УДК 69.00

© Е. И. Рыбнов, д-р экон. наук, к. т. н., профессор

© А. Н. Егоров, д-р экон. наук, к. т. н., профессор

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: anrie2000@mail.ru

© З. Хейдуцкий, д-р техн. наук, профессор

(Вроцлавский политехнический университет,
Польша)

E-mail: zdzislaw.hejducki@pwr.edu.pl

© Н. Г. Гдимиан, управляющий проектами

(Офис проектирования и надзора в строительстве
в г. Казвине, Иран)

E-mail: n.ghadimian@gmail.com

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-3-98-102

© E. I. Rybnov, Dr. Sci. Ec., PhD in Sci. Tech., Professor

© A. N. Egorov, Dr. Sci. Ec., PhD in Sci. Tech., Professor

(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)

E-mail: anrie2000@mail.ru

© Z. Hejducki, Dr. Sci. Tech., Professor

(Wroclaw University of Science and Technology, Poland)

E-mail: zdzislaw.hejducki@pwr.edu.pl

© N. G. Ghadimian, Project Manager

(Office of Design and Building Supervision
in Qazvin, Iran)

E-mail: n.ghadimian@gmail.com

ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТРУКТУР ПРИ КРУПНОМАСШТАБНОМ ЖИЛИЩНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

ORGANIZATION AND PLANNING OF PRODUCTION STRUCTURES' WORK AT LARGE-SCALE HOUSING CONSTRUCTION

Рассмотрены вопросы организации и планирования работы производственных структур с высоким уровнем организационно-технологической мобильности для строительства по реновации кварталов массовой городской застройки в Москве, Санкт-Петербурге и других городах. Предлагается при организации жилищного строительства выполнять структуризацию строительных мощностей на планово-целевые и адаптивные производственные структуры, позволяющие выравнивать производственный ритм, а также отрабатывать инновационные форсированные строительные технологии. Предлагается планирование их работы на основе метода временных сочетаний. Рассматриваются вопросы оптимального выпуска продукции на заводах по производству строительных материалов и конструкций для материально-технического обеспечения строительства.

Ключевые слова: реновация кварталов, крупномасштабное строительство, организация строительства, организационно-технологическая мобильность, моделирование.

The article considers the issues associated with organization and planning of work at production structures with a high level of organizational and technological mobility at large-scale renovation of mass urban development quarters in Moscow, St. Petersburg, etc. It is suggested to perform structuring of the building capacities into two groups, namely, plan-targeted structures and adaptive production structures, for organizing housing construction, which will allow to align the production rhythm and develop augmented innovative technologies. It is proposed to plan the work on the basis of the time coupling method (TCM). The issues of optimal building material production at the plants for material and technical supply of construction are considered.

Keywords: renovation of urban quarters, large-scale construction, construction organization, organizational and technological mobility, modeling.

Реновация кварталов массовой городской застройки в Москве, Санкт-Петербурге и других крупных городах России¹ потребует высокого уровня организации строительного производ-

ства. При этом актуальность формирования эффективной производственной системы, обеспечивающей организационно-технологическую надежность строительства в условиях крупномасштабного возведения объектов жилья и инфраструктуры, значительно возрастает [1–2].

¹ Постановление Правительства Москвы от 1 августа 2017 г. № 497-ПП «О Программе реновации жилищного фонда в городе Москве». URL: <https://www.mos.ru/upload/documents/docs/PP-497.pdf>.

Важная роль в обеспечении организационно-технологической надежности строительства отводится эффективной организации низовых производственных структур, выполняющих строительно-монтажные работы на объектах реновации жилых кварталов. Данные производственные структуры должны обладать высоким уровнем организационно-технологической мобильности, которая позволяла бы восстанавливать при необходимости производственный ритм, внедрять инновационные конструктивно-технологические решения, отрабатывать современные форсированные технологии в условиях конкретного строительства [3–5].

В связи с вышеизложенным предлагается структуризация производственных мощностей, задействованных на объектах крупномасштабного строительства, с выделением *планово-целевых структур* (50–70 % от M_0 — общей производственной мощности), в задачу которых входит выполнение строительно-монтажных работ на объектах первой очереди, и *адаптивных структур* (30–50 % от M_0), в составе которых формируются *структуры ситуационного реагирования* (10–20 % от M_0) — для выравнивания при необходимости производственного ритма и/или установления высоких темпов строительства на объектах первой очереди; *инновационных структур* (5–10 % от M_0) для работы на объектах со сложными конструктивно-технологическими решениями и отработки форсированных скоростных технологий строительства; *структур задельного производства* (15–20 % от M_0) для создания задела и раскрытия фронтов работ на объектах, что создаст своего рода производственный резерв в виде выполненных строительно-монтажных работ [5–8].

Крупномасштабное строительство реализуется, как правило, в высокودинамичных производственных условиях. Поэтому предлагаемая структуризация основного производства потребует в дальнейшем реструктуризации в соответствии со складывающимися производственными ситуациями в процессе реализации инвестиционно-строительных проектов жилищного строительства и инфраструктуры при реновации кварталов.

Планирование работы вышерассмотренных производственных низовых структур целесо-

образно осуществлять на основе метода временных сочетаний (TCM, Time Couplings Method), позволяющего эффективно минимизировать продолжительность строительства объектов [9]. TCM основывается на широко применяемом в практике строительства методе декомпозиций сложных проектов WBS (Work Breakdown Structure), к которым, безусловно, следует отнести проекты крупномасштабной реновации кварталов в крупных городах России. Планирование строительно-монтажных работ на объектах по методу TCM на основе временных сочетаний между строительными процессами позволяет оптимизировать сроки строительства с учетом ресурсных и технологических ограничений.

Метод временных сочетаний является развитием научных идей, выдвинутых Петербургской школой поточного строительства ЛИСИ (ныне СПбГАСУ) во главе с профессором В. А. Афанасьевым [10].

Развитие данного направления исследований — совершенствование поточной организации СМР при возведении строительных объектов — осуществила команда ученых под руководством профессора Ю. Мрозовича из Польши [11], при этом объектом углубленного анализа ученых и их последователей были прямые и обратные ранговые диагональные связи и их комбинации в моделях организации поточного строительства, возможности использования алгоритмов искусственного интеллекта, эволюционных алгоритмов, алгоритма Tabu Search, позволяющего находить из локальных глобальное оптимальное решение, и др. [12–16].

В рассматриваемом строительстве целесообразно применять оптимальное оперативно-производственное планирование по критерию максимальной готовности объекта при ресурсных и технологических ограничениях [17].

Важное значение для успешной реализации проектов крупномасштабного возведения объектов имеют вопросы материально-технического обеспечения строительства [18]. На наш взгляд, производственные мощности по выпуску строительных материалов и конструкций должны загружаться на основе оптимизационного экономико-математического моделирования [19]. Предлагается следующая модель оптимального планирования выпуска продукции пред-

приятными материально-технической базы рассматриваемого строительства:

$$F_{ij}^0 = \max \sum_{j=1}^m c_{ij} V_{ij} \quad (1)$$

при ограничениях по ресурсам:

$$\sum_{j=1}^m b_{ij} V_{ij} = k_{ij}^H k_{ij}^{HB} k_{ij}^{PB} NT \quad (j = 1, \dots, m); \quad (2)$$

$$b_{ij} V_{ij} = B_{1i} \quad (j = 1, \dots, m_1); \quad (3)$$

$$0 \leq b_{ij} V_{ij} \leq B_{2i} \quad (j = m_1 + 1, \dots, m_2); \quad (4)$$

$$B_{3i} \leq b_{ij} V_{ij} \leq B_{4i} \quad (j = m_2 + 1, \dots, m), \quad (5)$$

где F_{ij}^0 — целевая функция максимизации выпуска строительных материалов и изделий j -го вида на i -х заводах в стоимостном выражении; m — количество видов j -х материалов и изделий, выпускаемых на i -х заводах; b_{ij} — норма времени на производство единицы j -х материалов и изделий, выпускаемых на i -х заводах; V_{ij} — объем производства j -го вида строительных материалов на i -м заводе в натуральных показателях; k_{ij}^H — коэффициент уровня инновационности i -го завода по производству строительных материалов j -го вида, учитывающий повышение производительности на i -х заводах; k_{ij}^{HB} — коэффициент негативного влияния на производство строительных материалов и изделий j -го вида на i -х заводах; k_{ij}^{PB} — коэффициент позитивного влияния на производство строительных материалов и изделий j -го вида на i -х заводах; N — трудовой ресурс (общее количество рабочих на i -х заводах); T — продолжительность планируемого периода; $B_{1i}, B_{2i}, B_{3i}, B_{4i}$ — граничные значения трудозатрат по выпуску строительных материалов и изделий j -го вида на i -х заводах.

В случае, если существующих производственных мощностей по выпуску строительных материалов и изделий для обеспечения крупномасштабного строительства недостаточно, следует предусмотреть ввод новых мощностей на основе оптимизационного моделирования по критерию максимизации выпуска продукции.

Вывод. Применение деvelopeрами предложенной в статье модели организации и планирования работы производственных структур в системе с моделью организационно-технологического управления [20] обеспечит организационно-технологическую надежность строительства объектов жилья и инфраструкту-

ры по реновации кварталов массовой городской застройки в крупных городах России.

Библиографический список

1. Мухаметзянов З. Р., Гусев Е. В. Проблемы совершенствования организационно-технологических моделей строительства объекта // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 4. С. 68–69.
2. Егоров А. Н., Шприц М. Л., Гдимиян Н. Г. К вопросу функционирования и развития инвестиционно-строительного комплекса России в современных условиях // Сб. науч. тр. РААСН «Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли РФ в 2015 г.». М.: АСВ, 2016. С. 477–482.
3. Dikmen I., Birgonul M. T., Sapci N. E., Ozorhon B. Using analytic network process to assess business failure risks of construction firms // Engineering Construction & Architectural Management. 2010. Vol. 17. № 4. Pp. 369–386.
4. Hendrickson C., Au T. Project management for construction: fundamental concepts for owners, engineers, architects, and builders. 2nd ed. Pittsburgh: Carnegie Mellon Univ., 2008. 537 p.
5. Егоров А. Н. Организация и управление экстренным строительством. 3-е изд. СПб.: СПбГАСУ, 2017. 101 с.
6. Sadi A., Sadiq A. Causes of delay in large construction projects // International Journal of Project Management. 2006. Vol. 24 (4). Pp. 349–357.
7. Егоров А. Н., Шприц М. Л., Гдимиян Н. Г. Инновационные технологии в строительстве // Строительство и реконструкция. 2015. № 3 (59). С. 130–137.
8. The management of technological innovation. New York: Harvard business review, 1982. 178 p.
9. Hejducki Z., Rogalska M. Time coupling methods: construction scheduling and time/cost optimization. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2011. 100 s.
10. Афанасьев В. А. Поточная организация строительства. Л.: Стройиздат, 1990. 292 с.
11. Mrozowicz J. Methods of organizing construction activities taking into account time couplings. Wrocław: Publishing House of Wrocław University of Technology, 1997.
12. Рогальска М., Хейдуцки З., Егоров А. Н. Organization methods in construction project management // Сб. тр. междунар. науч.-практ. конф. «Наука и инновации в современном строительстве — 2007». СПб.: СПбГАСУ, 2007. С. 148–152.
13. Bożejko W., Hejducki Z., Uchroński M., Wodecki M. Solving resource-constrained construction scheduling

problems with overlaps by metaheuristic // *Journal of Civil Engineering and Management*. 2014. Vol. 20, iss. 5. Pp. 649–659. DOI: 10.3846/13923730.2014.90.649-659.

14. Bożejko W., Hejducki Z., Wodecki M. Applying metaheuristic strategies in construction projects management // *Journal of Civil Engineering and Management*. 2012. Vol. 18, Issue 5. Pp. 621–630.

15. Rogalska M., Bożejko W., Hejducki Z. Time/cost optimization using hybrid evolutionary algorithm in construction project scheduling // *Automation in Construction*. 2008. Vol. 18 (1). Pp. 24–31.

16. Bożejko W., Hejducki Z., Rogalska M., Wodecki M. Scheduling of construction projects with a hybrid evolutionary algorithm's application // *Evolutionary algorithms* / ed. by Eisuke Kita. Rijeka: InTech., 2011. Pp. 295–308.

17. Егоров А. Н., Шприц М. Л. Оптимальное оперативно-производственное планирование строительства многофункциональных комплексов с учетом факторного влияния // *Вестник гражданских инженеров*. 2015. № 1 (48). С. 97–101.

18. Егоров А. Н., Иванова Т. А. Обеспечение стабильности функционирования предприятий сборного железобетона // *Промышленное и гражданское строительство*. 2009. № 3. С. 37–38.

19. Канторович Л. В. Математические методы организации и планирования производства. М.: Наука, 1984. 67 с.

20. Рыбнов Е. И., Егоров А. Н. К вопросу организации крупномасштабного строительства по реновации кварталов массовой городской застройки // *Вестник гражданских инженеров*. 2017. № 5 (64). С. 188–192.

References

1. Mukhametzyanov Z. R., Gusev E. V. *Problemy sovershenstvovaniya organizatsionno-tekhnologicheskikh modeley stroitel'stva ob'ekta* [Problems of improving the organizational and technological models of the project construction]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and civil engineering*, 2012, no. 4, pp. 68–69.

2. Egorov A. N., Shprits M. L., Gdimiyani N. G. *K voprosu funktsionirovaniya i razvitiya investitsionno-stroitel'nogo kompleksa Rossii v sovremennykh usloviyakh* [To the issue a functioning and development of investment-construction complex in Russia in modern conditions]. *Sb. nauch. tr. RAASN «Fundamental'nye, poiskovye i prikladnye issledovaniya RAASN po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arkhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noy otrasli RF v 2015 g.»* [Coll. of sci. works RAACS "Fundamental, search and applied RAACS studies on scientific support for development of architecture, urban planning and construction field in the Russian Federation in 2015"]. Moscow, ASV Publ., 2016, pp. 477–482.

3. Dikmen I., Birgonul M. T., Sapci N. E., Ozorhon B. Using analytic network process to assess business failure risks of construction firms. *Engineering Construction & Architectural Management*, 2010, vol. 17, no. 4, pp. 369–386.

4. Hendrickson C., Au T. *Project management for construction: fundamental concepts for owners, engineers, architects, and builders*. 2nd. ed. Pittsburgh, Carnegie Mellon Univ. Publ., 2008, 537 p.

5. Egorov A. N. *Organizatsiya i upravlenie ehkstretnym stroitel'stvom* [Organization and management of the emergency construction]. 3-rd. ed. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2017, 101 p.

6. Sadi A., Sadiq A. Causes of delay in large construction projects. *International Journal of Project Management*, 2006, vol. 24 (4), pp. 349–357.

7. Egorov A. N., Shprits M. L., Gdimiyani N. G. *Innovatsionnye tekhnologii v stroitel'stve* [Innovative technologies in construction]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya – Construction and reconstruction*, 2015, no. 3 (59), pp. 130–137.

8. *The management of technological innovation*. New York, Harvard Business Review Publ., 1982, 178 p.

9. Hejducki Z., Rogalska M. *Time coupling methods: construction scheduling and time/cost optimization*. Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej Publ., 2011, 100 p.

10. Afanashev V. A. *Potochnaya organizatsiya stroitel'stva* [Streamline organization of construction]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1990, 292 p.

11. Mrozowicz J. *Methods of organizing construction activities taking into account time couplings*. Wrocław, Wrocław University of Technology Publ., 1997.

12. Rogalska M., Kheydutski Z., Egorov A. N. *Organization methods in construction project management. Sb.tr. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Naukai i mnovatsii v sovremennom stroitel'stve — 2007»* [Proc. of the Int. sci.-pract. conf. "Science and innovations in modern construction"]. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2007, pp. 148–152.

13. Bożejko W., Hejducki Z., Uchroński M., Wodecki M. Solving resource-constrained construction scheduling problems with overlaps by metaheuristic. *Journal of Civil Engineering and Management*, 2014, vol. 20, iss. 5, pp. 649–659. DOI: 10.3846/13923730.2014.90.649-659.

14. Bożejko W., Hejducki Z., Wodecki M. Applying metaheuristic strategies in construction projects management. *Journal of Civil Engineering and Management*, 2012, vol. 18, iss. 5, pp. 621–630.

15. Rogalska M., Bożejko W., Hejducki Z. Time/cost optimization using hybrid evolutionary algorithm in construction project scheduling. *Automation in Construction*, 2008, vol. 18 (1), pp. 24–31.

16. Bożejko W., Hejducki Z., Rogalska M., Wodecki M. *Scheduling of construction projects with a hybrid evolutionary algorithm's application. Evolutionary algorithms*. Ed. by Eisuke Kita. Rijeka, InTech Publ., 2011, pp. 295–308.

17. Egorov A. N., Shprits M. L. *Optimal'noe operativno-proizvodstvennoe planirovanie stroitel'stva mnogofunktsional'nykh kompleksov s uchetom faktornogo vliyaniya* [Optimal operative-production planning of multifunctional complexes construction taking into account of factor-influence]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2015, no. 1 (48), pp. 97–101.

18. Egorov A. N., Ivanova T. A. *Obespechenie stabil'nosti funktsionirovaniya predpriyatiy sbornogo zhelezobetona*

[Ensuring the stability of work at enterprises producing reinforced concrete items]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and civil construction*, 2009, no. 3, pp. 37–38.

19. Kantorovich L. V. *Matematicheskie metody organizatsii i planirovaniya proizvodstva* [Mathematic methods of construction process organization and planning]. Moscow, Nauka Publ., 1984, 67 p.

20. Rybnov E. I., Egorov A. N. *K voprosu organizatsii krupnomasshtabnogo stroitel'stva po renovatsii kvartalov massovoy gorodskoy zastroyki* [About the organization of large-scale construction for the renovation of old quarters of mass urban development]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2017, no. 5 (64), pp. 188–192.