

Поэтапная оптимизация календарного графика строительства комплекса зданий и сооружений в г. Новочеркасске Ростовской области

УДК 69.036 (083.58)

Шутова М.Н.

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленное гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение», ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (г. Новочеркасск), e-mail: Shutovapublish@mail.ru

Соколова С.А.

Бакалавр по направлению 08.03.01 «Строительство», ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (г. Новочеркасск); e-mail: sveta.sokolova19sokolova@yandex.ru

Статья получена: 27.10.2020. Рассмотрена: 28.10.2020. Одобрена: 29.11.2020. Опубликовано онлайн: 30.12.2020. ©РИОР

Аннотация. Статья посвящена вопросу оптимизации календарного графика возведения комплекса зданий и сооружений, обязательно при разработке проекта организации строительства. Особая сложность при разработке комплексного графика состоит в том, что необходимо учесть работы по выносу и переустройству значительного объема инженерных коммуникаций, а также работы по демонтажу аварийного здания для освобождения пятна застройки. Проводится сравнение нескольких вариантов организации работ с учетом последовательной и поточной организации строительства, а также деление общего фронта работ на захватки, обусловленные технологическими особенностями проведения демонтажных и строительных работ.

Ключевые слова: оптимизация календарного графика, комплексный календарный график, поточный метод организации работ.

Основной проблемой при разработке организационно-технической документации является определение оптимальной продолжительности строительства. Срок строительства должен удовлетворять не только пожеланиям заказчика, но и возможностям строительных организаций по проведению работ в кратчайшие сроки.

На сегодняшний день серьезной проблемой в строительстве является срыв сроков строительства [8; 12]. Это приводит к увеличению затрат по реализации проекта и соответственно к упущенной выгоде участников строительства [11; 13].

PHASED OPTIMIZATION OF THE CALENDAR SCHEDULE FOR THE CONSTRUCTION OF A COMPLEX OF BUILDINGS AND STRUCTURES IN THE CITY OF NOVOCHERKASSK, ROSTOV REGION

Shutova M.N.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Industrial Civil Engineering, Geotechnics and Foundations, Platov South-Russian State Polytechnical University (NPI), Novocherkassk; e-mail: Shutovapublish@mail.ru

Sokolova S.A.

Bachelor's Degree Student, Direction "Construction" 08.03.01, Platov South-Russian State Polytechnical University (NPI), Novocherkassk; e-mail: sveta.sokolova19sokolova@yandex.ru

Manuscript received: 27.10.2020. **Revised:** 28.10.2020. **Accepted:** 29.11.2020. **Published online:** 30.12.2020. ©RIOR

Abstract. The article is devoted to the issue of optimization of the calendar schedule for the construction of a complex of buildings and structures, which is mandatory in the development of a construction organization project. A particular difficulty in developing a comprehensive schedule is that it is necessary to take into account the work on the removal and reconstruction of a significant amount of engineering communications, as well as work on the dismantling of an emergency building to clear the building spot. A comparison is made of several options for organizing work, taking into account the sequential and flow organization of construction, as well as dividing the general front of work into captures, due to the technological features of dismantling and construction work.

Keywords: schedule optimization, complex schedule, flow method of work organization.

Значительный вклад в постановке и решении задач в области организации, планирования и управления строительного комплекса внесли следующие ученые: С.А. Баркалов [1], С.А. Болотин [4], В.И. Воропаев [5], П.Г. Грабовый [6], Л.Б. Зеленцов [7], В.Я. Мищенко [9].

С.А. Болотин в своих работах [2; 3] рассматривал эффективность инвестиционно-строительных проектов по критериям чистого дисконтированного дохода и внутренней нормы доходности.

В.К. Нефедова в своей работе [11] исследовала методы организации, управления и планирования строительства, ориентированные на их практическое применение через компьютерные программы.

В.Я. Мищенко [10] рассматривает основополагающие вопросы формирования организационно-технологической системы строительных объектов с позиции многокритериального отбора оптимальных решений с выбором наиболее устойчивого варианта.

Применение многокритериальной оптимизации при разработке календарных графиков строительства сложных технических объектов позволяет на стадии разработки организационно-технологической документации учесть большинство рисков строительного производства и рассчитать адекватный срок строительства объекта.

Особую сложность представляет проектирование комплексных календарных графиков, в которых необходимо учитывать одновремен-

ные работы на нескольких строительных объектах в рамках одного проекта.

Так, при проектировании здания девятиэтажного общежития ФГБОУ ВО «Южно-Российском государственном политехническом университете (НПИ) имени М.И. Платова» в г. Новочеркасске Ростовской области возникла необходимость в увязке нескольких десятков работ, проводимых одновременно на разных захватках.

Здание общежития возводится на территории студенческого городка ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова, расположенного в границах улиц Троицкая, им. Энгельса, Первомайская и Михайловская в г. Новочеркасске. Комплекс студгородка состоит из семи общежитий, столовой и кафе, а также коммунальных объектов инженерной инфраструктуры. Для строительства здания общежития и замены трансформаторной подстанции в планировочной структуре комплекса выделена территория, находящаяся в резерве развития студенческого городка (рис. 1).

Здание общежития представляет собой девятиэтажное здание «Г» образной формы в плане, разделено на 2 деформационных блока по оси 13 с габаритами: 40,30 × 122,1 м. Конструктивная схема здания — железобетонный каркас, с монолитными колоннами и безбалочными монолитными перекрытиями. Плиты перекрытия, покрытия — безбалочные, монолитные толщиной 200 мм из бетона класса В25, W6 по водонепроницаемости и марки F100 по моро-

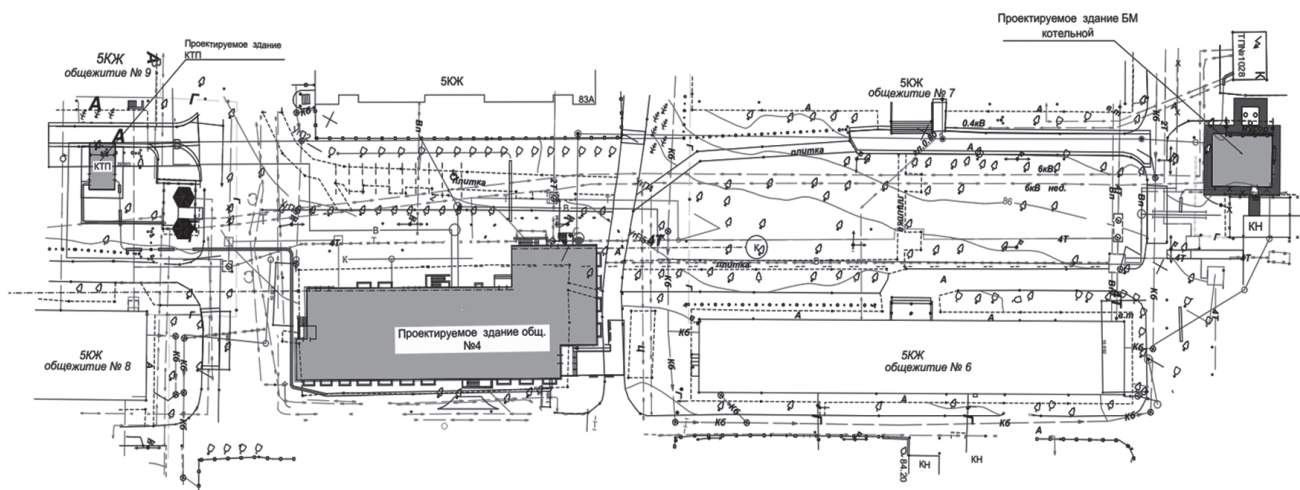


Рис. 1. Схема расположения проектируемых зданий

зостойкости. Колонны каркаса монолитные размером 400 × 400 мм — из бетона класса В25.

Сооружение киосковой проходной трансформаторной подстанции имеет размеры в плане 4,8 × 6 м, состоит из двух блоков размерами 2,4 × 6,0 × 2,5 м. Блоки заводского изготовления, выполнены из металлического каркаса с ограждающими конструкциями из сэндвич-панелей. Проектируемая КТП комплектуется двумя силовыми трансформаторами. Фундамент под здание монолитный железобетонный из бетона класса В15.

В восточной части участка запроектирована блочная модульная котельная. Площадку для котельной необходимо освободить — демонтировать кирпичное здание неэксплуатируемой котельной.

Здание котельной *ThermaRUS-5000* представляет собой одноэтажное прямоугольной формы в плане каркасное металлическое модульное здание.

Проектируемая котельная состоит из основного объема, прямоугольного в плане, размерами 9,0 × 11,1 м в осях А-Б, 1-5, размеры в свету 9,16 × 11,26 м.

Основной блок — одноэтажный, без подвала, круглогодичного функционирования, состоит из четырех блок-модулей.

Принята следующая последовательность проведения работ:

Подготовительный период:

- ограждение участка производства работ; прокладка временных инженерных коммуникаций; размещение санитарно-бытовых помещений; устройство временных дорог;

организация пункта мойки колес; организация поста охраны; временное освещение стройплощадки; организация пункта противопожарной защиты; организация площадок складирования;

- выполняется планировка строительной площадки;
- при этом также выполняются: переустройство или вынос инженерных коммуникаций из зоны строительства блочно-модульной котельной: вынос сетей теплоснабжения, газоснабжения, канализации, водопровода, кабельной линии.
- работы по демонтажу и переносу линий проводятся одновременно с работами по демонтажу фундаментов котельной (для сетей, которые находятся в зоне демонтажа), или одновременно с монтажом проектируемых инженерных сетей до начала земляных работ по рытью котлована БМК.

Основной период:

- возведение подпорной стенки;
- строительство девятиэтажного здания общежития;
- устройство инженерных сетей;
- возведение блочной трансформаторной подстанции;
- демонтаж существующей подстанции
- возведение дымовой трубы;
- возведение здания котельной;
- демонтаж существующей котельной в два этапа;
- благоустройство участка строительства.

Продолжительность работ определялась следующим образом:

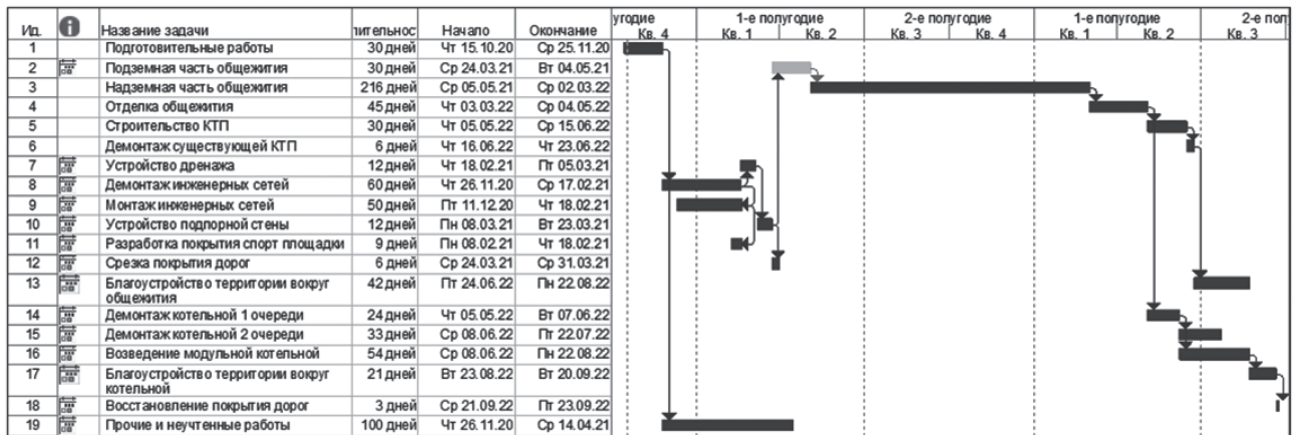


Рис. 2. Комплексный календарный график, последовательная схема организации работ

- по укрупненным показателям согласно СНиП 1.04.03-85* «Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений» для здания общежития и котельной;
- с расчетом трудоемкости по ГЭСН для демонтажа здания трансформаторной подстанции и аварийного здания котельной, для демонтажа и монтажа инженерных сетей.

Комплексный календарный график для укрупненных работ был построен в программе *MS Project*. График, включающий последовательное производство работ, приведен на рис. 2. Продолжительность работ составляет 708 дней.

Для оптимизации календарного графика была применена поточная схема организации работ: подготовительные работы и монтаж / демонтаж инженерных коммуникаций едины для всех фронтов работ, но после возведения подпорной стены и устройства дренажа работы начинаются одновременно по строительству здания общежития и демонтажу здания котельной в два этапа (рис. 3).

При этом строительство новой блочно-модульной котельной начинается после демонтажа старой котельной первого этапа для того, чтобы максимально сократить время без работы котельных.

При поточной схеме организации работ продолжительность возведения здания общежития с инфраструктурой удастся сократить до 617 дней, т.е. на 13% по сравнению с последовательной схемой организации работ. Оптимизацию сравнительно легко провести с использованием программного средства *MS Project*.

На стадии ППР расчет продолжительности строительства здания общежития производится с учетом определения трудоемкости каждого вида работ по ведомостям объемов работ. При этом продолжительность строительства здания общежития не должна превышать 290 дней согласно комплексному графику (см. рис. 3).

При разработке календарного графика строительства общежития (рис. 4) продолжительность строительства (без подготовительных работ) составляет 400 рабочих дней (569 календарных), что значительно больше установленной продолжительности строительства по укрупненным показателям.

Была проведена оптимизация календарного графика по критерию времени с целью сокращения продолжительности работ. Выбрана наиболее продолжительная работа, выполняемая вручную с частичным использованием машин и механизмов. Бетонирование перекрытий занимает 180 дней, 20 дней на один этаж. Бригада состоит из 2 арматурщиков, 2 бетонщиков, плотника и машиниста. При увеличении количества арматурщиков, плотников и бетонщиков удастся сократить производство работ до 108 дней (21% от продолжительности возведения здания).

Календарный график строительства после оптимизации показан на рис. 5.

Таким образом, поэтапная оптимизация позволила сократить продолжительность строительства здания общежития с инфраструктурой на 13% за счет поточной схемы организации работ и на 21% за счет оптимального распределения рабочих бригад по объекту.

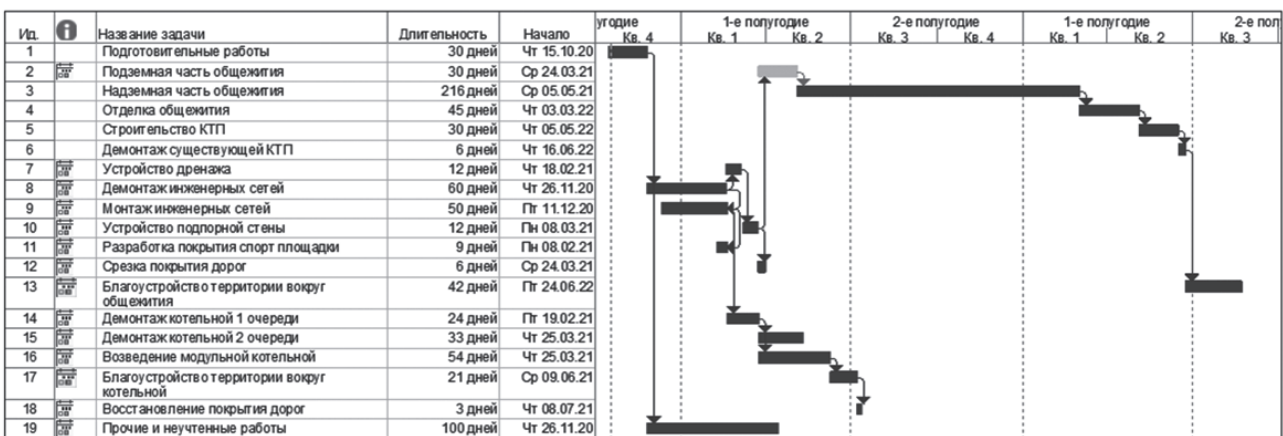


Рис. 3. Комплексный календарный график, поточная схема организации работ

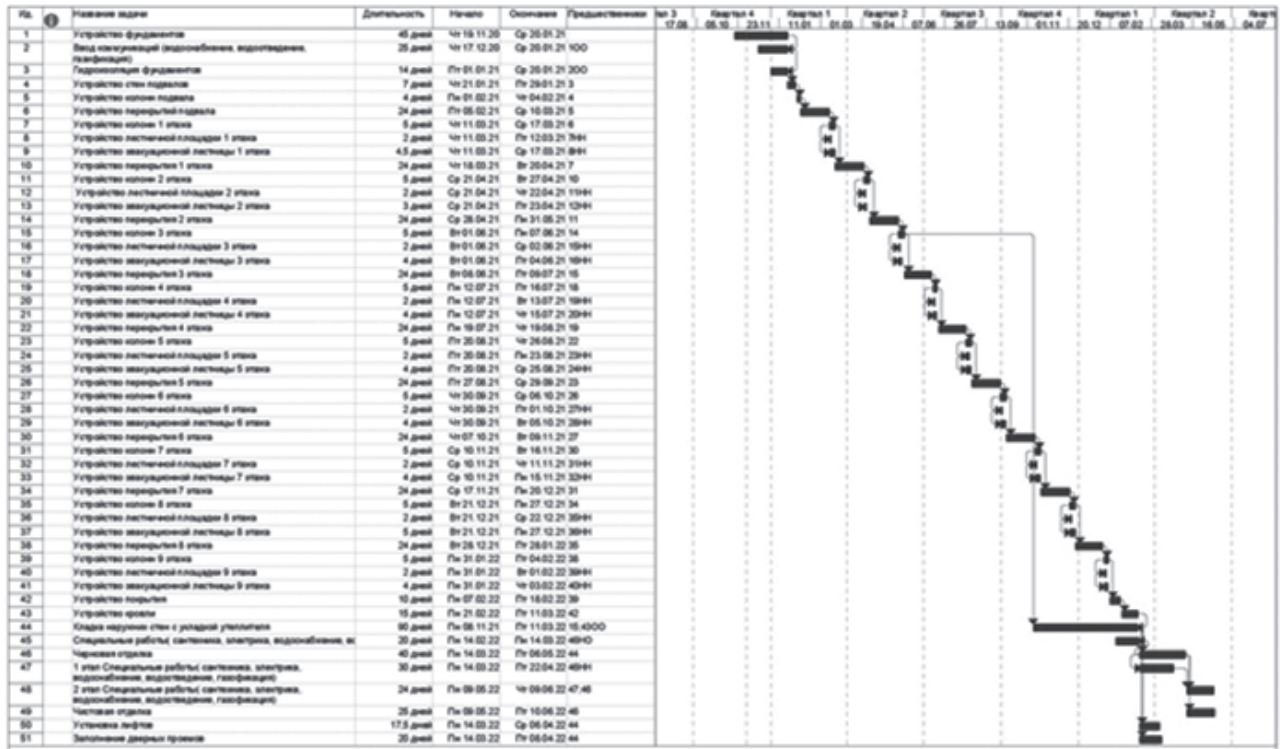


Рис. 4. Календарный график строительства общежития до оптимизации

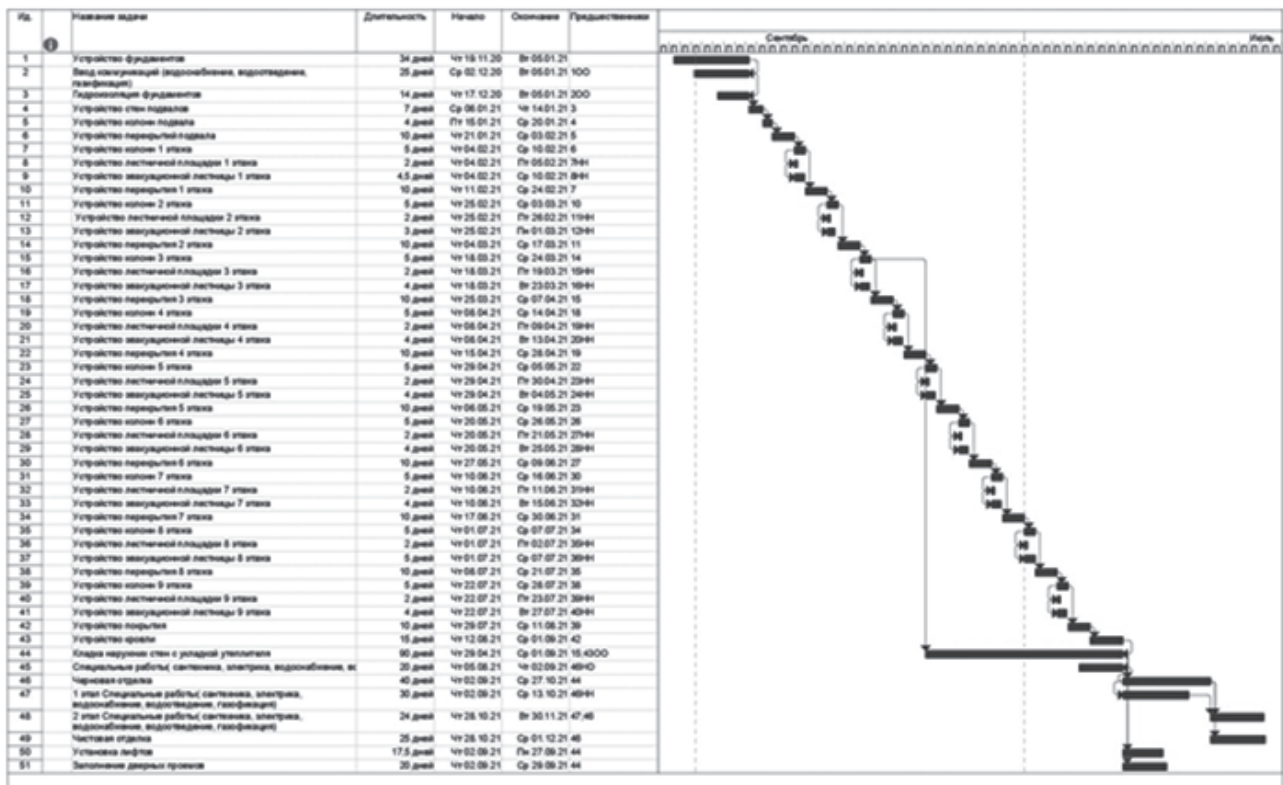


Рис. 5. Календарный график строительства общежития после оптимизации

Литература

1. Баркалов С.А. Задача календарного планирования с ограниченными ресурсами при нечетких продолжительностях работ [Текст] / С.А. Баркалов, А.М. Котенко, И.В. Федорова // Системы управления и информационные технологии. — 2005. — № 4. — С. 37–40.
2. Болотин С.А. Минимизация скорости выполнения строительных работ в программе управления проектом Microsoft Office [Текст] / С.А. Болотин, А.Н. Вихров, Н.Я. Гладий // Известия высших учебных заведений. — 2006. — № 6. — С. 42–46.
3. Болотин С.А. Имитация календарного планирования в программах информационного моделирования зданий и регрессионная детализация норм продолжительностей строительства [Текст] / С.А. Болотин, А.Х. Дадар, И.С. Птухина // Инженерно-строительный журнал. — 2011. — № 7. — С. 82–86.
4. Болотин С.А. Страхование ущерба от несвоевременного выполнения строительства на основе статистического моделирования [Текст] / С.А. Болотин, С.Э. Климов // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2004. — № 11. — С. 52–56.
5. Воропаев В.И. Обобщенные стохастические сетевые модели для управления комплексными проектами (часть 2) [Текст] / В.И. Воропаев, Я.Д. Гельруд // Управление проектами и программами. — 2008. — № 2. — С. 92–104.
6. Грабовый П.Г. Основные направления развития жилищного строительства в России [Текст] // Недвижимость: Экономика и управление. — 2011. — № 1. — С. 4–9.
7. Зеленцов Л.Б. Организационно-экономическая модель управления многоквартирными домами [Текст] / Л.Б. Зеленцов, В.И. Рылков, П.И. Камнева // Наукоедение. — 2012. — № 3. — С. 93.
8. Зотухин И.А. Формирование ответственности участников строительства за нарушение календарных сроков выполнения работ по методу PERT [Текст] / И.А. Зотухин, Т.Ф. Морозова, К.М. Ракова // Строительство уникальных зданий и сооружений. — 2014. — № 3. — С. 57–71.
9. Мищенко В.Я. Экономическая эффективность реконструкции объектов недвижимости [Текст] / В.Я. Мищенко // Промышленное и гражданское строительство. — 2006. — № 2. — С. 50–51.
10. Мищенко В.Я. Разработка методики оптимизации распределения ресурсов в календарном планировании строительства на основе генетических алгоритмов [Текст] / В.Я. Мищенко, Д.И. Емельянов, А.А. Тихоненко // Промышленное и гражданское строительство. — 2013. — № 11. — С. 76–78.
11. Нефедова В.К. Организация эффективного регулирования ресурсами при комбинаторной оптимизации календарных планов строительства [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.К. Нефедова. — СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2004. — С. 10–18.
12. Чеготова Е.В. Распределение рисков между застройщиком, техническим заказчиком и инвестором [Текст] / Е.В. Чеготова // Строительство уникальных зданий и сооружений. — 2013. — № 4. — С. 133–150.
13. Чеготова Е.В. Роль технического заказчика в организации инвестиционно-строительной деятельности [Текст] / Е.В. Чеготова // Инженерно-строительный журнал. — 2012. — Т. 29. — № 3. — С. 5–11.
14. Hejducki M.R. Time couplings methods, TCM, Builders Review, Polish Association of Engineers and Construction Technologists. 2005. Issue 2. Pp. 38–45.

References

1. Barkalov S.A., Kotenko A.M., Fedorova I.V. Zadacha kalendarного planirovaniya s ogranichennymi resursami pri nechotkih prodolzhitel'nostyah rabot [The problem of scheduling with limited resources with unclear durations of work]. *Sistemy upravleniya i informacionnyye tekhnologii* [Control systems and information technologies]. 2005, I. 4, pp. 37–40.
2. Bolotin S.A., Vihrov A.N., Gladij N.YA. Minimizaciya skorsti vypolneniya stroitel'nyh rabot v programme upravleniya proektom MicrosoftOffice [Minimizing the speed of construction work in the MicrosoftOffice project management program]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij* [Izvestiya of higher educational institutions]. 2006, I. 6, pp. 42–46.
3. Bolotin S.A., Dadar A.H., Ptuхина I.S. Imitaciya kalendarного planirovaniya v programmah informacionnogo modelirovaniya zdaniy i regressionnaya detalizaciya norm prodolzhitel'nostej stroitel'stva [Simulation of scheduling in building information modeling programs and regression detailing of norms for construction duration]. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal* [Engineering and construction journal]. 2011, I. 7, pp. 82–86.
4. Bolotin S.A., Klimov S.E. Strahovanie ushcherba ot nesvoevremennogo vypolneniya stroitel'stva na osnove statisticheskogo modelirovaniya [Insurance of damage from untimely construction on the basis of statistical modeling]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo* [News of higher educational institutions. Construction]. 2004, I. 11, pp. 52–56
5. Voropaev V.I., Gel'rud YA.D. Obobshchennyye stohasticheskie setevyye modeli dlya upravleniya kompleksnymi proektami (chast' 2) [Generalized stochastic network models for managing complex projects (part 2)]. *Upravlenie proektami i programmami* [Project and program management]. 2008, I. 2, pp. 92–104
6. Grabovyy P.G. Osnovnyye napravleniya razvitiya zhilishchnogo stroitel'stva v Rossii [The main directions of development of housing construction in Russia]. *Nedvizhimost': Ekonomika i upravlenie* [Real estate: Economics and management]. 2011, I. 1, pp. 4–9 .
7. Zelencov L.B., Ryl'kov V.I., Kamneva P.I. Organizacionno-ekonomicheskaya model' upravleniya mnogokvartirnymi domami [Organizational and economic model of management of apartment buildings]. *Naukovedenie* [Internet journal Naukovedenie]. 2012, I. 3, p. 93.
8. Zotuhin I.A., Morozova T.F., Rakova K.M. Formirovanie otvetstvennosti uchastnikov stroitel'stva za narushenie kalendarnyh srokov vypolneniya rabot po metodu PERT [Formation of responsibility of construction participants for violation of the calendar deadlines for the performance of work using the PERT method]. *Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij* [Construction of unique buildings and structures]. 2014, I. 3, pp. 57–71.
9. Mishchenko V.YA. Ekonomicheskaya effektivnost' rekonstrukcii ob"ektov nedvizhimosti [Economic efficiency of reconstruction of real estate objects]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil construction]. 2006, I. 2, pp. 50–51.
10. Mishchenko V.YA., Emel'yanov D.I., Tihonenko A.A. Razrabotka metodiki optimizacii raspredeleniya resursov v kalendarном planirovanii stroitel'stva na osnove geneticheskikh

- algoritmov [Development of methods for optimizing resource allocation in construction scheduling based on genetic algorithms]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil construction]. 2013, I. 11, pp. 76–78.
11. Nefedova V.K. *Organizatsiya effektivnogo regulirovaniya resursami pri kombinatornoj optimizatsii kalendarnykh planov stroitel'stva*. *Kand. Diss.* [Organization of effective resource management with combinatorial optimization of construction schedules. Cand. Diss.]. St. Petersburg: SPbGASU Publ. 2004, pp. 10–18.
 12. Chegotova E.V. Raspreделение riskov mezhdu zastroyshchikom, tekhnicheskim zakazchikom i investorem [Distribution of risks between the developer, technical customer and investor]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij* [Construction of unique buildings and structures]. 2013, I. 4, pp. 133–150.
 13. Chegotova E.V. Rol' tekhnicheskogo zakazchika v organizatsii investitsionno-stroitel'noy deyatel'nosti [The role of the technical customer in the organization of investment and construction activities]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Engineering and construction journal]. 2012, V. 29, I. 3, pp. 5–11.
 14. Hejducki M R. (2005) Time couplings methods, TCM, Builders Review, Polish Association of Engineers and Construction Technologists. Issue 2. 2005. Pp. 38–45.