

ПРОБЛЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ ТЕМПОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПОТОКОВ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

PROBLEMS OF SYNCHRONIZING THE RATE OF CONSTRUCTION FLOWS DURING THE CONSTRUCTION OF RAILWAY INFRASTRUCTURE

Рассматриваются вопросы дальнейшего совершенствования организационно-технологического проектирования строительства железных дорог. Для эффективного управления строительством предлагается принимать организационно-технологические решения по возведению объектов, входящих в инфраструктуру железной дороги, на основе синхронизации строительных потоков. Для формирования методики синхронизации автором выполнены исследования по изучению в течение возведения объектов динамических колебаний темпов строительных потоков, установлен характер колебаний, определены спектральные характеристики темпов строительных потоков. На основе полученных результатов предлагается формировать (как наиболее устойчивый к дестабилизирующим факторам) межузловой строительный поток, решающий проблему синхронизации темпов и обеспечивающий наибольшую вероятность достижения директивного темпа комплексного потока по строительству железной дороги. Выбор приоритетных темпов строительных потоков различных уровней проводится с использованием вариантов типовой иерархической структуры темпов строительства рассматриваемой железной дороги.

Ключевые слова: темпы строительных потоков, синхронизация темпов, директивный темп строительства, вероятностные характеристики темпов, межузловой строительный поток.

The article discusses the issues of further improvement of organizational and technological design of railway construction. For effective construction management provision, it is proposed to make organizational and technological decisions on the construction of facilities included in the railway infrastructure basing on the synchronization of construction flows. For the formation of synchronization methodology, the author has carried out research on the study of dynamic fluctuations in the rate of construction flows during the construction of objects, established the nature of fluctuations, and determined the spectral characteristics of the rate of construction flows. Based on the obtained results, it is proposed to form an inter-nodal construction flow (as the most resistant to destabilizing factors) that would solve the problem of synchronization of rates and provide the highest probability of achieving the directive rate of the complex flow of railroad construction. The choice of priority rates of construction flows of various levels is made using variants of the typical hierarchical structure of the construction rates of the railway in question.

Keywords: rates of construction flows, synchronization of rates, directive rate of construction, probabilistic characteristics of rates, inter-nodal construction flow.

Введение

Реализация современных проектов создания железнодорожной инфраструктуры и исполнение директивных темпов про-

изводства работ требуют инновационных решений по организации строительства и его техническому оснащению. В рамках предварительного производственного про-

ектирования организации работ на основе данных проекта и рабочей документации разрабатывается системная модель. Формируется директивный график организации строительства всей железнодорожной линии с определением директивных темпов по объектным, специализированным и комплексному потокам.

Существующие методы календарного планирования строительства на различных моделях (калибровка, сглаживание критического (подкритического) пути, PERT, COST, Microsoft Project и др.) не предполагают оперирование непосредственно величинами темпов работ или потоков. Это приводит к тому, что по такому крупномасштабному комплексу работ, как сооружение новой железной дороги, первоначально разработанные графики теряют свое значение и должны пересоставляться.

Методы

Показатель темпа строительства [1–3] интегрирует в себе сложность, многообразие, внутреннюю взаимосвязь всего комплекса работ по возведению железной дороги. Он является наиболее доступным для применения количественных методов анализа [4–7], а также цифрового моделирования с целью оптимизации принимаемых организационно-технологических решений и эффективного управления строительством крупных транспортных объектов.

Ведение работ ускоренными темпами (в сжатые сроки), например, на широком фронте, сразу по всей трассе, и эффективное использование большого количества ресурсов требуют создания методики синхронизированного управления темпами всех многочисленных видов строительных потоков железнодорожного строительства.

Темп строительства новой железной дороги $V_{\text{ЦП}}$ является главным эксплуатационно-целевым показателем, так как рассчитывается на основе установленных сроков эксплуатационной готовности (в сочетании с пока-

зателями провозной способности линии), определяемых директивными отраслевыми, территориальными или федеральными документами. Как правило, это темп комплексного потока строительства всей железнодорожной линии, он же является директивным темпом. С его величиной синхронизируются ранговые эксплуатационно-целевые показатели: темпы комплексных потоков этапов строительства (комплексный поток набора работ и объектов для ввода в эксплуатацию при частичной готовности: рабочее движение, временная эксплуатация, пусковые комплексы), лотов (полный комплексный строительный поток при возведении линии участками). Темпы специализированных строительных потоков, обеспечивающих строительную готовность по видам основных работ и объектов — искусственные сооружения, земляные работы, верхнее строение пути и т. д., — синхронизируются с темпами реализации ранговых целей.

Сооружение железнодорожной линии имеет важную особенность — это сочетание линейных, линейно-площадочных и площадочных объектов, при этом некоторые из них имеют барьерный характер. Фронты работ по этим объектам, соответствующим сооружениям инфраструктуры железной дороги, имеют линейно-распределенный характер. Фронты работ строительства инфраструктуры железной дороги открыты для насыщения ресурсами на уровне объектных, специализированных и комплексного потоков. В зависимости от сложности, капиталоемкости, наличия барьерных объектов, уровня логистичности доставки материалов, условий подготовки фронтов специализированных потоков определяется схема синхронизации темпов специализированных потоков по одному из вариантов — А, Б или В (рис. 1):

$$A. V_{\text{ЦП}} = \{(V_{\text{п1эт}}); (V_{\text{п2эт}}) \dots (V_{\text{пNэт}})\}; \quad (1)$$

$$B. V_{\text{ЦП}} = \{(V_{\text{п1уч}}); (V_{\text{п2уч}}) \dots (V_{\text{пNуч}})\}; \quad (2)$$

$$B. V_{ЦП} = \{V_{з.р} \{V_{п.п}; V_{ис.с}; V_{у.п}; V_{бп1}; V_{бп2}\}\}, \quad (3)$$

где $V_{п1эт} \dots V_{пNэт}$ — темпы специализированных потоков этапов; $V_{п1уч} \dots V_{пNуч}$ — темпы специализированных потоков участков; N — количество этапов или участков; $V_{з.р}$ — темп объектного потока по сооружению земляного полотна; $V_{п.п}$ — темп комплексного потока подготовительного периода; $V_{ис.с}$ — темп объектного потока по возведению искусственных сооружений; $V_{у.п}$ — темп объектного потока по укладке железнодорожного пути; $V_{бп1}, V_{бп2}$ — темпы объектных потоков по балластировке железнодорожного пути на 1-й и 2-й слой.

Для сбора исходного материала и проведения аналитических расчетов автором использованы данные управления проектами в генподрядном тресте железнодорожного строительства, полученные с помощью интегрированной в этих производственных подразделениях системы Microsoft Project. В данном случае (рис. 2) организационно-

технологические модели частных и объектных потоков в виде файлов группируются в более крупные операции (специализированные потоки), что позволяет определять резервы времени и отклонения (опережение или отставание) темпов потоков $\Delta V_1, \Delta V_2$.

Колебания темпов (отставание или опережение) строительных потоков по отношению к директивным значениям в зависимости от возможностей реализации технологии являются нестационарными и носят стохастический характер. Вероятностные изменения темпов происходят по закону b-распределения [8], учитывающему опережение или отставание темпов, а совокупность моментов приближения их значений к директивным подчиняется нормальному закону распределения. Важным моментом в анализе вероятностных характеристик темпов строительства железной дороги является оценка вероятности приближения их величин к директивному темпу. Исполь-

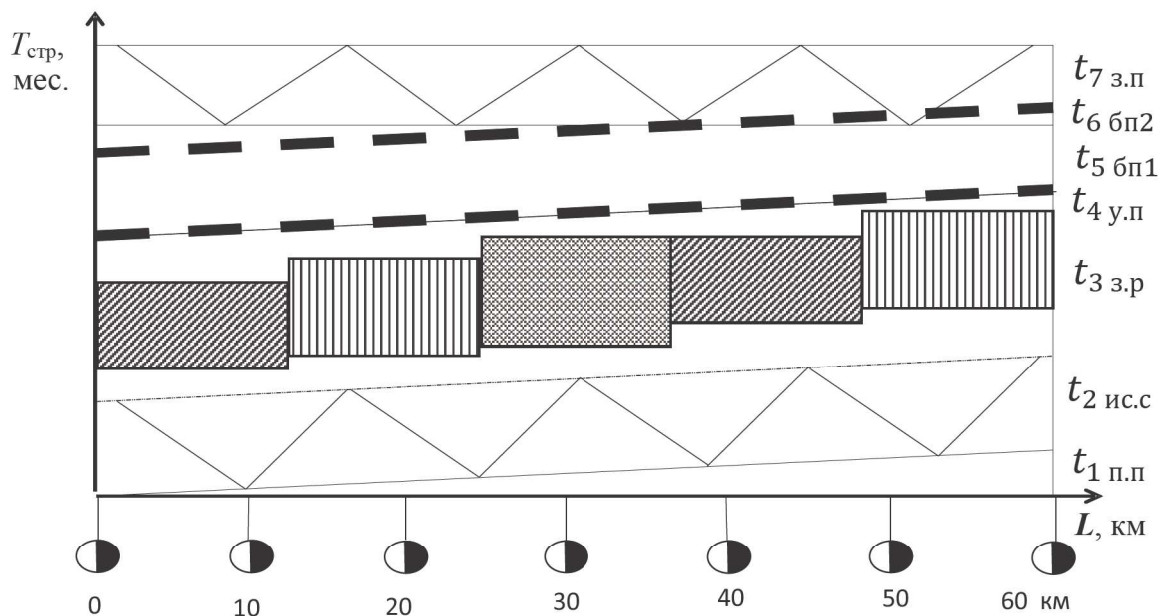


Рис. 1. Параметры (А, Б, В) соотношения срокообразующих темпов комплексных и специализированных потоков на календарном графике ПОС новой железной дороги (L — длина сооруженного полотна железной дороги, км; T — продолжительность строительства железной дороги, мес.; $t_{п.п}$ — время производства работ подготовительного периода; $t_{ис.с}$ — время производства работ по возведению искусственных сооружений; $t_{з.р}$ — время производства работ по сооружению земляного полотна; $t_{у.п}$ — время производства работ по укладке железнодорожного пути; $t_{бп1}$ — время производства работ по балластировке пути на 1-й слой; $t_{бп2}$ — время балластировки пути на 2-й слой; $t_{з.п}$ — время заключительного периода)

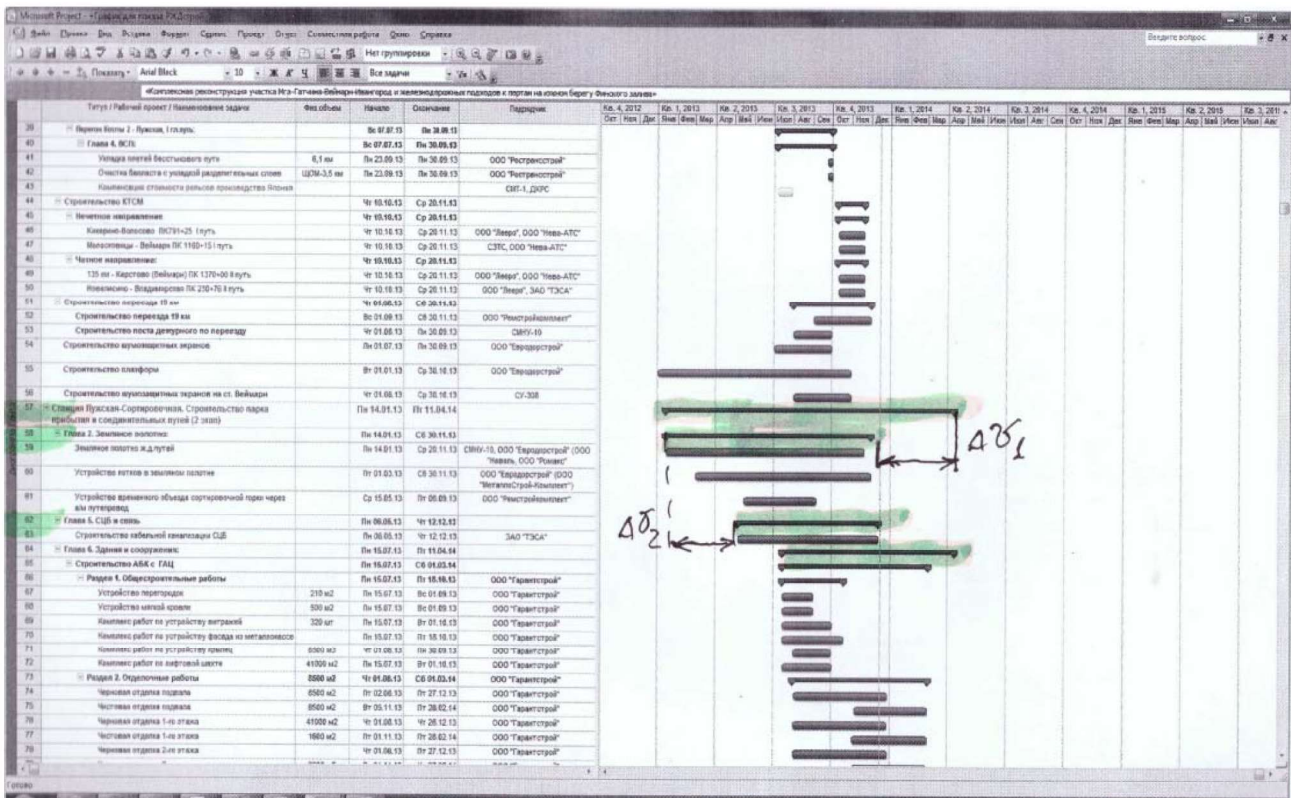


Рис. 2. Колебания темпов строительных потоков (ΔV_1 — опережение; ΔV_2 — отставание) по отношению к директивному темпу

зование графиков MS Project позволяет отслеживать отклонения темпов строительных потоков от номинала (директивного темпа) в отдельные моменты календарных сроков. Согласно основной граничной теореме теории вероятности, реализация директивного темпа V_d при опережении или отставании происходит с дисперсией σ^2/V_n (рис. 3).

Темпы реализации строительных потоков на таких объектах имеют различное влияние на вероятность реализации директивного темпа строительства. В связи с этим возможно неограниченное количество вариантов организационно-технологических решений [9, 10] и синхронизированного сочетания темпов потоков по критерию наибольшей вероятности реализации директивного темпа строительства (см. рис. 3). Максимальное развертывание ресурсов на широком фронте может быть осуществлено на основе оптимального сочетания (синхронизации) тем-

пов потоков низшего уровня для реализации темпов потоков высшего уровня вплоть до директивного темпа (темпа комплексного потока строительства всей линии).

Система организационно-технологических решений строительства новой железной дороги представляет собой многоцелевую модель с многоуровневым иерархическим подчинением целей (рис. 4). Достижение каждой цели характеризуется темпом работ или потоков, который, в свою очередь синхронизируется по количественному или порядковому принципу. Количественный принцип предполагает за ведущий (доминирующий) принимать минимальный темп, например, темп работ по критическому пути. Порядковый принцип учитывает требования технологической связанности и технологической последовательности выполнения и развития строительных потоков по готовности фронта работ [11, 12].

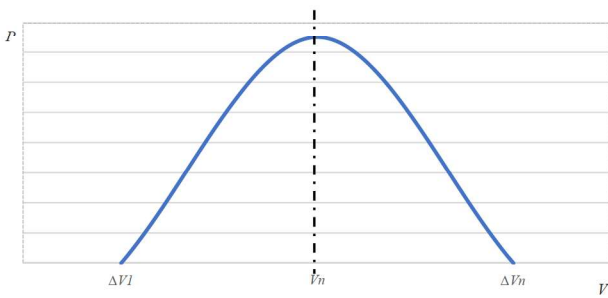


Рис. 3. Схема определения граничных условий вероятности достижения директивных темпов строительных потоков V_d

Результаты

Непрерывное ритмичное интенсивное производство работ по строительству объектов инфраструктуры железной дороги зависит от эффективного развертывания всех компонентов системы строительных потоков (уровни частных, объектных, специализированных, комплексных). Темпы потоков развиваются в зависимости от воздействия совокупного влияния различных факторов, соответствующих уровню потока. В целях дальнейшего совершенствования организационно-технологического проектирования и с учетом стохастично-

сти условий поддержания темпов производства работ на уровне директивных показателей необходимо выделить комплексы работ и соответствующие им потоки в общем объеме объектов инфраструктуры железной дороги, выполнение которых имеет целевой характер. Выполняется анализ (рис. 5) конструктивно-технологических, организационно-технологических, организационных взаимосвязей работ и объектов, формируются комплексы, имеющие самостоятельную производственно-хозяйственную или эксплуатационную готовность, — узлы [13]. По критерию синхронного исполнения темпов формируются модели поточного производства работ внутри узлов — как правило, частные потоки.

Затем по критерию исполнения директивного целевого темпа формируются межузловые потоки, которые являются основой и компонентами специализированных или директивного комплексного потоков. Принцип построения межузловых потоков — хозяйственная и инфраструктурная общность объектов, позволяющая без простоев работ вводить в эксплуатацию компоненты железнодорожной линии.

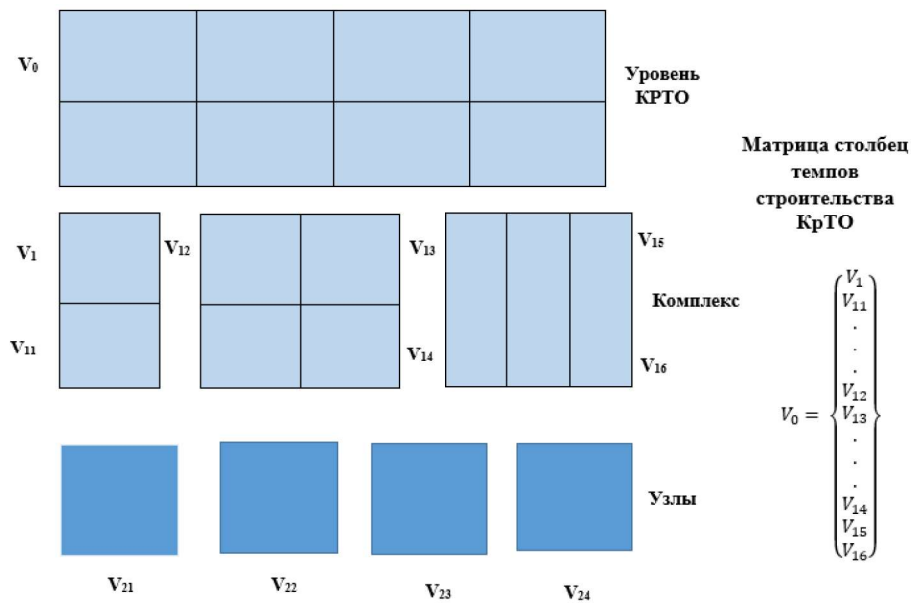


Рис. 4. Иерархическая структура темпов возведения крупного транспортного объекта КрТО (на примере новой железной дороги)



Рис. 5. Последовательность формирования строительных потоков при реконструкции станции узловым методом

На рис. 6 представлена схема формирования межузлового потока строительства станционной инфраструктуры. Поток объединяет комплексы работ по возведению таких важных технологических узлов железнодорожной станции, как локомотивное депо, парк грузовых поездов, контактная сеть, склады ГСМ и т. д.

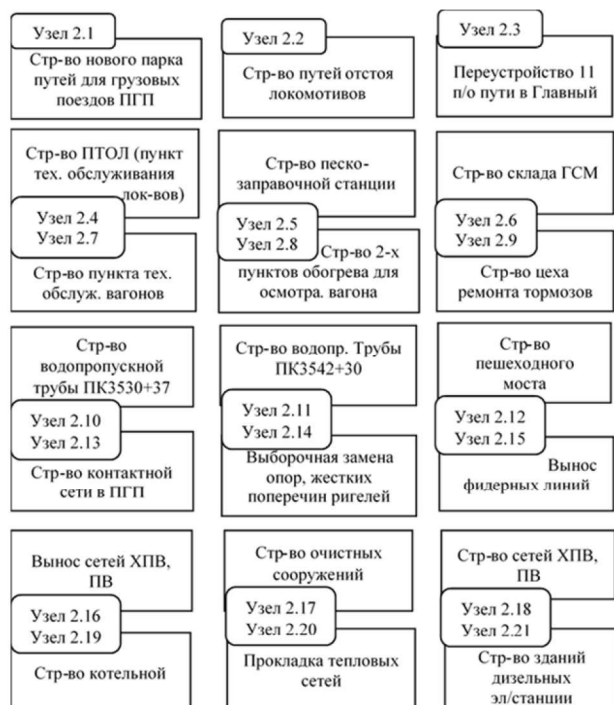


Рис. 6. Схема межузлового строительного потока на примере возведения объектов станционной инфраструктуры железной дороги

Выводы

Проблема синхронизации темпов строительства сложных многокомпонентных объектов инфраструктуры железной дороги в настоящее время решена недостаточно. Ее решение повысит эффективность и уровень организации железнодорожного строительства за счет уменьшения простоев фронтов работ для потоков всех уровней и повышения уровня ритмичности, своевременного исполнения комплексов работ, входящих в этапы и очереди. Формирование темпов строительных потоков является вероятностным процессом, параметры которого необходимо учитывать в организационно-технологическом проектировании. Наиболее устойчивые вероятностные параметры имеют темпы межузловых потоков. Формирование комплексного потока из совокупности межузловых дает возможность проводить целевую синхронизацию темпов и таким образом выполнять эксплуатационно-целевые показатели железнодорожного строительства в установленные директивные сроки.

Библиографический список

1. Будников М. С., Недавний П. И., Рыбальский В. И. Основы поточного строительства. Киев: Госстройиздат, 1961. 414 с.
2. Ланидус А. А. Актуальные проблемы организационно-технологического проектирова-

ния // Технология и организация строительного производства. 2013. № 3. С. 1.

3. Олейник П. П. Организация строительного производства. М.: МГСУ: АСВ, 2010. 573 с. (Библиотека научных разработок и проектов МГСУ.)

4. Болотин С. А., Мещанинов И. Ю. Основы постановки частной задачи комбинаторной оптимизации строительства комплекса объектов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2009. № 2 (602). С. 38–42.

5. Болотин С. А., Мещанинов И. Ю. Методика оценки чувствительности схемы реализации комбинаторной оптимизации очередности освоения объектов // Вестник гражданских инженеров. 2009. № 2 (19). С. 20–24.

6. Калугин Ю. Б., Романов Р. С. Особенности оптимизации поточной организации работ с вероятностными временными параметрами // Петербургская школа поточной организации строительства. Материалы II Междунар. науч.-практ. конф., посв. 100-летию со дня рождения профессора Виктора Алексеевича Афанасьева. Санкт-Петербург, 21–22 февраля 2023 г. СПб.: СПбГАСУ, 2023. С. 6–11.

7. Гусаков А. А., Веремеенко С. А., Гинзбург А. В., Монфред Ю. Б. Организационно-технологическая надежность строительства / ред.-сост. А. А. Гусаков. М.: SVR-Аргус, 1994. 472 с.

8. Вейтцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М.: Наука, 1988. 480 с.

9. Кабанов А. В. Инновационные подходы к разработке организационно-технологической документации в транспортном строительстве // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2023. Т. 20. № 2. С. 273–278.

10. Кабанов А. В. Операционный анализ вариантов организации строительства транспортных обходов городов на целевых и технологических графах // Бюллетень результатов научных исследований. 2023. № 1. С. 69–76.

11. Кабанов А. В. Совершенствование системы строительных потоков при строительстве и реконструкции железнодорожных сортировочных станций // Петербургская школа поточной организации строительства. Материалы II Междунар. науч.-практ. конф., посв. 100-летию со дня рождения профессора Виктора Алексеевича Афанасьева. Санкт-Петербург, 21–22 февраля 2023 г. СПб.: СПбГАСУ, 2023. С. 20–25.

12. Кабанов А. В., Жемчугова Н. А. Исследование организационно-технологических моделей переустройства железнодорожных сортировочных станций // Известия ПГУПС. 2016. № 3. С. 293–301.

13. Кабанов А. В. Узловой метод организации строительства крупных транспортных объектов на примере реконструкции железнодорожной станции // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 10. С. 82–85.

References

1. Budnikov M. S., Nedavniy P. I., Rybal'skiy V. I. *Osnovy potochnogo stroitel'stva* [Fundamentals of flow construction]. Kiev, Gosstroyizdat Publ., 1961, 414 p.

2. Lapidus A. A. *Aktual'nye problemy organizatsionno-tekhnologicheskogo proektirovaniya* [Actual problems of organizational and technological design]. *Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva – Technology and organization of construction production*, 2013, no. 3, p. 1.

3. Oleynik P. P. *Organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva* [Organization of construction production]. Moscow, MGSU, ASV Publ., 2010, 573 p. (Library of scientific developments and projects of MSCU).

4. Bolotin S. A., Meshchaninov I. Yu. *Osnovy postanovki chastnoy zadachi kombinatornoy optimizatsii stroitel'stva kompleksa ob'ektov* [Bases of statement of a private problem of combinatorial optimization of construction of a complex of objects]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo – Bulletin of Higher Educational Institutions. Construction*, 2009, no. 2 (602), pp. 38–42.

5. Bolotin S. A., Meshchaninov I. Yu. *Metodika otsenki chuvstvitel'nosti skhemy realizatsii kombinatornoy optimizatsii ocherednosti osvoeniya ob'ektov* [Methodology of sensitivity estimation of the scheme of realization of combinatorial optimization of the order of objects development]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2009, no. 2 (19), pp. 20–24.

6. Kalugin Yu. B., Romanov R. S. *Osobennosti optimizatsii potochnoy organizatsii rabot s veroyatnostnymi vremennymi parametrami* [Features of optimization of stream organization of works with probabilistic time parameters]. *Trudy II Mezhdunar. nauch.-prakt.konf., posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya professora Viktora Alekseevicha Afanas'eva. Sankt-Peterburg, 21–22 fevralya 2023 g. «Peterburgskaya shkola potochnoy organizatsii stroitel'stva»* [Proc. of the II Int. sci. - pract. conf., devoted to the 100-th anniversary of the birth of Prof. V. A. Afanasyev, St. Petersburg, February 21–22, 2023 “St. Petersburg school of flow organization of construction”]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2023, pp. 6–11.

7. Gusakov A. A., Veremeenko S. A., Ginzburg A. V., Monfred Yu. B. *Organizatsionno-tekhnologicheskaya nadezhnost' stroitel'stva* [Organizational and technological reliability of construction]. Ed. by Gusakov A. A. Moscow, SVR-Argus Publ., 1994, 472 p.

8. Venttsel' E. S., Ovcharov L. A. *Teoriya veroyatnostey i ee inzhenernye prilozheniya* [Theory of probabilities and its engineering applications]. Moscow, Nauka Publ., 1988, 480 p.

9. Kabanov A. V. *Innovatsionnye podkhody k razrabotke organizatsionno-tekhnologicheskoy dokumentatsii v transportnom stroitel'stve* [Innovative approaches to the development of organizational and technological documentation in transport construction]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya – Bulletin of St. Petersburg University of Railway Transport*, 2023, vol. 20, no. 2, pp. 273–278.

10. Kabanov A. V. *Operatsionniy analiz variantov organizatsii stroitel'stva transportnykh obkhodov gorodov na tselevykh i tekhnologicheskikh grafakh* [Operational analysis of variants of organization of construction of transport bypasses of cities on target and technological graphs]. *Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy – Bulletin of Scientific Research Results*, 2023, no. 1, pp. 69–76.

11. Kabanov A. V. *Sovershenstvovanie sistemy stroitel'nykh potokov pri stroitel'stve i rekonstruktsii zheleznodorozhnykh sortirovochnykh stantsiy* [Improvement of the system of construction flows at construction and reconstruction of railway marshalling

stations]. *Trudy II Mezhdunar. nauch.-prakt.konf., posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya professora Viktora Alekseevicha Afanaseva. Sankt-Peterburg, 21–22 fevralya 2023 g. «Peterburgskaya shkola potochnoy organizatsii stroitel'stva»* [Proc. of the II Intern. scientific-practical conf. dedicated to the 100-th anniversary of the birth of Prof. V. A. Afanasyev, St. Petersburg, February 21–22, 2023 “St. Petersburg school of flow organization of construction”]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2023, pp. 20–25.

12. Kabanov A. V., Zhemchugova N. A. *Issledovanie organizatsionno-tekhnologicheskikh modeley pereustroystva zheleznodorozhnykh sortirovochnykh stantsiy* [Investigation of organizational and technological models of railway marshalling stations rearrangement]. *Izvestiya PGUPS – Bulletin of PSUPS*, 2016, no. 3, pp. 293–301.

13. Kabanov A. V. *Uzlovoy metod organizatsii stroitel'stva krupnykh transportnykh ob'ektov na primere rekonstruktsii zheleznodorozhnoy stantsii* [Nodal method of organizing the construction of large transport facilities by the example of railway station reconstruction]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and Civil Construction*, 2014, no. 10, pp. 82–85.