

ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПУТЁМ ДВУХЭТАПНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Е.В. Гусев, gusevev@susu.ru

С.И. Бородин, borodinsi@susu.ru

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Авторами проведено обобщение существующих методических и методологических подходов к совершенствованию системы календарного планирования строительного производства, в том числе выделены причины нестабильности существующей системы календарного планирования. В частности, нарушения разработки календарного плана относительного общего подхода к управлению объектом; слабая документально-подтвержденная связь календарного плана с технологией возведения объекта; нестабильность исходных моделей, которые используются для разработки календарного плана. На основе модели объектных технологических зависимостей, как наиболее стабильной модели, в статье предложено использовать решение задачи календарного планирования строительства объекта, разделенного на два этапа: первоначально определяются объёмы строительно-монтажных работ по каждому планируемому периоду, а затем разрабатывается график строительного производства. Авторы уточняют детали построения модели объектных технологических зависимостей, позволяющие вычислить временную область выполнения работы. В статье рассмотрены ситуации при планировании производства строительно-монтажных работ за счет укрупнения и равномерного, непрерывного производства работ. Модель объектных технологических зависимостей является необходимым дополнением информационной модели объекта строительства, так как строится на основе математических и технологических параметров, включаемых в модель на этапе проектирования.

Ключевые слова: календарный план, надёжность решений, строительное производство, технологии информационного моделирования, BIM

Для цитирования. Гусев Е.В., Бородин С.И. Повышение надёжности управленческих решений путём двухэтапного планирования и организации строительного производства // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2023. Т. 23, № 1. С. 57–64. DOI: 10.14529/build230107

Original article
DOI: 10.14529/build230107

INCREASING THE RELIABILITY OF DECISIONS BY THE TWO-STAGE PLANNING AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION MANAGEMENT

E.V. Gusev, gusevev@susu.ru

S.I. Borodin, borodinsi@susu.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. This article analyzes methodological approaches to the improvement of the schedule planning of construction. Such cases were highlighted as violations of the development of a calendar plan of the relative general approach to object management; a weak correlation of the schedule plan with the technology of the construction in the methodological documents; the instability of models used to develop a schedule plan. The model of object technical dependencies (MOTD) is the most stable model. It is proposed to divide the schedule planning of the construction of an object into two stages on the basis of MOTD. The first stage is to determinate and distribute the construction work for each planned period. The second stage is to develop the construction production schedule. It is possible to calculate a temporary field of the construction work as the details of MOTD are clarified in the article. The planning of the construction work is considered which includes the aggregation of the work and the uniform continuous production of work. MOTD is the necessary addition to the building information model (BIM). It is built on the basis of mathematical and technological parameters included in the model at the design stage.

Keywords: construction schedule, reliability of decisions, construction, building information modeling, BIM

For citation. Gusev E.V., Borodin S.I. Increasing the reliability of decisions by the two-stage planning and organization of construction management. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2023;23(1):57–64. (in Russ.). DOI: 10.14529/build230107

В ранее опубликованных статьях и других материалах, посвящённых календарному планированию строительно-монтажных работ (СМР), большее внимание было уделено методологическому и методическому анализу решения задач планирования и организации строительного производства. В результате проведенных научных и практических исследований было выявлено и предложено:

1. Порядок и последовательность разработки календарного плана (КП) не соответствует взаимосвязям общих функций управления [1–7]. В соответствии этим взаимосвязям после определения и описания целей следует функция «планирование». Но порядок разработки календарного плана строительства объекта первоначально предусматривает выработку организационных решений, а уже на основе полученного графика строительства объекта определяются объёмы работ в каждом плановом периоде планируемого года, разрабатываются графики потребности в трудовых, материальных, технических ресурсах и других документов.

2. Из десяти пунктов порядка разработки КП [8] только один (пункт 6) можно отнести к технологии строительства объекта. Выявленная технологическая последовательность выполнения работ имеет только качественный признак – с какими предшествующими и последующими работами связана рассматриваемая работа. Никаких количественных оценок этих взаимосвязей не предусматривается. Отсутствие таких оценок приводит к усложнению и неопределённости совмещения производства технологически взаимосвязанных работ.

3. Выявлены причины нестабильности и «чувствительности» КП к воздействию различных дестабилизирующих факторов внешней и внутренней среды [9–24]. Эти воздействия требуют постоянной корректировки КП. Но графики обеспечения соответствуют первоначальному плану строительного производства, а вносить изменения в них весьма сложно.

4. При анализе причин неустойчивости КП к воздействию различных факторов был использован подход о представлении его «внутренней» структуры как совокупности взаимосвязанных трёх моделей:

- а) модель организационных решений;
- б) модель технологии строительства объекта;
- в) модель распределения объёмов работ во времени.

Описания имеющихся и предлагаемых «внутренних» взаимосвязей подробно изложены в публикациях [1, 3, 4].

На основе принятых организационных решений и с учётом технологической взаимосвязи работ рассчитывается график строительства объекта. Продолжительность каждой работы определяется на весь объём согласно проектно-сметной документации. Но для разработки таких докумен-

тов, как стройгенплан, графики обеспечения строительного производства трудовыми, материально-техническими, машинами и механизмами и другими ресурсами, требуется календаризованное распределение объёмов работ по плановым периодам планируемого года (как правило, это месяц). Объём работы определяется пропорционально продолжительности в рассматриваемом плановом периоде.

Из трех приведённых моделей самой «чувствительной» к воздействию различных факторов является модель организационных решений. И это естественно, поскольку она же играет роль инструмента адаптации хода строительного производства к сложившейся ситуации.

5. Наиболее устойчивой к воздействию различных факторов является модель технологии строительства объекта. Но технология строительства объекта в нынешнем понимании ассоциируется с технологической последовательностью взаимосвязанных работ. Однако это недостаточно для решения задач распределения объёмов работ во времени, совмещения производства технологически связанных работ и других вопросов планирования и организации строительного производства. Более подробно описание параметров и математическое обоснование дано в публикациях [7, 10]. Графическое отображение модели технологии строительства объекта в виде модели объектных технологических зависимостей (МОТЗ) приведено на рис. 1 [1, 2, 4, 25].

Расчётными параметрами МОТЗ являются: количественные оценки технологических зависимостей по началу (не ранее по началу) и окончанию (не ранее по окончанию) работ; временная область производства каждой работы (в отличие от продолжительности работы в ОТМ); точки критичности работ.

«Не ранее по началу» означает, что последующая работа ($j+1$) технологически не может начаться, если на предшествующей j не будет выполнен (запланирован) технологически необходимый минимальный объём $V_{\min j+1}^0$; «не ранее по окончанию» означает, что последующая работа ($j+1$) технологически не может окончиться ранее, если на ней не будет выполнен (запланирован) минимальный объём $V_{\min j+1}^0$, технологически необходимый после окончания предшествующей работы [1, 3, 4].

6. Подробное описание параметров МОТЗ обусловлено неоднократным обращением к ним в процессе рассмотрения двухэтапного планирования и организации строительного производства.

Математическое обеспечение и количественные оценки этих параметров позволяют эту модель как модель технологии строительства объекта включить в систему технологии информационного моделирования (ТИМ).

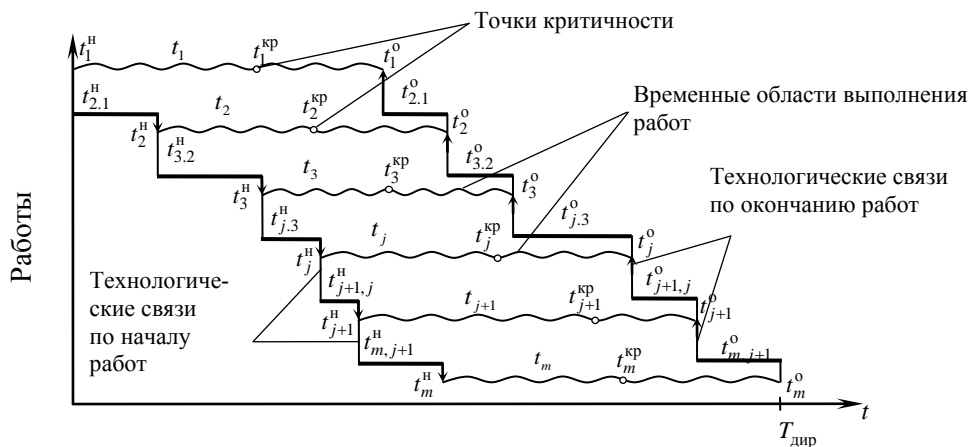


Рис. 1. Графическое изображение модели объектных технологических зависимостей:

$T_{дир}$ – директивная (нормативная, договорная) продолжительность строительства объекта; t_i – продолжительность временной области; t_i^H ; t_i^O – технологически возможное начало и окончание работы; $t_{j+1,j}^H$; $t_{j+1,j}^O$ – минимальное технологическое отставание начала и окончания последующей работы ($j+1$) от начала и окончания предшествующей (j); t_j^{KP} – критическая точка, после которой выполнение объема работ требует максимальной интенсивности и может привести к срыву $T_{дир}$

Двухэтапное решение задач календарного планирования строительства объекта заключается в том, что первоначально определяются объёмы строительно-монтажных работ (СМР) по каждому планируемому периоду (месяц, квартал), а затем разрабатывается график строительного производства. В этом случае соблюдается взаимосвязь общих функций управления.

Рассмотрим подробнее процесс распределения объёмов работ во времени (по планиваемым периодам). Нынешний порядок разработки графика строительства объекта начинается с укрупнения (агрегации) работ. При расчёте продолжительности укрупнённой работы исходят из условий, что работа должна выполняться непрерывно и равномерно. Авторы не ставят своей задачей исследование различных методов расчёта продолжительностей (деление общей трудоёмкости на количество ресурсов типа мощности с поправочными коэффициентами, вероятностные методы, методы экспертных оценок, регрессионного анализа и пр.). Отмечается сам принцип распределения объёмов работ во времени – *равномерный*. Принятое агрегирование работ и распределение объёмов СМР заранее предполагает несоответствие графика ходу строительного производства.

Номенклатура и структура укрупнённых работ для формирования календарного плана строительства объекта, его составляющей части – графика строительства в рамках проекта производства работ (ППР) – базируется на проектно-сметной документации объекта (ПСД). Агрегация (объединение сметных единичных работ) обычно осуществляется или по конструктивным элементам строящегося объекта, или по работам, выполняе-

мым комплексными бригадами. Могут быть и другие приёмы. Проведём анализ ситуаций, связанных с *укрупнением работ*, представленных на рис. 2.

Сложность возникает при определении календарной потребности в материально-технических ресурсах (МТР). Объём, стоимость той части укрупнённой работы, которая должна выполняться в первом периоде (см. рис. 2а), можно определить простой пропорцией. Зная объёмы, легко рассчитать календарную потребность. Но как определить объёмы единичных работ, выполняемых в данном временном периоде, если они технологически не связаны между собой. Поэтому необходимо технологически увязать и количественно оценить эти связи всех работ, входящих в комплекс агрегированной работы (см. рис. 2б). С применением МОТЗ процесс укрупнения полностью автоматизируется. Учёт взаимосвязей значительно повышает точность и надёжность определения календарной потребности в МТР, что ведёт к снижению затрат в материально-техническом обеспечении.

Равномерное и непрерывное производство работ. Эти условия, безусловно, правильные. Они успешно реализуются особенно в крупнопанельном домостроении, при поточной организации строительного производства. Но в промышленном и жилищно-гражданском строительстве объекты значительно сложнее по объёмо-планировочным, конструктивным решениям и условиями строительства. При этом планируемые объёмы работы в каждом плановом периоде количественно могут не только отличаться, но и иметь перерывы в производстве по различным технологическим требованиям (рис. 3).

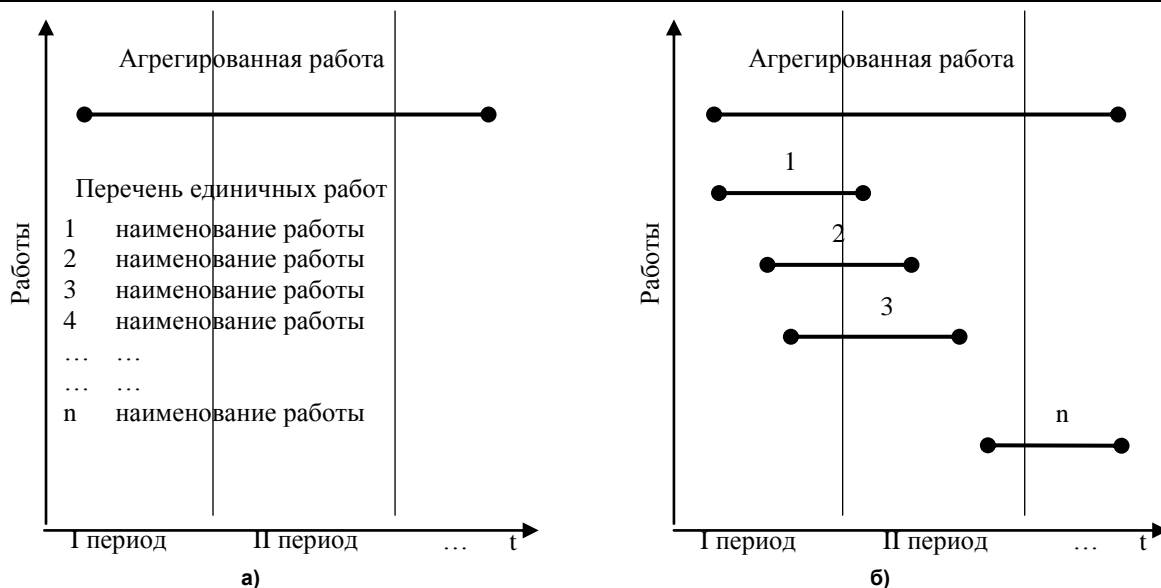


Рис. 2. Пример распределения агрегированной работы по плановым периодам:
а) без взаимной увязки единичных работ; б) с учетом взаимной увязки единичных работ

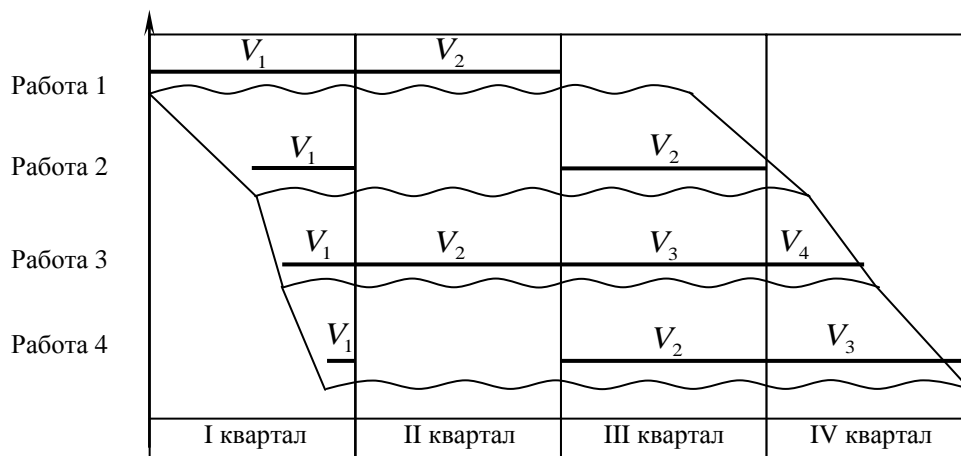


Рис. 3. Пример распределения объемов работ с перерывами на базе MOT3:
— — производство работы; V_1, V_2, \dots — объёмы работ в планируемом периоде;
~~~~~ — временная область выполнения работы

Такие технологические требования отразить в графике строительства сложно. Решить такую задачу возможно с помощью MOT3 на этапе «планирование» при двухэтапном решении задач календарного планирования.

Цель строительной организации описывается комплексом технико-экономических показателей с разбивкой по плановым периодам. По этим же периодам устанавливаются показатели на строящийся объект. Планирование сводится к распределению объемов работ объекта по плановым периодам с учётом ограничений, условий, требований и различных факторов. Чем больше их будет учтено, тем точнее и надежнее будет соответствие планируемых объемов с фактическим строительным производством.

Одним из основных показателей является объём СМР в денежном выражении. Основой для оп-

ределения этого показателя является проект организации строительства (ПОС) и его составная часть – календарный план строительства объекта. В нём представлен график финансирования по плановым периодам. Разработка календарного плана строительства объекта в составе проекта производства работ (ППР) состоит в наборе объемов работ в физических единицах под этот показатель. При этом необходимо учитывать ряд требований и условий, связанных со строительным производством, обеспечением трудовыми, материальными, техническими и финансовыми ресурсами, технологией производства работ, условиями труда и т. д.

Набор объемов осуществляется на основе MOT3 объекта. Количественная оценка технологических зависимостей по началу и окончанию работ могут использоваться не только как ограничения по технологическим требованиям, но и как

единица планирования. Предлагаемая методика распределения объёмов работ по временным периодам может использоваться как при проектировании объекта на стадии разработки ППР, так и в ходе реализации проекта.

В строительной организации строящиеся объекты находятся на различных стадиях завершенности строительства. Их можно разбить на три группы: сдаточные в рассматриваемом плановом периоде; начинаются в этом периоде и переходят далее; переходят из предшествующих периодов и продолжают в последующих. На сдаточных объектах при нормальной организации выполнения функций учёта и контроля остаточные объёмы работ известны.

При решении этой задачи для вновь начинаемых и переходящих объектов большую роль играет фиксация объёмов, запланированных (выполненных) и остаточных при незавершённом производстве. Особое место занимает вопрос о выборе единицы планирования. Вполне возможна ситуация, когда стоимость такой единицы будет превышать стоимостной показатель (задание). В ходе опытных расчётов выяснилось, что наиболее точной единицей планирования могут быть забытые на сегодняшний день сборники «Единые нормы и расценки» (ЕНиР), в которых имеется информация о количестве и квалификации рабочих в звене на единицу объёма работы, трудозатраты и др. Но могут быть и другие по желанию пользователя.

В алгоритме задачи предусматривается довольно много проверочных и сравнительных операций. На первой (единичной) работе планируются объём согласно выбранной единице планирования. Стоимость запланированного объёма сравнивается со стоимостным показателем, в физических единицах – с количественной оценкой минимального

объёма по началу работы, который позволяет планировать единицу объёма на последующей работе. Если запланированный объём соответствует минимальному объёму в МОТЗ, тогда планируется единица объёма на последующей технологически связанной работе с соответствующей проверкой на технологическую возможность планирования следующей работы. Если нет, то планируется следующий объём на рассматриваемой работе.

Постоянно суммируются стоимость запланированных работ, трудоёмкость по каждой специальности рабочих, которая позволяет определить, на какое количество рабочих специальности имеется загрузка, и сравнить с имеющимися или освобождающимися к этому плановому периоду, а также определить величину дефицита рабочих и других ресурсов типа мощности. Нарастание объёмов работ, планируя «сверху вниз», сразу предусматривает совмещение их выполнения. Планировать можно только по тем работам, временные области которых по МОТЗ попадают в рассматриваемый плановый период. В случае, когда на последующей работе по каким-то причинам планировать или увеличивать объём нельзя, набор работ продолжается с первой работы до полного соответствия стоимости запланированных работ и планируемого показателя.

Особое внимание уделяется работам, которые выполняются субподрядными организациями и временные области или их части находятся в рассматриваемом плановом периоде. В этом случае планирование СМР ведётся, исходя из плановых заданий субподрядной организации. Набор работ СМР проводится по схеме «снизу вверх», то есть определяются необходимые объёмы общестроительных работ, открывающие возможность планировать специальные работы (рис. 4).

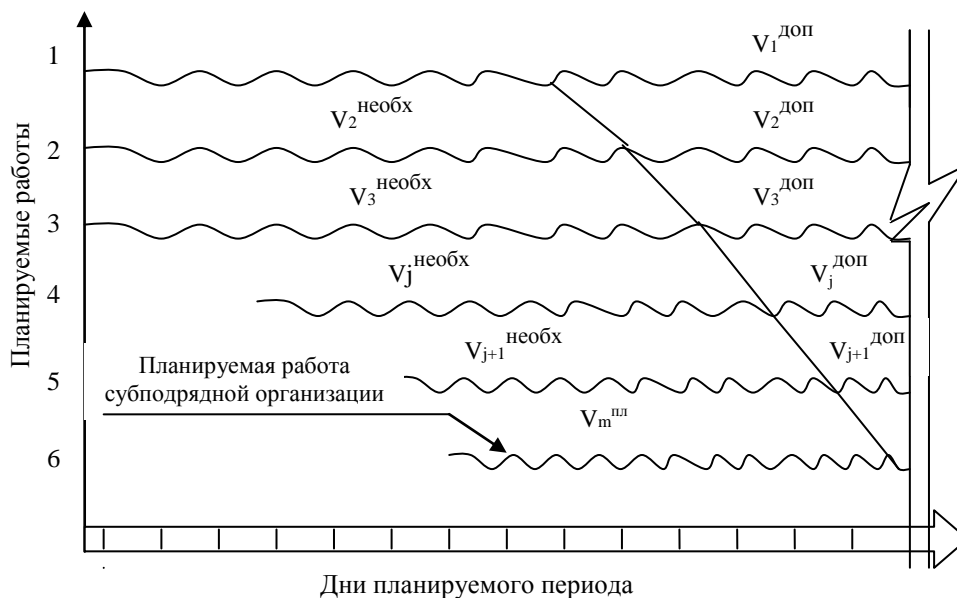


Рис. 4. Схема набора объёмов СМР с учётом работы субподрядных организаций:  
 $V^{необх}$  – объёмы, необходимые для выполнения специальных работ;  
 $V^{доп}$  – дополнительные объёмы СМР для достижения плановых заданий



Рис. 5. Линейный график с резервами времени по началу и окончанию работ:

$t_j$  – продолжительности работ;  $t_{2,1}^H$  – технологическое отставание начала последующей работы от начала предыдущей;  $t_{j+1,j}^O$  – технологическое отставание окончания последующей работы от окончания предыдущей;  $K^H$  – резервы времени по началу работы;  $K^O$  – резервы времени по окончанию работы

Постановка задачи, экономико-математическое описание и пояснения существенных ограничений изложены в публикациях [1, 3].

Второй этап календарного планирования СМР заключается в разработке графика строительства, то есть организационных управленческих решений строительного производства. В целом порядок разработки остаётся прежним. Но имеются существенные отличия.

Распределение ресурсов типа мощности и определение продолжительности осуществляется уже при известных объёмах работ по каждому планируемому периоду. Объёмы по периодам могут отличаться, и поэтому потребность в этих ресурсах изменяется. Совмещённое планирование технологически связанных работ предопределяет их совмещённое производство, а наличие в МОТЗ количественных оценок «не ранее по началу» и «не ранее по окончанию» устанавливают границы совмещения. Постановка задачи разработки организационных решений по распределению трудовых ресурсов изложена

в публикациях [1, 3]. Графический пример графика строительства приведён на рис. 5.

Двухэтапное решение задачи календарного планирования СМР на объект позволяет повысить точность расчётов и надёжность управленческих решений.

Прежде всего на точность расчётов календарной потребности в ресурсах влияет наличие количественных оценок технологических взаимосвязей единичных работ. Наличие временной области выполнения работы, с одной стороны, определяет границы совмещения взаимосвязанных работ, с другой – повышает вариативность выбора при решении оптимизационных задач.

Оцифровывание технологии строительства объекта в виде модели объектных технологических зависимостей (МОТЗ), оценивая её возможности решения задач календарного планирования СМР, обеспечения строительного производства ресурсами и др., позволяет включить её в структуру информационной модели объекта.

#### Список литературы

1. Планирование на строительном предприятии / В.В. Бузырев, Е.В. Гусев, И.П. Савельева, И.В. Федосеев; под общ. ред. В.В. Бузырева. М.: КНОРУС, 2010. 536 с.
2. Гусев Е.В., Голлай А.В. Управление строительством объекта на основе моделирования технологии строительства объекта // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2021. Т. 21, № 4. С. 156–166. DOI: 10.14529/ctcr210414.
3. Гусев Е.В. Технологическое моделирование и сбалансированное планирование строительномонтажных работ. Челябинск: РИК «Редактор»; ИПЦ «ПЕЧАТЬ», 1990. 147 с.
4. Gusev E. Construction and assembly works planning: optimization or search for solutions // SHS Web of Conferences. 2017. Vol. 35. 01147. DOI: 10.1051/shsconf/20173501147
5. Голуб Л.Г., Лященко Е.Н. АСУ строительного треста. М.: Стройиздат, 1976. 177 с.
6. Baldwin A., Bordoli D. Handbook for construction planning and scheduling. // John Wiley & Sons, 2014.

7. Salem O., Mohanty S. Project management practices and information technology research // *Journal of Construction Engineering and Management*. 2008. № 134(7). P. 501–508. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:7(501)
8. МДС 12-81.2007 Методические рекомендации по разработке и оформлению проекта организации строительства и проекта производства работ. ЦНИИОМТП-М.: ФГУП ЦПП, 2007. 10 с.
9. Антанавичюс К.А. Многоуровневое стохастическое моделирование отраслевых плановых решений. Вильнюс: Мокслас, 1977. 246 с.
10. Антанавичюс К.А. Моделирование и оптимизация в управлении строительством. М.: Стройиздат, 1979. 197 с.
11. Гусаков А.А. Организационно-технологическая надёжность строительного производства. М.: Стройиздат, 1974. 254 с.
12. Моисеев Н.Н. Математика ставит эксперимент. М.: Наука, 1970. 224 с.
13. O'Connor J.T., O'Brien W.J., Ouk Choi J. Industrial project execution planning: modularization versus stick-built // *Practice Periodical on Structural Design and Construction*. 2015. 21(1). P. 04015014. DOI: 10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000270
14. Integration of the construction knowledge and expertise in front-end planning / E.H. Oh, N. Naderpajouh, M. Hastak, S. Gokhale // *Journal of Construction Engineering and Management*. 2015. № 142(2). P. 04015067. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001050.
15. Siu M.F.F., Lu M., AbouRizk S. Resource supply-demand matching scheduling approach for construction workforce planning // *Journal of Construction Engineering and Management*. 2015. № 142(1). P. 04015048. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001027
16. Gajpal Y., Elazouni A. Enhanced heuristic for finance-based scheduling of construction projects // *Construction Management and Economics*. 2015. № 33(7). P. 531–553. DOI: 10.1080/01446193.2015.1063676
17. Ibadov N., Roslon J. Technology selection for construction project, with the use of fuzzy preference relation // *Archives of Civil Engineering*. 2015. № 61(3). P. 105–118. DOI: 10.1515/ace-2015-0028
18. Improved critical chain project management framework for scheduling construction projects / G. Ma, A. Wang, N. Li, L. Gu, Q. Ai // *Journal of Construction Engineering and Management*. 2014. № 140(12). P. 04014055. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000908
19. Horenburg T., Günthner W. A. Construction scheduling and resource allocation based on actual state data // *Computing in Civil Engineering*. 2013. P. 741–748 DOI: 10.1061/9780784413029.093.
20. Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O. Optimization of scheduling for construction corporation // 4th International Conference «Intelligent Systems Modelling & Simulation (ISMS)». Bangkok, Thailand Thailand, 2013, January. P. 310–314. DOI: 10.1109/ISMS.2013.112
21. Lorterapong P., Ussavadiokrit M. Construction scheduling using the constraint satisfaction problem method // *Journal of Construction Engineering and Management*. 2012. № 139(4). P. 414–422. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000582
22. Chen S.M., Chen P. H., Chang L. M. Simulation and analytical techniques for construction resource planning and scheduling // *Automation in construction*. 2012. № 21. P. 99–113. DOI: 10.1016/j.autcon.2011.05.018
23. Kim K., Walewski J., Cho Y. K. Multiobjective construction schedule optimization using modified niched pareto genetic algorithm // *Journal of Management in Engineering*. 2016. № 32(2). DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000374.
24. Klanšek U. Mixed-integer nonlinear programming model for nonlinear discrete optimization of project schedules under restricted costs // *Journal of Construction Engineering and Management*. 2016. № 142(3). P. 04015088. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001074.
25. Francis A. Graphical modelling classification for construction project scheduling // *Procedia Engineering*. 2015. № 123. P. 162–168. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.10.073

### References

1. Buzyrev V.V. (Ed.), Gusev E.V., Savel'eva I.P., Fedoseev I.V. *Planirovanie na stroitel'nom predpriyatii* [Planning at a construction company]. Moscow: KNORUS; 2010. 536 p. (In Russ.)
2. Gusev E.V., Hollay A.V. Construction management based on modeling technology of object construction. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2021;21(4):156–166. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr210414
3. Gusev E.V. *Tekhnologicheskoe modelirovanie i sbalansirovannoe planirovanie stroitel'no-montazhnykh rabot* [Technological modeling and balanced planning of construction and installation works]. Chelyabinsk: RIK “Redaktor”; IPTs “PEChAT”; 1990. 147 p. (In Russ.)
4. Gusev E. Construction and assembly works planning: optimization or search for solutions. *SHS Web of Conferences*. 2017;35:01147. DOI: 10.1051/shsconf/20173501147
5. Golub L.G., Lyashchenko E.N. *ASU stroitel'nogo tresta* [Automated control system of the construction trust]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1976. 177 p. (In Russ.)
6. Baldwin A., Bordoli D. Handbook for construction planning and scheduling. John Wiley & Sons, 2014.

7. Salem O., Mohanty S. Project management practices and information technology research. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2008;134(7):501–508. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:7(501)
8. MDS 12-81.2007 *Metodicheskie rekomendatsii po razrabotke i oformleniyu proekta organizatsii stroitel'stva i proekta proizvodstva rabot*. [MDS 12-81.2007 Methodological recommendations for the development and design of the project of the organization of construction and the project of work] TsNIIOMTP-M.: FGUP TsPP, 2007. 10 p. (In Russ.)
9. Antanavichyus K.A. *Mnogourovnevoe stokhasticheskoe modelirovanie otraslevykh planovykh resheniy* [Multilevel stochastic modeling of industry planning solutions]. Vil'nyus: Mokslas; 1977. 246 p. (In Russ.)
10. Antanavichyus K.A. *Modelirovanie i optimizatsiya v upravlenii stroitel'stvom* [Modeling and optimization in construction management]. Moscow, Stroyizdat Publ.; 1979. 197 p. (In Russ.)
11. Gusakov A.A. *Organizatsionno-tekhnologicheskaya nadezhnost' stroitel'nogo proizvodstva* [Organizational and technological reliability of construction production.]. Moscow, Stroyizdat Publ.; 1974. 254 p. (In Russ.)
12. Moiseev N.N. *Matematika stavit eksperiment* [Mathematics sets up an experiment]. Moscow: Nauka Publ.; 1970. 224 p. (In Russ.)
13. O'Connor J.T., O'Brien W. J., Ouk Choi J. Industrial project execution planning: modularization versus stick-built. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*. 2015;21(1):04015014. DOI: 10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000270
14. Oh E.H., Naderpajouh N., Hastak M., Gokhale S. Integration of the construction knowledge and expertise in front-end planning. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2015;142(2):04015067. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001050
15. Siu M.F.F., Lu M., AbouRizk S. Resource supply-demand matching scheduling approach for construction workforce planning. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2015;142(1):04015048. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001027
16. Gajpal Y., Elazouni A. Enhanced heuristic for finance-based scheduling of construction projects. *Construction Management and Economics*. 2015;33(7):531–553. DOI: 10.1080/01446193.2015.1063676
17. Ibadov N., Roslon J. Technology selection for construction project, with the use of fuzzy preference relation. *Archives of Civil Engineering*. 2015;61(3):105–118. DOI: 10.1515/ace-2015-0028
18. Ma G., Wang A., Li N., Gu L., Ai Q. Improved critical chain project management framework for scheduling construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2014;140(12):04014055. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000908
19. Horenburg T., Günthner W.A. Construction scheduling and resource allocation based on actual state data. *Computing in Civil Engineering*. 2013;741–748 DOI: 10.1061/9780784413029.093.
20. Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O. Optimization of scheduling for construction corporation. *4th International Conference "Intelligent Systems Modelling & Simulation (ISMS)"*. Bangkok, Thailand, 2013. P. 310–314. DOI: 10.1109/ISMS.2013.112
21. Lorterapong P., Ussavadiokrit M. Construction scheduling using the constraint satisfaction problem method. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2012;139(4):414–422. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000582
22. Chen S.M., Chen P.H., Chang L.M. Simulation and analytical techniques for construction resource planning and scheduling. *Automation in construction*. 2012;21:99–113. DOI: 10.1016/j.autcon.2011.05.018
23. Kim K., Walewski J., Cho Y.K. Multiobjective construction schedule optimization using modified niched pareto genetic algorithm. *Journal of Management in Engineering*. 2016;32(2). DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000374.
24. Klanšek U. Mixed-integer nonlinear programming model for nonlinear discrete optimization of project schedules under restricted costs. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2016;142(3):04015088. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001074.
25. Francis A. Graphical modelling classification for construction project scheduling. *Procedia Engineering*. 2015;123:162–168. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.10.073

**Информация об авторах:**

**Гусев Евгений Васильевич**, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной экономики, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; gusev@susu.ru.

**Бородин Сергей Игоревич**, кандидат экономических наук, доцент кафедры прикладной экономики, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; borodinsi@susu.ru.

**About the authors :**

**Evgeny V. Gusev**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Applied Economics, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; gusev@susu.ru

**Sergey I. Borodin**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Applied Economics, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; borodinsi@susu.ru

*Статья поступила в редакцию 05.12.2022, принята к публикации 15.12.2022.*

*The article was submitted 05.12.2022; approved after reviewing 15.12.2022.*