизации и потребности в материально-технических ресурсах, а также в уточнении схемы организации строительного процесса соответственно фактическим габаритам строящегося объекта, калькуляции и календарного плана производства работ». При выполнении в ручном режиме в полевых условиях эта работа является достаточно трудоемкой. Разработка моделей технологических процессов в дорожном строительстве и обеспечение их параметрической связи с конструктивными решениями в меняющейся природной и производственной среде являются актуальными научными задачами.

Сменные графики технологических процессов чаще всего отражаются в виде традиционных линейных схем на типовых технологических картах без необходимой детализации при корректировке для оперативного управления ходом работ и промежуточного контроля качества. Элементы новых информационных технологий пока слабо используются непосредственно в сфере производства дорожных работ из-за отсутствия необходимых инструментов и методик для их применения в ус-

ловиях строительной площадки. Пользу для управления производством могут принести только такие технологические карты, которые адекватно отражают реальные условия строительства: погодные факторы, реальную технику и её производительность, меняющиеся объемы работ по длине автомобильной дороги. Эти проблемы и актуальность применения ТИМ на стадии строительства определили цель данной статьи: разработать модель и алгоритм привязки параметров технологических карт в дорожном строительстве к реальным условиям производства для оперативного управления организационными и технологическими процессами с использованием ТИМ и компьютерных программ календарно-сетевого планирования.

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ

Базовая модель строительного технологического процесса (ТП) чаще всего строится в виде потоковой структуры в составе технологической карты (ТК). Модель включает элементы системы и связи между ними в виде выполняемых операций преобразования элементов из одного состояния в другое до получения конечного результата.

По аналогии с математической моделью параметрического моделирования зданий [21], но с учетом специфики объекта, модель технологического процесса сооружения элементов дорожной конструкции представим множеством компонентов этого процесса M_i :

$$M_i = \langle K.P.V_r.C.R.F_s.D \rangle, \quad (1)$$

где K – набор операций в составе ТП $\{k_1, \dots, k_n\}$; P – набор параметров (способов) выполнения операций $\{p_1, \dots, p_n\}$; V_r – набор параметров для выполнения операций определенным способом $\{V_{i1}, \dots, V_{in}\}$, где $V_i = \{v_{ri1}, \dots, v_{rin}\}$ – набор значений каждого r -го параметра; C – набор ограничений на значения $\{c_1, \dots, c_n\}$; R – набор требований, предъявляемых к ТП и его результату $\{r_1, \dots, r_n\}$; F_s – значения параметров внешней среды $\{F_1, \dots, F_n\}$, где $\{f_{s1}, \dots, f_{sn}\}$ – набор значений каждого параметра; D – интегральная функция предпочтения варианта ТП.

⁵ Технологическая карта на уплотнение грунта I-II группы самоходными катками 69-04 ТК / <https://meganorm.ru/Data2/1/4293854/4293854055.htm> (дата обращения: 20.07.2025).

В сложных технологических процессах могут рассматриваться варианты отдельных рабочих процессов (РП), входящих в состав ТП. Модель формулы применима и для описания РП входящего в структуру комплексного технологического процесса. В качестве примера на рисунке 2 изображена структурно-модульная схема рабочего процесса послойного уплотнения земляного полотна насыпи. Компоненты, представленные в блоках на рисунке 2, ис-

пользуют в качестве атрибутов для формирования вариантов математической модели рабочего процесса и создания его компьютерной версии. Включение дополнительных связей между рабочими процессами позволяет перейти к модели комплексно-технологического процесса, результатом которого является законченный конструктивный элемент сооружения (земляное полотно автомобильной дороги на определённом участке).



Рисунок 2 – Структурно-модульная схема рабочего процесса послойного уплотнения грунта в насыпи автомобильной дороги
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Structural and modular diagram of the working process of layer-by-layer soil compaction process in the road embankment
Source: compiled by the authors.

В технологической карте, как основной модели ТП в условиях строительной площадки, рассматривают производство работ в нескольких аспектах: функциональном, временном и пространственном. Разные программы управления проектами (*MS Project-Professional*, *plan-R* и др.) позволяют перейти к сменному

планированию процессов с любой длительностью смены и любой временной детализацией.

На рисунке 3 представлен алгоритм формирования обобщенной модели технологического процесса для линейного дорожного строительства с реализацией в программе календарно-сетевое планирования.

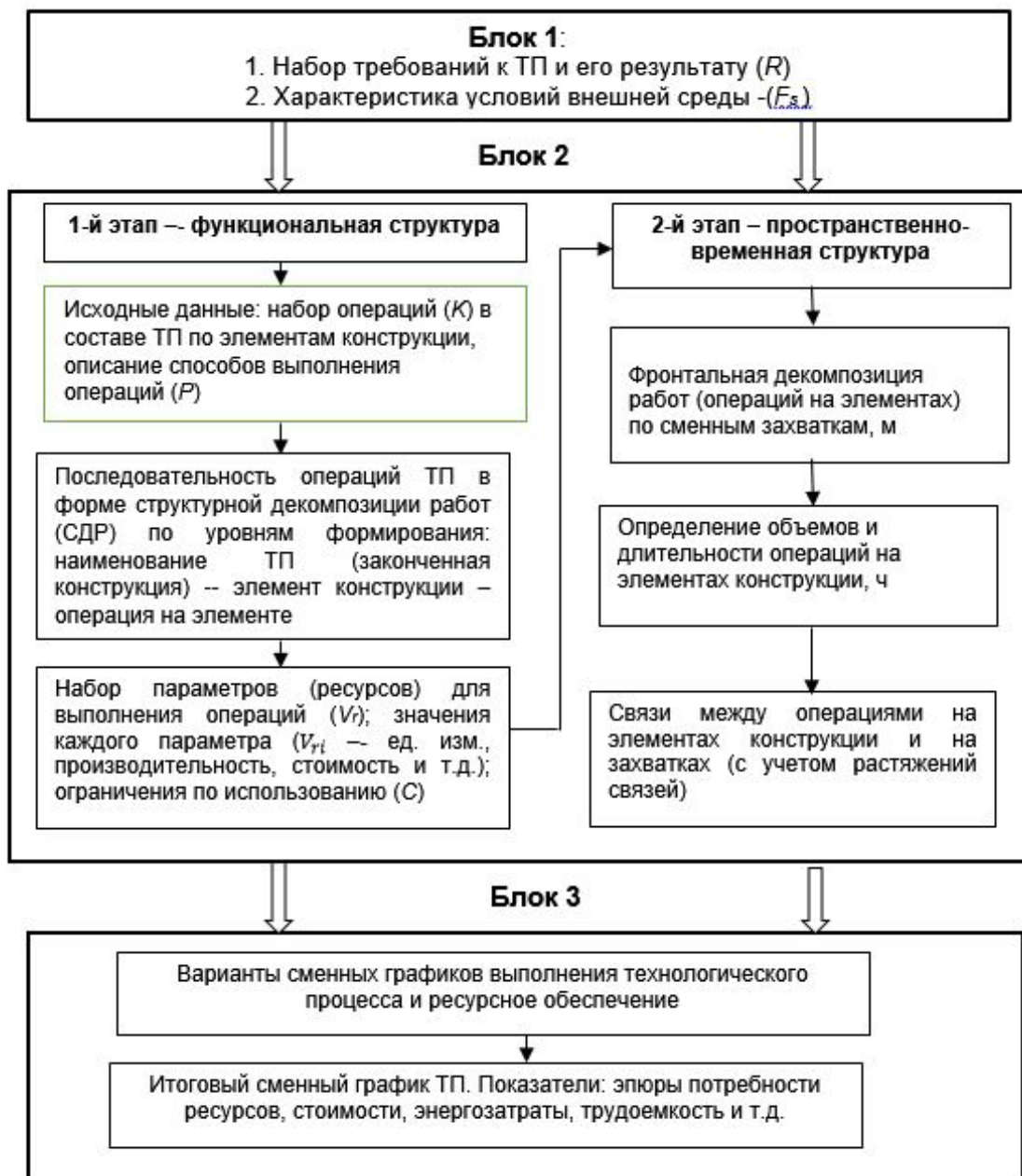


Рисунок 3 – Блок-схема формирования сменного графика ТП в среде календарно- сетевого планирования*
*Описания показателей: R , F_s , K , P , V_r , C приведены в модели ТП (формула 1)
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Flowchart of shift schedule generation of technological process in the calendar-network planning environment*
*Descriptions of the indicators: R , F_s , K , P , V_r , C are given in the technological process model (1-st formula)
Source: compiled by the authors.

В первом блоке модели формируют основные показатели в виде нормативных требований к рабочим процессам и операциям ТП, а также характеристики состояния окружающей среды в период производства работ. На схеме рабочего процесса (см. рисунок 2) эта атрибутивная информация представлена в отдельных блоках, входящих в структуру рабочего процесса. Информацию первого блока целесообразно структурировать в виде «базы данных» для использования при актуализации различных технологических карт в дорожном строительстве.

Во втором блоке показан порядок ввода информации для разработки сменного графика производства работ в соответствии с технологическим процессом. На первом этапе формируют состав операций в виде структурной декомпозиции работ (СДР) на нескольких уровнях. На 2-м этапе создают пространственную структуру модели с декомпозицией фронта работ на сменные участки (захватки), с установлением связей между работами, оценкой длительности операций при заданном ресурсном обеспечении. Итогом расчета модели в 3-м блоке является сменный график развернутого специализированного потока при выполнении рабочих процессов и операций в течение смены на захватках. В процессе информационного моделирования график корректируют с целью равномерной загрузки ресурсов в автоматическом режиме.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для демонстрации предложений по актуализации технологических карт в дорожном строительстве методами информационного моделирования в качестве исходной информации приняты ранее разработанные технологические планы потоков в составе типовых технологических карт. В качестве примера рассмотрен технологический процесс возведения насыпи земляного полотна автомобильной дороги высотой до 1,5 м при разработке грунта II группы в карьере экскаваторами типа ЭО-4225 с вместимостью ковша 1,25 м³ и транспортировкой автомобилями-самосвалами. Календарный график 3-го уровня (см. рисунок 1) разработан на основе типовой технологической карты⁶ (карта № 3) в среде автоматизированного проектирования *MS Project*. Продолжительность смены 8 ч, сменная захватка

при возведении насыпи – 200 м. Длина потока 1 км. Заключительные планировочные работы (верха земляного полотна и откосов) выполняют с организационным разрывом и длиной захватки 800 м. Эти работы не включены в пример. Сменный почасовой график в форме диаграммы Ганта (*MS Project*), отображающий технологию по типовой карте представлен на рисунке 4. СДР включает три уровня: суммарную задачу проекта (наименование карты); фронт работ – номер захватки; перечень операций на захватке.

Реальные условия производства работ по возведению насыпи данной конструкции требуют определенной привязки типовой технологической карты. В суточный график производства работ внесены изменения. Длительность рабочей смены вахтовым методом в северных условиях составила 10 ч. Длина захватки с учетом продолжительности смены принята 250 м. Для послойного уплотнения земляного полотна принят каток ДУ-29 (вместо катка ДУ 101 по типовой карте). Исключена операция увлажнения грунта, так как грунт имеет оптимальную влажность. Количество проходов катка определялось на основе пробного уплотнения. Работы выполняют на 5 сменных захватках, длина фронта работ 1,25 км.

В цифровую модель графика включены точки контроля и приемки работ в течение смены (вехи). На основе составленного суточного графика автоматически в программе рассчитываются все плановые показатели: почасовые эпюры всех видов ресурсов, плановые стоимости работ. Установленные связи между операциями и переходы машин для рациональной загрузки на захватках позволяют эффективно использовать ресурсы, оптимизировать состав отряда и сменную захватку при изменении плановых объемов работ по длине дороги. Рабочая технологическая карта с привязкой параметров к условиям реального строительного участка разработана в программе *MS Project* и представлена на рисунке 5. В примере набор корректируемых параметров типового графика ограничен для лучшего восприятия внесенных изменений.

Сменные графики (см. рисунок 4 и 5) отображают работу развернутого специализированного потока по строительству земляного полотна.

⁶ 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 РОСАВТОДОР. М., 2004. 357 с.

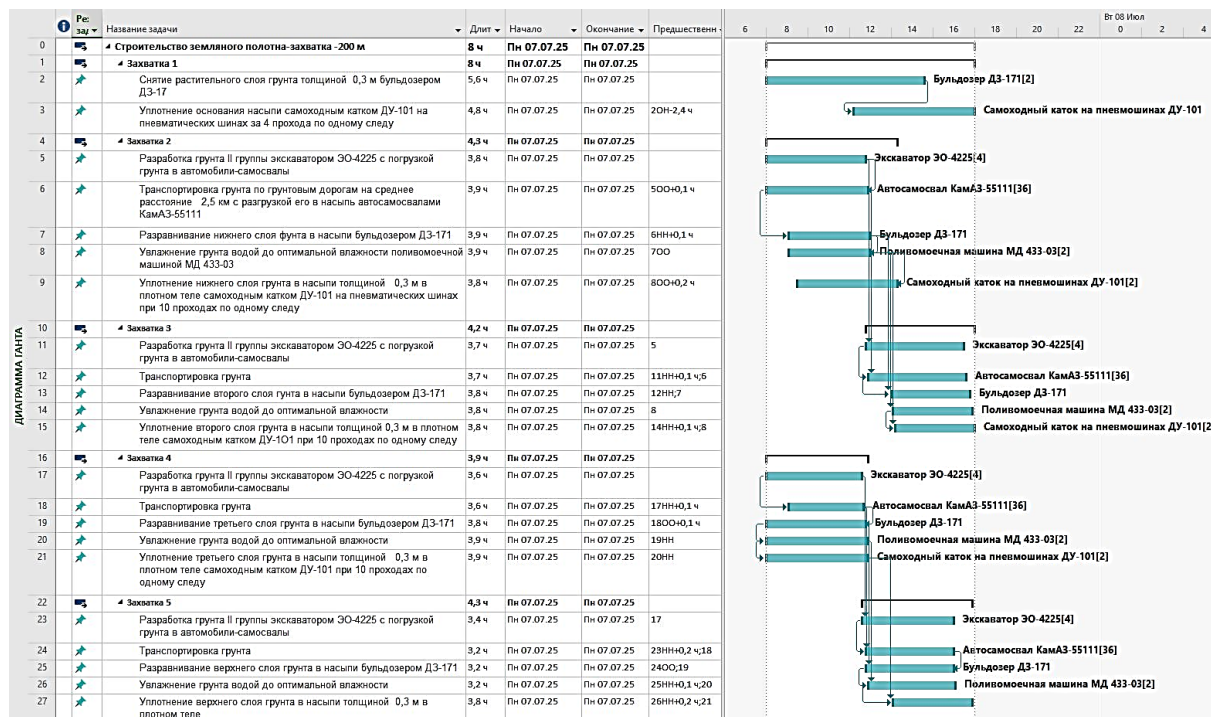


Рисунок 4 – Расчет сменного графика строительства земляного полотна в программе MS Project по типовой технологической карте (захватка 200 м)
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Calculation of the shift schedule for the roadbed construction in the “MS Project” program according to a typical process chart (200 m coverage)
Source: compiled by the authors.

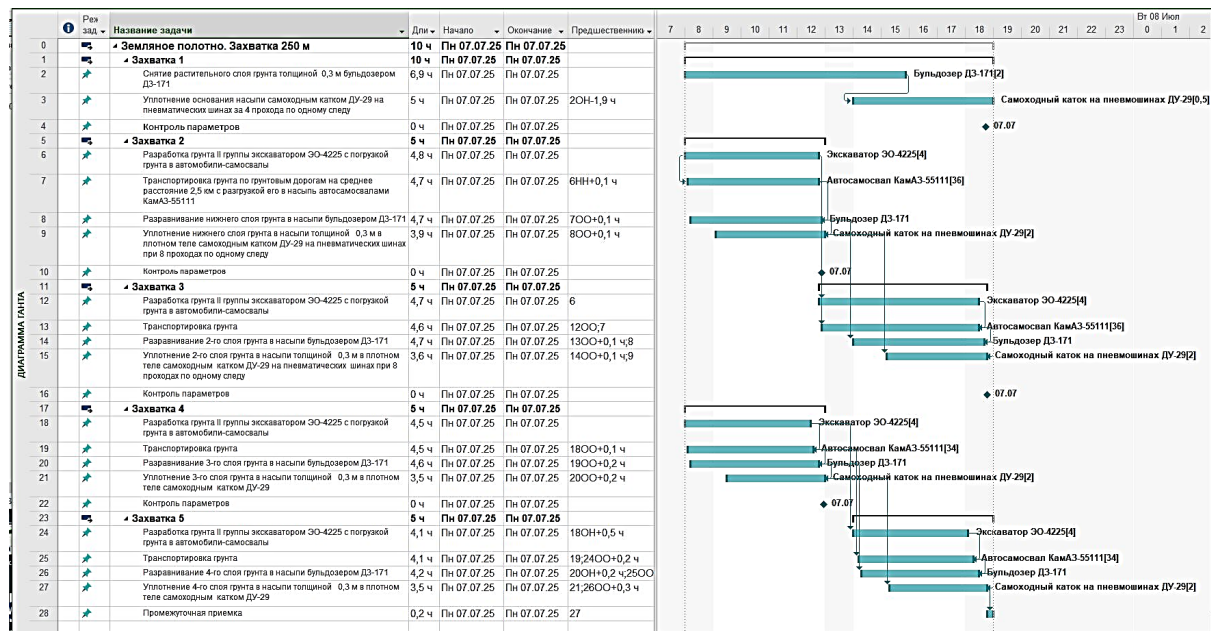


Рисунок 5 – Расчет сменного графика строительства земляного полотна в программе MS Project с привязкой параметров технологической карты к реальным условиям производства работ (захватка 250 м)
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Calculation of the shift schedule for the roadbed construction in the “MS Project” program with the link of the electronic process chart parameters to the real work conditions (250 m coverage)
Source: compiled by the authors.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный способ актуализации технологических процессов в дорожном строительстве в производственных условиях с использованием методов информационного моделирования позволяет при оперативном планировании учесть состояние и виды используемых машин, свойства материалов, климатические факторы, реальные сроки доставки материальных ресурсов, меняющиеся объемы работ по длине линейного объекта. Наличие информационной модели позволяет также добиться рациональной загрузки машин, оптимизации сменной захватки, планирования сроков промежуточного контроля и приемки работ в течение рабочей смены. Применение электронных ТК повышает точность и оперативность текущего планирования, обеспечивает актуальной информацией производителей работ.

Дальнейшее развитие методов информационного моделирования на всех уровнях управления дорожным строительством предполагает создание интегрированной библиотеки конструктивных элементов дорог, материальных и технических ресурсов, ведение «банка данных» о моделях технологических процессов, а также «базы знаний» о построенных объектах в разных природных условиях. Особого внимания заслуживает применение ТИМ для разработки новых ТК и оптимизации инновационных технологических процессов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Семенова Д.М. Управление проектами в рамках концепции устойчивого развития: вызовы и проблемы // Вестник проектного управления. 2025. Т. 1, № 1. С. 54–61.
2. Baghzadeh Shishehgharkhaneh M., Keivani A., Moehler R.C., et al. Internet of Things (IoT), Building Information Modeling (BIM), and Digital Twin (DT) in Construction Industry: A Review, Bibliometric, and Network Analysis. *Buildings*. 2022. 12 (10): 1503. DOI: 10.3390/buildings12101503 EDN: XQAACS
3. 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
4. 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
5. 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
6. Pentury Ch., Karsaman R. H., Rahman H., Rosmansyah Yu. Application of digitalization and computerization technology in road construction // *Automation in Construction*. 2025. Vol. 171. P. 106018. DOI 10.1016/j.autcon.2025.106018. EDN PGMDTV
7. Куликов Д.Д., Яблочников Е.И., Чукичев А.В., Абышев О.А. Методика формирования параметрических моделей деталей для автоматизированного проектирования технологических процессов // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2023. Т. 66, № 2. С. 155–161. DOI: 10.17586/0021-3454-2023-66-2-155-161
8. Баговрин В.К., Гуляев Ю.В., Олейников А.Я. Обеспечение интероперабельности – основная тенденция в развитии открытых систем // *Информационные технологии и вычислительные системы*. 2009. № 5. С. 7–15.
9. Яблочников Е.И. Организация единого информационного пространства технической подготовки производства с использованием PDM SmarTeam // *Информационные технологии в проектировании и производстве*. 2001. № 3. С. 22–29.
10. Khodabandelu A., Park J. W. Agent-based modeling and simulation in construction // *Automation in Construction*. 2021. Vol. 131. P. 103882. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103882
11. Tripathi A., Dadi G.B., Nasserredine H., et al. Assessing Technology Implementation Success for Highway Construction and Asset Management. *Sensors* 2023. Vol. 23 (7): 3671. DOI: 10.3390/s23073671 EDN: PYKIOE
12. Пучков М.В., Бутенко А.А. Параметрическое моделирование архитектурно пространственной среды города на основе информационных технологий // *Архитектон: Известия вузов*. 2015. № 49. ISSN 1990-4126 <https://archvuz.ru/files/N49pp73-82Putchkov&Butenko.pdf>
13. Doukari O., Greenwood D. Automatic generation of building information models from digitized plans // *Automation in Construction*. 2020. Vol. 113. P. 103129. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103129
14. Lu Y., Gong P., Tang Y. [et al.] BIM-integrated construction safety risk assessment at the design stage of building projects // *Automation in Construction*. 2021. Vol. 124. P. 103553. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103553
15. Ogunrinde O., Nnaji C., Amirkhanian A. Developing Automation Adoption Readiness Index for Quality Management Focused on Highway Construction. *Journal of Infrastructure Systems*. 2021. Vol. 27 (1). DOI: 10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000595. EDN: SDZBFL
16. Razyapov R.V. Application of AR technologies in the building industry // *AIP Conference Proceedings*. 2022. Vol. 2559. No 04001. <https://doi.org/10.1063/5.0100069>
17. Perkinson C.L., Bayraktar M.E., Ahmad I. The use of computing technology in highway construction as a total jobsite management tool. *Automation in Construction*. 2010. Vol. 19 (7). Pp. 884–897. DOI: 10.1016/j.autcon.2010.06.002.

18. Черняго А.Б. Технология реализации интеллектуального поиска данных в проектной документации автомобильной дороги на этапе строительства // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2022. № 7(63). С. 86–91. DOI: 10.17084/20764359-2022-63-86. EDN SDFYMG

19. Синенко С.А. Применение современных информационных технологий для формирования технологических карт выполнения строительных процессов // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). 2015. № 5 (14). С. 149–151.

20. Bobrova T.V., Panchenko P.M. Technical Normalization of Working Processes in Construction Based on Spatial-Temporal Modeling // Magazine of Civil Engineering. 2017. № 08 (76). С.84-97. DOI: 10.18720/MCE.76.8

21. Барабаш М.С., Киевская Е.И. Принципы параметрического моделирования строительных объектов // Современное строительство и архитектура. 2016. № 1 (01) DOI: 10.18454/mca.2016.01.4

REFERENCES

1. Semenova D.M. Upravlenie proektami v ramkah koncepcii ustojchivogo razvitiya: vyzovy i problem. *Vestnik proektnogo upravleniya*. 2025; 1. S. 54-61. (In Russ.).

2. Baghalzadeh Shishehgarkhaneh M., Keivani A., Moehler R.C., et al. 2022. Internet of Things (IoT), Building Information Modeling (BIM), and Digital Twin (DT) in Construction Industry: A Review, Bibliometric, and Network Analysis. *Buildings*. 2022; 12 (10): 1503. DOI: 10.3390/buildings12101503. EDN: XQAACS

3. Vozgoment N.V. Sovremennye vyzovy i perspektivy razvitiya BIM modelirovaniya v Rossii v jepohu cifrovizacii. *E-Management*. 2020; 3(3): 20–27 p. (In Russ.). DOI 10.26425/2658- 3445-2020-3-3-20-27

4. Sarychev D.S. Informacionnoe modelirovanie pri razrabotke proektnoj i rabochej dokumentacii. *SAPR i GIS avtomobil'nyh dorog*. 2015; 2(5): 20–24. (In Russ.). DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.3.

5. Skvorcov A.V. Obshhaja sreda dannyh kak kljuchevoj jelement informacionnogo modelirovaniya avtomobil'nyh dorog. *SAPR i GIS avtomobil'nyh dorog*. 2015; 2(5): 37–41. (In Russ.). DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.6

6. Pentury Ch., Karsaman R. H., Rahman H., Rosmansyah Yu. Application of digitalization and computerization technology in road construction. *Automation in Construction*. 2025; 171: 106018. DOI 10.1016/j.autcon.2025.106018. EDN PGMDTV

7. Kulikov D.D., Jablochnikov E. I., Chukichev A.V., Abyshov O.A. Metodika formirovaniya parametricheskikh modelej detalej dlja avtomatizirovannogo proektirovaniya tehnologicheskikh processov. *Izv. vuzov. Priborostroenie*. 2023; 66 (2): 155–161 (In Russ.). DOI: 10.17586/0021-3454-2023-66-2-155-161

8. Bagovrin V.K., Guljaev Ju. V., Olejnikov A. Ja. Obespechenie interoperabel'nosti — osnovnaja tendencija v razvitiij otkrytyh system. *Informacionnye tehnologii i vychislitel'nye sistemy*. 2009; 5: 7-15. (In Russ.).

9. Jablochnikov E.I. Organizacija edinogo informacionnogo prostranstva tehnichekoj podgotovki proizvodstva s ispol'zovaniem PDM SmarTeam. *Informacionnye tehnologii v proektirovanii i proizvodstve*. 2001; 3: 22–29. (In Russ.).

10. 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

11. Tripathi A., Dadi G.B., Nassereddine H., et al. Assessing Technology Implementation Success for Highway Construction and Asset Management. *Sensors*. 2023; 23 (7): 3671. DOI: 10.3390/s23073671. EDN: PYKIOE

12. Puchkov M.V., Butenko A.A. Parametricheskoe modelirovanie arhitekturno prostranstvennoj sredy goroda na osnove informacionnyh tehnologij. *Arhitekton: Izvestija vuzov*. 2015; 49. ISSN 1990-4126 (In Russ.). <https://archvuz.ru/files/N49pp73-82Puchkov&Butenko.pdf>

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

14. Lu Y., Gong P., Tang Y. [et al.] BIM-integrated construction safety risk assessment at the design stage of building projects. *Automation in Construction*. 2021; 124: P. 103553. DOI 10.1016/j.autcon.2021.103553.

15. Ogunrinde O., Nnaji C., Amirkhanian A. Developing Automation Adoption Readiness Index for Quality Management Focused on Highway Construction. *Journal of Infrastructure Systems*. 2021; 27 (1). DOI: 10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000595. E DN: SDZBFL

16. Razyapov R.V. Application of AR technologies in the building industry. *AIP Conference Proceedings*. 2022; 2559. No 04001. <https://DOI.org/10.1063/5.0100069>.

17. Perkinson C.L., Bayraktar M.E., Ahmad I. The use of computing technology in highway construction as a total jobsite management tool. *Automation in Construction*. 2010; 19 (7): 884–897. DOI: 10.1016/j.autcon.2010.06.002

18. Chernjago A.B. Tehnologija realizacii intelektual'nogo poiska dannyh v proektnoj dokumentacii avtomobil'noj dorogi na jetape stroitel'stva. *Uchenye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta*. 2022; 7(63): 86-91. (In Russ.). DOI 10.17084/20764359-2022-63-86. EDN SDFYMG

19. Sinenko S.A. Primenenie sovremennyh informacionnyh tehnologij dlja formirovaniya tehnologicheskikh kart vypolneniya stroitel'nyh processov. *Evrasijskij Sojuz Uchenyh (ESU)*. 2015; 5 (14): 149-151. (In Russ.).

20. Bobrova T.V. Technical Normalization of Working Processes in Construction Based on Spatial-Temporal Modeling. *Magazine of Civil Engineering*. 2017; 08 (76): 84-97. DOI: 10.18720/MCE.76.8

21. Barabash M.S., Kievskaja E.I. The principles of parametric modeling of construction projects. *Sovremennoe stroitel'stvo i arhitektura*. 2016; 1 (01): 16-22. (In Russ.). DOI: 10.18454/mca.2016.01.4

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Боброва Т.В. Анализ научной и нормативно-правовой литературы по изучаемой проблеме, формулирование цели и поставленных задач, разработка модели и алгоритмов реализации строительных технологий в компьютерной среде календарно-сетевого планирования; выполнение экспериментальных расчетов ЭТК с использованием информационного моделирования.

Уткин В.А. Подбор источников по исследуемой тематике, формирование общих подходов к проведению исследования, контроль корректности используемой терминологии и полученных результатов, выполнение и анализ экспериментальных расчетов.

COAUTHORS' CONTRIBUTIONS

Bobrova Tatyana V. Analysis of scientific and regulatory literature on the problem under study, formulation of the goal and objectives, development of the model and algorithms for implementing construction technologies in a computerized calendar-network planning environment, experimental calculations of the electronic process charts with the use of information modeling.

Utkin Vladimir A. Selection of scientific literature sources on the research theme, development of the common approach to the study, verification of the used terminology correctness and the obtained results, execution and analysis of the experimental calculations.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Боброва Татьяна Викторовна – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры «Проектное управление и информационное моделирование в строительстве» Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ) (644050, г. Омск, пр. Мира, 5).

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0292-4421>,

SPIN-код: 8670-8576,

Author ID: 57201362187,

Researcher ID: Y-3916-2018,

Author ID: 505056,

e-mail: bobrova.tv@gmail.com

Уткин Владимир Александрович – д-р техн. наук, доц. кафедры «Мосты и транспортные тоннели» Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ) (644050, г. Омск, пр. Мира, 5).

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2044-3242>,

SPIN-код: 4216-7640,

Researcher ID: AAS-8400-2022

Author ID: 119185,

e-mail: prof.utkin@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bobrova Tatyana V. – Doctor of Technical Sciences (Engineering), Professor, Project Management and Information Modeling in Construction Department, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (5, Prospect Mira, Omsk, 644050).

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0292-4421>,

SPIN-code: 8670-8576,

Author ID: 57201362187,

Researcher ID: Y-3916-2018,

Author ID: 505056,

e-mail: bobrova.tv@gmail.com

Utkin Vladimir A. – Doctor of Engineering Sciences (Engineering), Associate Professor, Bridges and Transport Tunnels Department, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (5, Prospect Mira, Omsk, 644050).

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2044-3242>,

SPIN-code: 4216-7640,

Researcher ID: AAS-8400-2022,

Author ID: 119185,

e-mail: prof.utkin@mail.ru