

Алгоритмизация систем планирования, управления и обработки информации в строительстве

Илья Леонидович КИЕВСКИЙ^{1,2}, доктор технических наук, генеральный директор, профессор (НИУ МГСУ), mail@dev-city.ru

Сергей Владимирович АРГУНОВ¹, кандидат технических наук, первый зам. генерального директора, s.argunov@dev-city.ru

Ярослав Владимирович ЖАРОВ^{1,2}, кандидат технических наук, руководитель отдела планирования и организации строительства, доцент (НИУ МГСУ), y.zharov@devcity-project.ru

Алексей Юрьевич ЮРГАЙТИС¹, кандидат технических наук, главный специалист отдела планирования и организации строительства, a.yurgaitis@devcity-project.ru

¹ Научно-проектный центр «Развитие города», 129090 Москва, просп. Мира, 19, стр. 3

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337 Москва, Ярославское ш., 26

Аннотация. Рассмотрена состоящая из нескольких этапов методика календарно-сетевого планирования, которая основана на предварительном расчете степени отклонения прогнозных сроков выполнения строительно-монтажных работ и последующем прогнозировании по тренду функции отклонения для стабилизации системы планирования на объекте, соблюдения контрольных вех и сроков реализации проекта в целом. Приведено описание и графики принципиальных этапов данной методики, выполняемых оператором планирования застройщика (технического заказчика). Методика была апробирована на пилотном объекте программы реновации в Москве и затем интегрирована в комплексную систему управления проектами программы реновации с применением технологий информационного моделирования (строительная информационная модель объекта капитального строительства, цифровая среда общих данных, цифровая ведомость объемов работ и прочих элементов). Цель исследования – формирование принципов совершенствования классических методов календарного планирования с учетом статистически обоснованных инструментов планирования, прогнозирования, а также современных возможностей автоматизации и цифровизации исходя из уровня техники и соответствующего программного обеспечения отечественных вендоров для строительного комплекса. В результате разработан математический аппарат, на котором базируются положения методики, концепция визуализации календарных моделей и принципиальная система принятия решения в зависимости от граничных условий значимых организационно-технологических показателей управления строительным проектом.

Ключевые слова: системы планирования, управления и обработки информации, цифровизация, технологии информационного моделирования, планирование и управление проектами, автоматизация, календарно-сетевое планирование, прогнозирование, моделирование в строительстве

Для цитирования: Киевский И. Л., Аргунов С. В., Жаров Я. В., Юргайтис А. Ю. Алгоритмизация систем планирования, управления и обработки информации в строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 11. С. 14–24. doi: 10.33622/0869-7019.2022.11.14-24

ALGORITHMIZATION OF PLANNING, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING SYSTEMS IN CONSTRUCTION

Il'ya L. KIEVSKIY^{1,2}, mail@dev-city.ru

Sergey V. ARGUNOV¹, s.argunov@dev-city.ru

Jaroslav V. ZHAROV^{1,2}, y.zharov@devcity-project.ru

Alexey Yu. YURGAITIS¹, a.yurgaitis@devcity-project.ru

¹ Scientific Design Center "City Development", Prospekt Mira, 19, str. 3, Moscow 129090, Russian Federation

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation

Abstract. A method of calendar-network planning consisting of several stages is considered, which is based on a preliminary calculation of the degree of deviation of the forecast terms for the implementation of construction and installation works and subsequent forecasting of the deviation function along the trend to stabilize the planning system at the facility, compliance with milestones and the timing of the project as a whole. The text and graphic description of the principal stages of this technique performed by the planning operator of the Developer (Technical Customer) is given. The methodology was tested at the pilot facility of the renovation program in Moscow and then integrated into

the complex project management system of the renovation program using information modeling technologies (construction information model of the capital construction facility, digital environment of general data, digital statement of work volumes and other elements). The purpose of the study is to form the principles for improving the classical calendar planning methods, taking into account statistically sound planning and forecasting tools and also modern automation and digitalization capabilities from the current state of the art and the corresponding software of domestic vendors for the construction complex. As a result, a mathematical apparatus has been developed on which the basic techniques, the concept of visualization of calendar models and a fundamental decision-making system depending on the boundary conditions of significant organizational and technological indicators of construction project management are based.

Keywords: planning system, information management and processing, digitalization, information modeling technologies, project planning and management, automation, calendar and network planning, forecasting, modeling in construction

For citation: Kievskiy I. L., Argunov S. V., Zharov J. V., Yurgaitis A. Yu. Algorithmization of Planning, Management and Information Processing Systems in Construction. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2022, no. 11, pp. 14–24. (In Russ.). doi: 10.33622/0869-7019.2022.11.14-24

Введение

Планирование как основная функция комплексной системы управления представляет собой важнейший аспект реализации строительного проекта и, следовательно, инструмент рационализации внутрифирменной деятельности строительного предприятия или организации. С помощью планирования обеспечивается учет оборачиваемых средств, ресурсоемкости по объектам производственных программ [1–4]. С позиций управления проектами функции планирования и прогнозирования традиционно формализовались через методики и методологии календарно-сетового планирования (КСП) видов строительного-монтажных работ с учетом различного оптимизационного аппарата (целевые функции и соответствующие ограничения).

Логическими и математически постановками задачи ресурсной или временной оптимизации инструментами КСП занимается значительное число ученых. При этом на данном уровне развития цифровых технологий, при мощном законодательном импульсе к массовому внедрению технологий информационного моделирования (ТИМ) в строительный комплекс научно-методологическое обеспечение эффективного календарно-сетового планирования выходит на новые позиции. В рамках цифровых информацион-

ных моделей рассматриваются синергетические формы управления, позволяющие увязать различных участников инвестиционно-строительного проекта и обеспечить контролирующие структуры необходимой информацией по значимым организационно-технологическим показателям для своевременного принятия управленческих решений [5–8].

Подобные методики в качестве генеральной цели формулируют значительное повышение надежности плановой системы при массиве существующих дестабилизирующих факторов различной природы и снижение рисков срыва сроков ввода объектов капитального строительства. Таким образом, цифровизация организационно-технологических процессов в ходе массового внедрения ТИМ на всех этапах жизненного цикла строительного проекта создала внушительные предпосылки для развития методологии календарно-сетового планирования как основного инструмента контроля сроков и объемов выполненных работ по проекту [4–15].

Авторская методика, рассматриваемая в данной статье, агрегирует основные существующие принципы планирования и прогнозирования сроков [15–23] на основании разработанного математического аппарата и обеспечивает оперативный контроль

производства с перспективой внедрения в комплексные системы управления. Целью исследования стало формирование принципов совершенствования классических методов календарного планирования с использованием обоснованных инструментов планирования и прогнозирования, а также современных возможностей автоматизации и цифровизации с учетом текущего уровня техники и соответствующего программного обеспечения отечественных вендоров для строительного комплекса.

Описание методики календарно-сетового планирования

Методику предлагается реализовывать этапами. Каждый этап соответствует последовательному преобразованию типа разрабатываемой календарной модели, а именно: пребазовый и базовый планы, прогнозная календарная или оперативная календарная модель, сводная аналитическая модель (рис. 1, 2).

На первом этапе реализации методики застройщиком (техническим заказчиком) до начала строительства формируется предварительная укрупненная модель (пребазовый план) на основании укрупненных директивных сроков, соответствующих утвержденным проектам планировки территории (ППТ) города и комплексной модели реновации. Модель

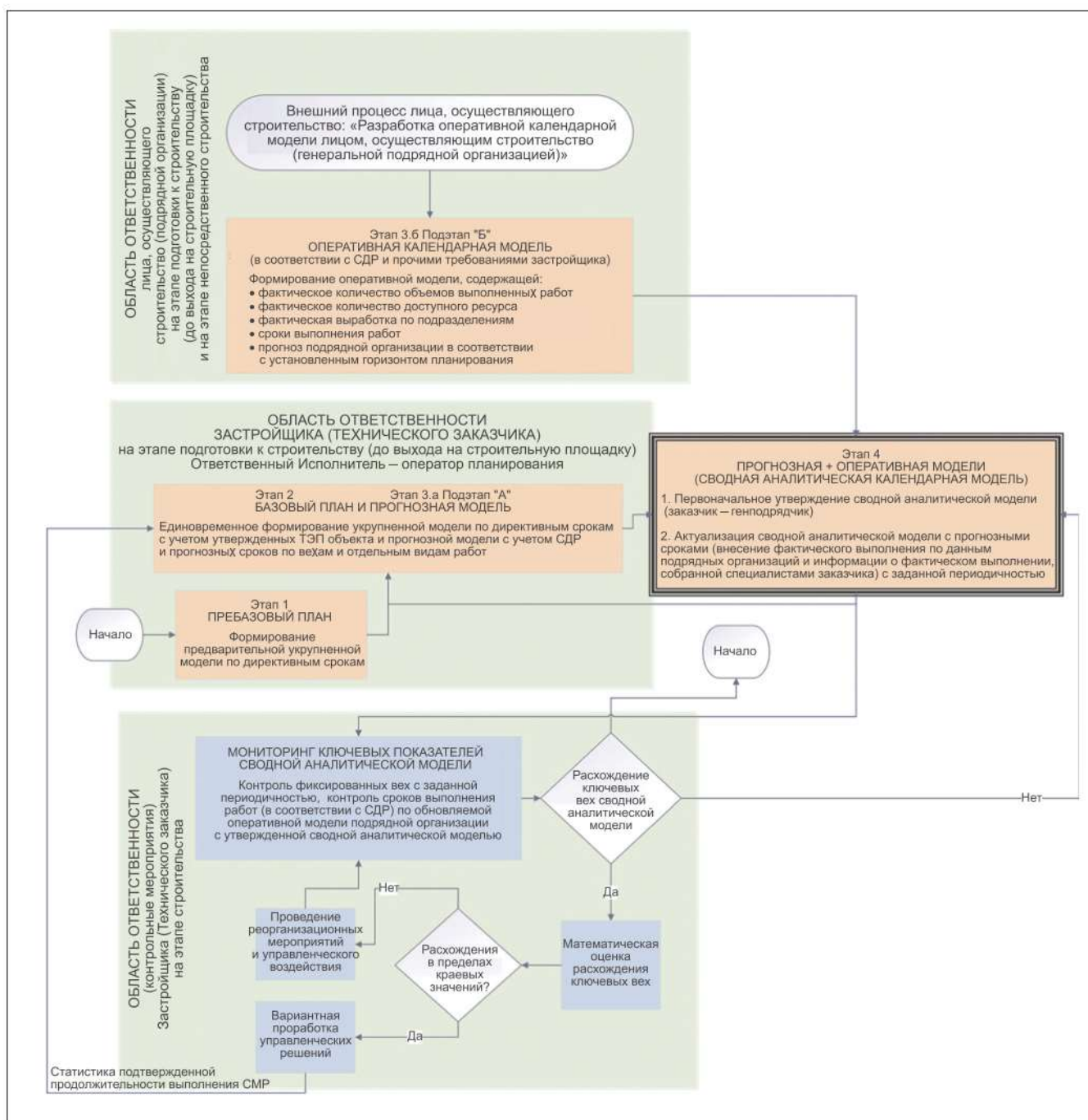


Рис. 1. Схема этапов методики календарно-сетевое планирования с учетом внедрения технологий информационного моделирования

носит концептуальный характер и содержит принципиальные сведения об объекте исходя из максимальной плотности застройки по ППТ, информацию о дате начала и окончания проекта без какой-либо подробной детализации.

На *втором этапе* реализации методики оператором планиро-

вания застройщика (технического заказчика) пребазовый план может быть уточнен по утвержденной по результатам государственной экспертизы проектно-сметной документации с учетом действительных технико-экономических показателей конкретного объекта (формируется базовый план).

На *третьем этапе (подэтап «А»)* реализации методики становится возможной декомпозиция базового плана с учетом соответствующей структуры декомпозиции работ (СДР) в разрабатываемой документации стадии «Рабочая документация» и содержащихся в ней ведомостей объемов работ для формирова-

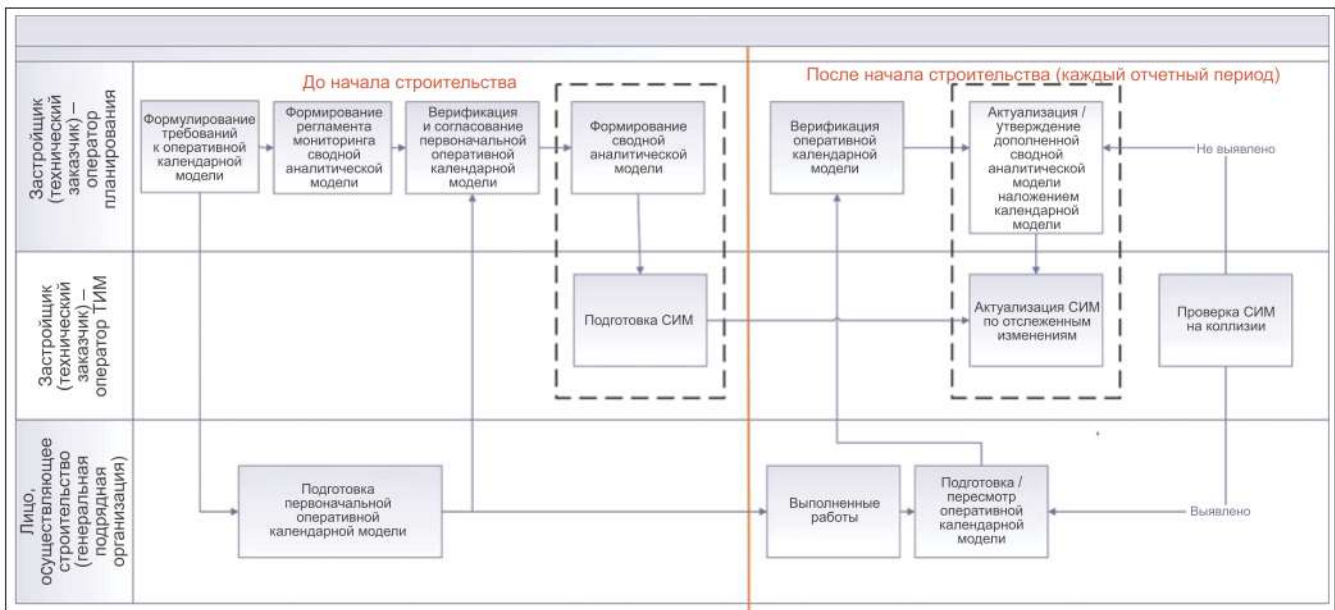


Рис. 2. Схема шагов реализации инструкции «Календарно-сетевое планирование, включая план-фактный анализ», предусматривающей внедрение технологий информационного моделирования. Строительно-информационная модель – СИМ

ния прогнозной календарной модели. Прогнозные сроки выполнения отдельных видов работ (в соответствии с СДР), контрольных вех в прогнозной календарной модели устанавливаются оператором планирования застройщика (технического заказчика) на основании экспертных методов, технического нормирования по утвержденным сборникам или из эмпирического опыта реализации объектов-аналогов по статистическим данным выработки производственных подразделений конкретных подрядных организаций (при наличии таких эмпирических сведений).

На *третьем этапе (подэтап «Б»)* реализации методики лицо, осуществляющее строительство, или подрядная организация в ходе оперативного планирования собственной производственной деятельности на объекте формирует оперативную календарную модель. Первоначальная оперативная календарная модель, разработанная до начала строительства и содержащая расчетные сроки выполнения всех видов работ подрядной организацией,

подлежит согласованию с застройщиком (техническим заказчиком) в составе сводной аналитической модели на следующем этапе реализации методики и должна быть идентичной прогнозной модели в части структуры работ и совпадения контрольных вех, закрепленных на более ранних стадиях планирования. В ходе функционирования методики календарно- сетевого планирования (в процессе строительства) оперативная модель подлежит регулярной актуализации с учетом фактически выполненных объемов работ и гармонизации прогнозных сроков с динамикой действительной выработки производственных подразделений на основании имеющейся статистики выполнения.

На *четвертом этапе* реализации методики формируется сводная аналитическая календарная модель, обеспечивающая контрольные функции застройщика (технического заказчика) за соответствием сроков выполнения отдельных видов работ, за соблюдением контрольных вех по проекту и сроков реализации

проекта в целом. Данная модель — центральный элемент описываемой методики календарно- сетевого планирования. Кроме того, она динамически обновляется за счет регулярного наложения на прогнозную модель застройщика (технического заказчика) оперативной календарной модели подрядной организации, содержащей сведения о фактическом выполнении на конец установленного отчетного периода. На данном этапе методики также реализуется динамический итерационный этап сопоставления прогнозной и оперативной моделей. Он связан с отслеживанием расхода ключевых вех и последующим сбором статистических данных, т. е. оператор планирования застройщика (технического заказчика) осуществляет контроль ключевых организационно-технологических и производственных показателей посредством мониторинга сводной аналитической календарно- сетевой модели (при очередном наложении оперативной модели на прогнозную модель).

В составе динамически изме-

1. Описание типовых трендов отклонения прогнозных сроков по результатам мониторинга в течение трех отчетных периодов (качественное описание)

| Качественная характеристика типового случая отклонения прогнозных сроков по отдельным видам работ, вехам и проекту в целом (характеристика тренда) | Принцип определения относительно предыдущего стандартного периода мониторинга | Взаимосвязь тренда и оценки отклонения прогнозных сроков |
|--|---|---|
| Положительный тренд | Обновленный прогноз по срезу нескольких отчетных периодов, достаточных для определения тренда, сравнивается с предыдущим трендом (рекомендуется три отчетных периода для формирования тренда) | Свидетельствует об интенсификации выработки относительно предыдущего отчетного периода. Допускается на начальных этапах формулировать положительный тренд для случаев превышения фактической выработки плановых показателей |
| Нейтральный тренд | | Свидетельствует о соответствии выработки текущего отчетного периода показателям либо предыдущих отчетных периодов, либо плановым показателям выработки (для начальных этапов СМР) |
| Отрицательный тренд | | Свидетельствует о снижении уровня производительности труда относительно утвержденной прогнозной календарной модели (факт отставания в качестве следствия и наращивания отклонений от прогнозных сроков) |

няемой сводной аналитической модели оператору планирования необходимо проанализировать степень отклонения прогнозных сроков выполнения отдельных видов работ и по объекту в целом согласно динамике текущего выполнения по оперативной модели. Текущие данные по фактическому выполнению из оперативной календарной модели используются оператором планирования застройщика (технического заказчика) для корректировки прогнозных сроков выполнения отдельных видов работ, контрольных вех и завершения объекта в целом в соответствии с выявленной динамикой изменения производительности подразделений подрядной организации, а также экспертных методов.

Одним из основных ключевых показателей, отражаемых на аналитической панели отслеживания в среде общих данных, будут прогнозные сроки выполнения отдельных видов работ, контрольных вех и по объекту в целом для перманентного отслеживания застройщиком (техническим заказчиком) и оперативного принятия управленческих решений в случае выявления дестаби-

лизации процессов. Расчет степени отклонения прогнозных сроков в сводной аналитической календарной модели осуществляется в течение заданного количества отчетных периодов.

Методика предусматривает возможность стабилизации календарной модели в последующие отчетные периоды в результате различных организационно-технологических мероприятий подрядной организации (например привлечение дополнительных средств механизации для интенсификации рабочих процессов). Однако число таких контрольных (отчетных) срезов должно быть конечно (принимается на усмотрение технического заказчика). Иными словами, в течение установленного количества отчетных периодов производится расчет степени отклонения прогнозных сроков по отдельным работам и вехам, а также прогнозирование сроков наступления контрольных вех сводной аналитической календарно-сетевой модели. Мониторинг ключевых показателей по сводной аналитической календарной модели (план-фактный анализ) продолжается до окончания работ по

проекту, после чего сведения о фактической выработке производственных подразделений подрядной организации сохраняются в виде матричного массива данных с последующим экспортом (после утверждения и исключения непроектных отклонений) в базу данных заказчика в качестве источника для разработки прогнозной модели и последующего технического нормирования на объектах-аналогах.

Методы оценки отклонения прогнозных сроков задачи

В соответствии с положениями методики оператору планирования застройщика (технического заказчика) рекомендуется выполнять контрольный срез по реализации проекта (актуализировать сводную аналитическую календарную модель за счет наложения очередной оперативной модели лица, осуществляющего строительство) не реже чем еженедельно, т. е. отчетный период – неделя. При этом для формулирования статистически обоснованного управленческого решения в зависимости от факта и степени отклонения прогнозных сроков следует устанавливать

2. Прогноз отставания

| Номер недели, T | Δ , нед | Требуемое время для завершения задачи, нед |
|-----------------|----------------|--|
| 6 | 2,2013 | 4,2013 |
| 7 | 2,116 | 3,116 |
| 8 | 1,8879 | 1,8879 |
| 9 | 1,517 | 0,517 |
| 10 | 1,0033 | -0,9967 |
| 11 | 0,3468 | -2,6532 |
| 12 | -0,4525 | -4,4525 |

3. Расчетные прогнозные значения

| Номер недели, T | Δ , нед | Требуемое время для завершения задачи, нед |
|-----------------|----------------|--|
| 7 | 0,5696 | 3,5696 |
| 8 | -0,431 | 1,569 |
| 9 | -1,1774 | -0,1774 |

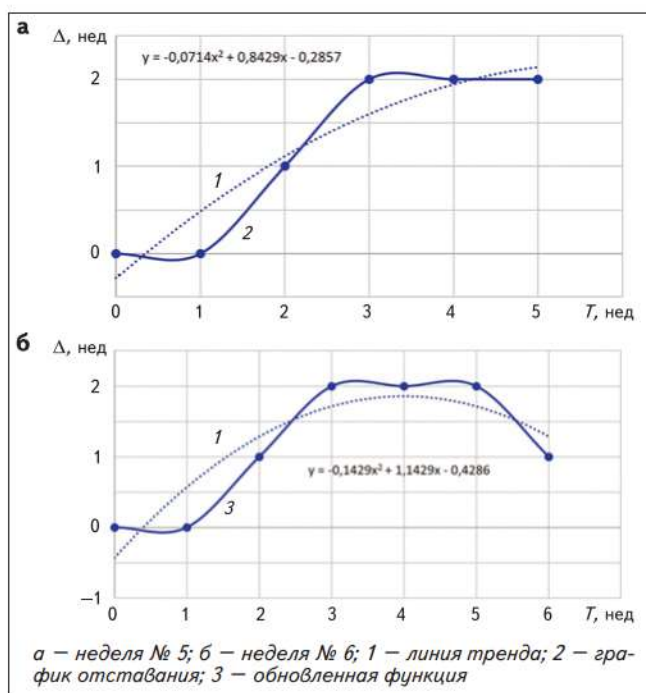


Рис. 3. Функции отставания и обновления по задаче

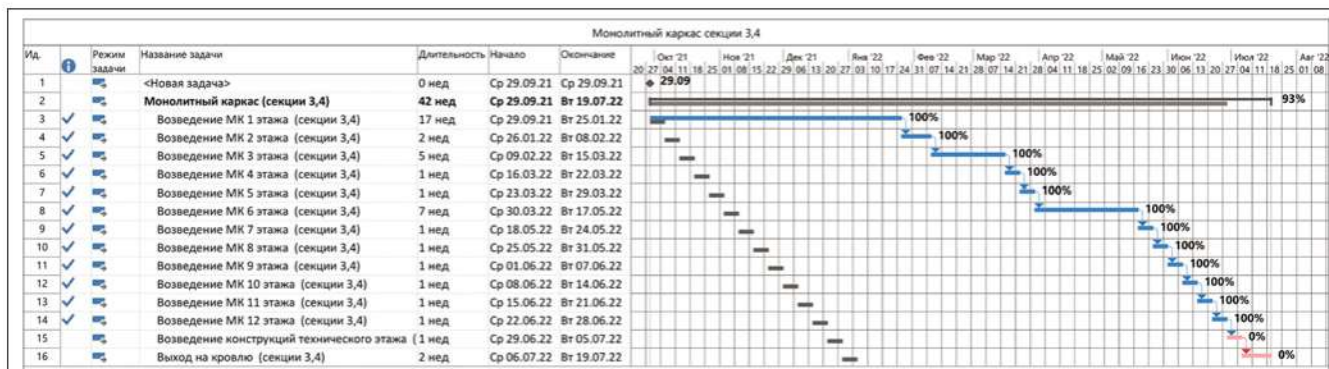


Рис. 4. Сводная аналитическая календарно-сетевая модель

минимально необходимое и достаточное количество отчетных периодов формирования тренда изменения выработки производственных подразделений подрядной организации (лица, осуществляющего строительство) как первопричины отклонений прогнозных сроков.

Так, настоящая методика предполагает установить стандартный период мониторинга факта и степени отклонения прогнозных сроков на основании данных о фактически выполненных работах и подтвержденной документально соответствующей выработке производственных подразделений в

течение трех отчетных периодов (табл. 1).

Количественно отставание можно выразить посредством вычисления среднеарифметического значения по выработке или отклонению длительности выполнения работ в каждом из трех отчетных периодов. В дальнейшем эти данные сравниваются с данными предыдущего периода мониторинга.

Изменение выработки описывает динамику приращения отклонения прогнозных сроков (степень отклонения прогнозных сроков), которая может быть оприделена во временном (напри-

мер, недели) или процентном выражении:

$$\Delta_{\%} = \frac{t_{\text{оп}}^i - t_{\text{пр}}^i}{t_{\text{пр}}^1}; \quad (1)$$

$$\Delta_{\text{дн}} = t_{\text{оп}}^i - t_{\text{пр}}^i, \quad (2)$$

где $\Delta_{\%}$ и $\Delta_{\text{дн}}$ — степень отклонения прогнозных сроков (частной работы J_i или контрольной вехи проекта) соответственно в процентном и календарном выражении; $t_{\text{оп}}^i$ — оперативный срок выполнения (частной работы J_i или контрольной вехи проекта) в соответствии с фактической производительностью подразделений (на основании данных оперативной модели по фактическому выполнению), дн; $t_{\text{пр}}^i$ — то же, согласно прогнозной модели оператора планирования, дн.

Методы прогнозирования завершения задач и вех на основе математических алгоритмов

Методика не привязана к обработке производственных подразделений на строительной площадке. Все простои, независимо от причин их возникновения, учитываются методикой и влияют на прогнозируемую дату наступления контрольного события. Кроме того, она предусматривает возможность стабилизации календарной модели в последующие отчетные периоды в результате различных организационно-технологических мероприятий подрядной организации (например привлечения дополнительных средств механизации для интенсификации рабочих процессов). Таким образом, в течение данного установленного количества отчетных периодов производится расчет отклонения прогнозных сроков (по отдельным работам и вехам) в сводной аналитической календарной модели.

На основании статистических данных текущего контроля формируется массив, пригодный для построения графика изменения отставания по контрольной вехе. Прогнозирование наступления контрольного события осуществляется в соответствии с линией тренда к функции отставания от времени. Линия тренда построенной функции позволяет прогнозировать отставание или досрочное наступление контрольного события.

Введем принцип ограниченности области возрастания или краевых значений функции отклонения прогнозных сроков, при которых отставание не превышает длительности отчетного периода. Область сокращения отклонения прогнозных сроков не ограничена (предлагаются ограничения в размере двукратного увеличения интенсивности производства СМР). Стоит отметить нелинейность статистичес-

ких значений за отчетные периоды, которая усложняет функцию отставания до квадратичной.

Представим функцию отставания в виде квадратичной функции:

$$\Delta = aT^2 + bT - c, \quad (3)$$

где Δ – отставание в неделях; T – отчетный период (номер недели или количество недель); a, b, c – статистические значения, получаемые из оперативной модели.

Следует придерживаться определенного правила обработки информации с площадки, что позволит корректно работать модели прогнозирования. Если работа в составе пула работ (суммарной задачи), объединенных контрольной вехой, выполняется на текущей неделе (т. е. выполняется по графику), то к отставанию прибавляют 0. Если работа не выполняется на плановой неделе (переносится на последующую), то прибавляют одну неделю отставания к контрольной вехе. Если работа завершена на одну неделю раньше намеченного срока, то плюсуется минус одна неделя к отставанию достижения контрольной вехи.

Описание функции отставания для прогноза выполнения задачи

Условная задача сводной календарной модели имеет плановую (прогнозную) длительность восемь недель, соответственно на задачу выпадает восемь итераций недельного контроля. Предположим, что пять уже прошли. Получены статистические значения (табл. 2). На основании этих данных построим график зависимости, определим линию тренда и ее функцию отставания (рис. 3а).

С учетом исходного массива данных квадратическая функция отставания приняла вид:

$$y = -0,0714x^2 + 0,8429x - 0,2857. \quad (4)$$

Используя функцию, можно вычислить период, при котором отставание будет равняться 0, и период прогнозного завершения задачи. Ниже приведен прогноз отставания, полученный при подстановке значений в указанную функцию (см. табл. 2).

Исходя из полученных значений можно констатировать, что рассматриваемая работа будет завершена на 10-й неделе, когда значение времени, требуемого для завершения задачи, перейдет в область отрицательных значений. Темпы производства работ достигнут проектных показателей только на 12-й неделе от начала выполнения задачи.

Важно отметить, что прогноз периода, в котором будет завершена работа, может быть изменен в следующий отчетный период на основании новых показателей со строительной площадки. Например, если срок фактического отставания (отклонение прогнозных сроков), полученный по данным фактического отставания, сократился до одной недели, получим актуальный прогноз (рис. 3б).

В этом случае на основании функции тренда можно предположить, что завершение работы произойдет на девятой неделе, проектные темпы работ будут достигнуты на восьмой неделе и будут расти до окончания работ по задаче (табл. 3).

Прогнозирование выполнения суммарной задачи на основании фактических данных

Рассмотрим в качестве примера работы по устройству монолитных конструкций надземной части здания (секции 3, 4), плановая продолжительность производства работ – 14 недель. Соответствующий фрагмент сводной аналитической календарно-сетевой модели приведен на рис. 4. Сводная аналитическая модель объединяет модели прогнозную (представлена базовым планом) и опера-

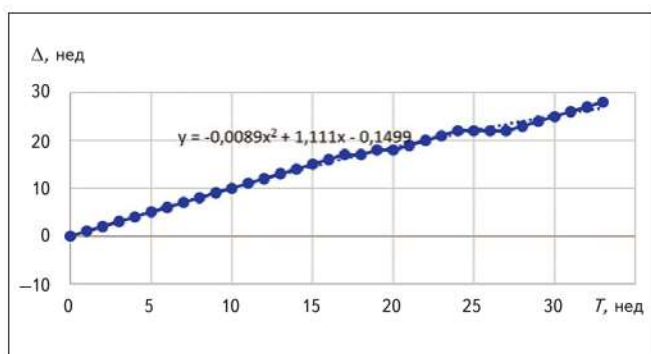


Рис. 5. Результаты математической обработки статистических данных

4. Прогнозные даты завершения работы и даты фиксации прогнозной модели

| Номер недели | Календарные даты | | Дата формирования прогноза |
|--------------|------------------|------------|----------------------------------|
| 42 | 11.07.2022 | 17.07.2022 | Прогноз по MS Project 16.05.2022 |
| 43 | 18.07.2022 | 24.07.2022 | Факт наступления события |
| 44 | 25.07.2022 | 31.07.2022 | Прогноз на 07.07.2022 |
| 45 | 01.08.2022 | 07.08.2022 | — на 23.06.2022 |
| 46 | 08.08.2022 | 14.08.2022 | — на 02.06.2022 |
| 47 | 15.08.2022 | 21.08.2022 | — на 17.05.2022 |

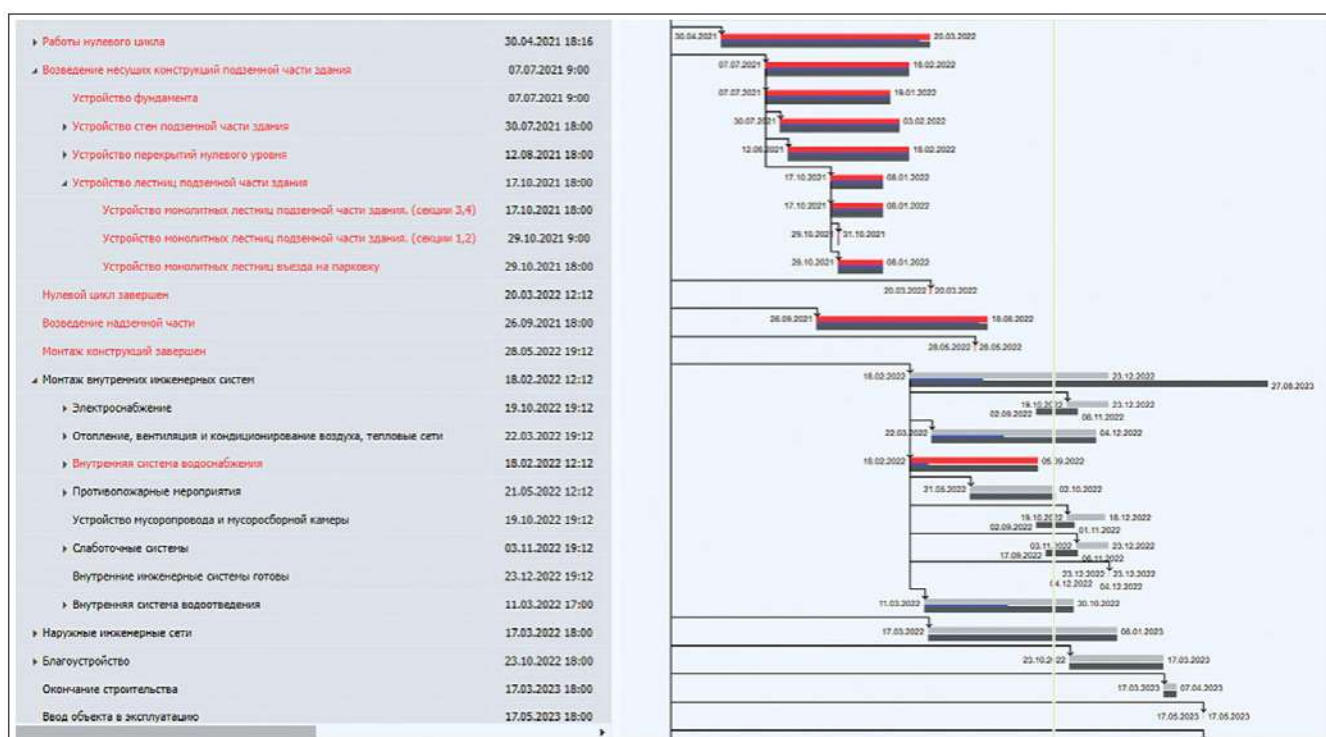


Рис. 6. План-фактный анализ по диаграмме с отслеживанием. Работы, имеющие отставание от первоначально утвержденной прогнозной календарной модели, выделены красным цветом

тивную календарную. На основе сопоставления указанных моделей получены статистические данные в разрезе горизонта планирования от даты начала работы по май 2022 г. с детализацией в одну неделю (рис. 5).

Функция линии тренда в квадратичном выражении исходя из построенного полинома принимает вид:

$$y = -0,0089x^2 + 1,111x - 0,1499. \quad (5)$$

Промежуточные выводы по результатам среза данных на 31-ю неделю мониторинга: суммарная задача «Монолитный каркас (секции 3, 4)» завершится на 47-й неделе, с задержкой на 33 недели от плановой даты завершения. Расхождение с прогнозом оперативной модели — пять недель.

Эффективность компенсационных мероприятий и управленческих решений целесообразно отслеживать в динамике срезов.

Ниже приведены результаты прогнозирования завершения работы с учетом оперативной информации со строительной площадки (табл. 4).

Исходя из положительной динамики схождения сроков аналитической календарной модели и прогнозируемых можно сделать вывод об интенсификации производства работ и частичной эффективности управленческих решений. Примененные мероприятия позволили сократить отставания

ние от плановых показателей проекта, но не исключить отставание полностью.

Разработанная методика была апробирована на пилотном объекте программы реновации в Москве и интегрирована в комплексную систему управления проектами, учитывающую строительную информационную модель объекта капитального строительства, цифровую среду общих данных, цифровую ведомость объемов работ и прочие элементы.

Расчет степени отклонения текущих прогнозных сроков и пересчет прогнозных сроков осуществлялся в прогнозной календарной модели с учетом фактической производительности производственных подразделений по видам работ, что позволило своевременно применять управленческие решения и стабилизировать уровень выработки (рис. 6, 7).

В результате научно-исследовательской работы разработаны математические аппарат и модель, на которых базируются положения методики КСП, концеп-



Рис. 7. Строительная модель пилотного объекта с цветовой индикацией статусов работ относительно сводной аналитической календарной модели

ция визуализации календарных моделей с применением ТИМ и принципиальная система принятия решения в зависимости от граничных условий значимых организационно-технологических показателей управления строительным проектом.

Вывод

Управленческое решение по результатам одного или нескольких отчетных периодов можно сформулировать следующим образом:

1. В случае *положительного*

тренда (обновленный прогноз свидетельствует об опережении утвержденной прогнозной календарной модели) оптимизационные действия не требуются.

2. В случае *нейтрального* тренда (обновленный прогноз свидетельствует о соответствии уровня производительности труда утвержденной прогнозной календарной модели) никакие оптимизационные действия не нужны.

3. В случае *отрицательного* тренда (обновленный прогноз свидетельствует о снижении уровня производительности труда утвержденной прогнозной календарной модели) следует согласовать с лицом, осуществляющим строительство, ряд компенсационных мероприятий и оптимизацию применяемых в ходе строительства организационно-технологических решений. В следующем отчетном периоде контролировать факт и эффективность реализации компенсационных мероприятий и выполнить очередной план-фактный анализ сводной аналитической модели.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Аксенов А. Е., Беджанян Т. В., Виноградов А. Б. Информационное моделирование 4D-графика строительства объекта на примере малоэтажного здания // Тр. молодых ученых института строительства 2020 г. : сб. науч. статей. Новосибирск : Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 2020. С. 206–220.
- Аргунов С. В., Семенов С. А. Прогнозирование укрупненного графика затрат при реализации крупномасштабных городских проектов // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 11. С. 31–35. doi: 10.33622/0869-7019.2021.11.31-35
- Бовтеев С. В. Визуализация процесса строительства зданий и сооружений // Инновационные методы организации строительного производства : материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 18–19 ноября 2021 г.). Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. С. 3–8.
- Бовтеев С. В., Ханова Л. Р. Опыт применения технологий информационного моделирования в проектировании и организации строительства // Организация строительного производства : материалы III Всерос. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 10–11 февраля 2021 г.). Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. С. 55–67.
- Бовтеев С. В. Современные методы планирования и контроля инвестиционно-строительных проектов // Управление проектами: идеи, ценности, решения : материалы I Междунар. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 15–17 мая 2019 г.). Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. С. 188–194.
- Дмитриев А. Н., Барешенкова К. А., Марченкова С. В. Концепция перехода на внедрение цифровых технологий информационного моделирования в московском строительстве // Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строи-

- тельной сфере и природопользовании : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 112-летию РЭУ им. Г. В. Плеханова (Москва, 10–14 апреля 2019 г.) / под ред. В. И. Ресина. М. : Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, 2019. С. 208–220.
7. Жаров Я. В. Использование методов многомерного моделирования при решении задач организационно-технологического проектирования строительства // Нормирование и оплата труда в строительстве. 2019. № 11. С. 15–20.
 8. Жаров Я. В. Оценка параметров организационно-технологических решений на основе нейросетевых моделей // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2018. № 2. С. 110–115. doi: 10.12737/article_5a816be4a063d1.42360453
 9. Алексанин А. В., Жаров Я. В. Потенциал использования цифровых информационных моделей в рамках управления строительством // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 1. С. 52–55. doi: 10.33622/0869-7019.2022.01.52-55
 10. Сборщиков С. Б., Лазарева Н. В., Жаров Я. В. Теоретические основы многомерного моделирования устойчивого развития инвестиционно-строительной деятельности // Вестник МГСУ. 2014. № 6. С. 165–171.
 11. Зайцева К. Н., Старостин Д. С. Методы планирования: сетевые графики. Тенденции развития и применения в России BIM-технологии // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство : сб. статей. Самара : Самарский государственный технический университет, 2019. С. 521–525.
 12. Карасев И. С., Опарина Л. А. Построение сравнительной матрицы функциональных характеристик программ для календарно-сетевого планирования // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). 2021. № 1. С. 455–458.
 13. Шамилева Б. С. Организационные аспекты проектного финансирования как механизма реализации инвестиционных проектов // Интернетнаука. 2016. № 5. С. 208–227.
 14. Киевский И. Л., Жаров Я. В. Формирование центров компетенций применения технологий информационного моделирования в строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 11. С. 4–10. doi: 10.33622/0869-7019.2021.11.04-10
 15. Киевский И. Л., Аргунов С. В. Реновация как способ создания жилой среды нового качества // Реновация. Крупномасштабный городской проект рассредоточенного строительства : монография о научно-методических подходах и начале реализации программы реновации. М. : Русская школа, 2018. С. 57–65.
 16. Киевский Л. В., Киевский И. Л., Аргунов С. В. Множественные эффекты реновации // Там же. С. 182–191.
 17. Липидус А. А., Степанов А. Е. Проведение многофакторного эксперимента для определения комплексного показателя оптимизации сроков продолжительности монолитных работ // Наука и бизнес: пути развития. 2020. № 11(113). С. 59–64.
 18. Норин И. О., Добрынин А. О. Календарно-сетевое планирование производства работ с использованием BIM-технологий // Химия. Экология. Урбанистика. 2021. Т. 2021-3. С. 116–120.
 19. Олейник П. П., Мааруф А. Мероприятия программы постконфликтного восстановления городов // Строительное производство. 2022. № 1. С. 54–58. doi: 10.54950/26585340_2022_1_54
 20. Олейник П. П., Казарян Р. Р., Бушуев Н. И. Методы организации строительства и производства строительно-монтажных работ. М. : НИУ МГСУ, 2020. 60 с.
 21. Киевский Л. В., Киевский И. Л., Хоркина Ж. А. [и др.]. Реновация. Крупномасштабный городской проект рассредоточенного строительства : монография о научно-методических подходах и начале реализации программы реновации. М. : Русская школа, 2018. 196 с.
 22. Шарова А. С., Шенкман Р. И. Технология информационного моделирования календарного планирования строительства // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2020. Т. 2. С. 183–187.
 23. Oleinik P. P., Yurgaitis A. Yu. The method of forming solutions for non-critical activities in the preparation and optimization of the construction complex organizations annual program [Метод формирования решений годовой производственной программы для не критических работ при разработке при оптимизации деятельности строительных организаций] // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 193. P. 2018.

REFERENCES

1. Aksenov A. E., Bedzhanyan T. V., Vinogradov A. B. Information modeling of the 4D-construction schedule of an object on the example of a low-rise building. *Tr. molodykh uchenykh instituta stroitel'stva 2020 g.* Novosibirsk, Novosibirskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet (Sibstrin) Publ., 2020, pp. 206–220. (In Russ.).
2. Argunov S. V., Semenov S. A. Forecasting an enlarged schedule of cost for the implementation of large-scale urban projects. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2021, no. 11, pp. 31–35. (In Russ.). doi: 10.33622/0869-7019.2021.11.31-35
3. Bovteev S. V. Visualization of the process of construction of buildings and structures. *Innovatsionnye metody organizatsii stroitel'nogo proizvodstva* [Innovative methods of organization of construction production]. *Materialy Vseros. nauch.-prakt. konf.* (St. Petersburg, November 18–19, 2021). St. Petersburg, Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet Publ., 2021, pp. 3–8. (In Russ.).
4. Bovteev S. V., Khanova L. R. Experience in the application of information modeling technologies in the design and organization of construction. *Organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva* [Organization of construc-

- tion production]. *Materialy III Vseros. nauch.-prakt. konf.* (St. Petersburg, February 10–11, 2021). St. Petersburg, Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet Publ., 2021, pp. 55–67. (In Russ.).
5. Bovteev S. V. Modern methods of planning and control of investment and construction projects. *Upravlenie proektami: idei, tsennosti, resheniya* [Project management: ideas, values, solutions]. *Materialy I Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* (St. Petersburg, May 15–17, 2019). St. Petersburg, Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet Publ., 2019, pp. 188–194. (In Russ.).
 6. Dmitriev A. N., Bareshenkova K. A., Marchenkova S. V. The concept of transition to the introduction of digital information modeling technologies in Moscow construction. *Sovremennye problemy upravleniya proektami v investitsionno-stroitel'noy sfere i prirodopol'zovaniy* [Modern problems of project management in the investment and construction sector and environmental management]. *Materialy IX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchenoy 112-letiyu RUE im. G. V. Plekhanova* (Moscow, April 10–14, 2019). Moscow, Rossiyskiy ekonomicheskiy universitet im. G. V. Plekhanova Publ., 2019, pp. 208–220. (In Russ.).
 7. Zharov Ya. V. The use of multidimensional modeling methods in solving problems of organizational and technological design of construction. *Normirovanie i oplata truda v stroitel'stve*, 2019, no. 11, pp. 15–20. (In Russ.).
 8. Zharov Ya. V. Estimation of parameters of organizational and technological solutions based on neural network models. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova*, 2018, no. 2, pp. 110–115. (In Russ.). doi: 10.12737/article_5a816be4a063d1.42360453
 9. Aleksanin A. V., Zharov Ya. V. The potential of using digital information models in the framework of construction management. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2022, no. 1, pp. 52–55. (In Russ.). doi: 10.33622/0869-7019.2022.01.52-55
 10. Sborshchikov S. B., Lazareva N. V., Zharov Ya. V. Theoretical bases of multidimensional modeling of sustainable development in investment and construction activities. *Vestnik MGSU*, 2014, no. 6, pp. 165–171. (In Russ.).
 11. Zaytseva K. N., Starostin D. S. Planning methods: network schedules. Trends in the development and application of BIM technology in Russia. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Stroitel'stvo* [Traditions and innovations in construction and architecture. Construction]. Samara, Samarskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet Publ., 2019, pp. 521–525. (In Russ.).
 12. Karasev I. S., Oparina L. A. Construction of a comparative matrix of functional characteristics of programs for calendar and network planning. *Molodye uchenye – razvitiyu Natsional'noy tekhnologicheskoy initsiativy (POISK)*, 2021, no. 1, pp. 455–458. (In Russ.).
 13. Shamileva B. S. Organizational aspects of project financing as the mechanism of realization of investment projects. *Internetnauka*, 2016, no. 5, pp. 208–227. (In Russ.).
 14. Kievskiy I. L., Zharov Ya. V. Formation of competence centers for the application of BIM technologies in construction. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2021, no. 11, pp. 4–10. (In Russ.). doi: 10.33622/0869-7019.2021.11.04-10
 15. Kievskiy I. L., Argunov S. V. Renovation as a way to create a new quality living environment. *Renovatsiya. Krupnomasshtabnyy gorodskoy proekt rassredotochennogo stroitel'stva* [Renovation. Large-scale urban dispersed construction project]. *Monografiya o nauchno-metodicheskikh podkhodakh i nachale realizatsii programmy renovatsii*. Moscow, Russkaya shkola Publ., 2018, pp. 57–65. (In Russ.).
 16. Kievskiy L. V., Kievskiy I. L., Argunov S. V. Multiple renovation effects. *Ibid*, pp. 182–191. (In Russ.).
 17. Lapidus A. A., Stepanov A. E. Conducting a multifactorial experiment to determine the complex indicator of optimization of the duration of monolithic works. *Nauka i biznes: puti razvitiya*, 2020, no. 11(113), pp. 59–64. (In Russ.).
 18. Norin I. O., Dobrynin A. O. Calendar and network planning of work production using BIM technologies. *Khimiya. Ekologiya. Urbanistika*, 2021, vol. 2021-3, pp. 116–120. (In Russ.).
 19. Oleynik P. P., Maaruf A. Activities of the post-conflict urban reconstruction program. *Stroitel'noe proizvodstvo*, 2022, no. 1, pp. 54–58. (In Russ.). doi: 10.54950/26585340_2022_1_54
 20. Oleynik P. P., Kazaryan R. R., Bushuev N. I. *Metody organizatsii stroitel'stva i proizvodstva stroitel'no-montazhnykh rabot* [Methods of organization of construction and production of construction and installation works]. Moscow, NIU MGSU Publ., 2020. 60 p. (In Russ.).
 21. Kievskiy L. V., Kievskiy I. L., Khorkina Zh. A. et al. *Renovatsiya. Krupnomasshtabnyy gorodskoy proekt rassredotochennogo stroitel'stva* [Renovation. Large-scale urban dispersed construction project]. *Monografiya o nauchno-metodicheskikh podkhodakh i nachale realizatsii programmy renovatsii*. Moscow, Russkaya shkola Publ., 2018, 196 p. (In Russ.).
 22. Sharova A. S., Shenkman R. I. Technology of information modeling of calendar planning of construction. *Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika*, 2020, vol. 2, pp. 183–187. (In Russ.).
 23. Oleinik P. P., Yurgaitis A. Yu. The method of forming solutions for non-critical activities in the preparation and optimization of the construction complex organizations annual program. *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 193, p. 2018. ■