

Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Параллельно-поточный метод организации строительства

А.И. Сиверикова¹, В.З. Величкин²

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 195251, Россия,
Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

Информация о статье

УДК 69.003:658.012

Научная статья

История

Подана в редакцию 19 ноября 2014
Принята 6 апреля 2015

Ключевые слова

календарное планирование, организация производства, индивидуально-поточная организация работ, параллельно-поточная организация работ, оптимизация, линейный календарный график, циклограмма

АННОТАЦИЯ

Актуальной проблемой для всех участников строительства является сокращение срока производства работ без увеличения себестоимости конечной продукции. Решением такой проблемы является: разработка календарных графиков с оптимальной очередностью освоения работ; максимальное использование производственных ресурсов; использование программного обеспечения для оперативного управления ходом работ. Несомненный интерес представляет проектирование календарных планов при параллельно-поточной организации работ, которая находит все более широкое применение в практике строительства.

Целью статьи является анализ развития методов и методик расчета параллельно-поточной организации работ и календарных планов. В статье авторы рассматривают основные методы организации работ и описывают эвристический (т.е. «не строгий») алгоритм формирования и расчета ППОР на примере строительства Производственного комплекса с пристроенным административно-бытовым корпусом ООО «5 Микрон НПО».

В результате анализа были определены оптимальные очередности освоения фронтов работ, обеспечивающие уменьшение общей продолжительности потока с минимальными простоями ресурсов. Авторы делают вывод, что в дальнейшем, остается актуальным вопрос разработки модели календарного плана в программном комплексе Microsoft Project.

Содержание

Введение	136
2. Обзор литературы	136
3. Постановка задачи	136
4. Принципы формирования и расчета параллельно-поточной организации работ	137
5. Методика формирования и расчета параллельно-поточной организации строительства Производственного комплекса с пристроенным административно-бытовым корпусом ООО «5Микрон НПО»	139
5.1. Расчет параллельно-поточной организации работ по методу непрерывного использования ресурсов	145
5.2. Расчет параллельно-поточной организации работ по методу непрерывного освоения фронтов работ	147
5.3. Расчет параллельно-поточной организации работ по методу критического пути	149
Заключение	151

1

Контактный автор:

+7 (921) 364 1154, miu.miu13.89@gmail.com (Сиверикова Алена Ивановна, магистрант)

2

V.Velichkin2011@yandex.ru (Величкин Виктор Захарович, д.т.н., профессор)

Введение

Сегодня в России вновь набирает силу проектирование и строительство объектов промышленного назначения, которое долгое время было приостановлено ввиду сложного экономического периода во время и после Перестройки. Экономический кризис в 2008-2009 гг. также сыграл не последнюю роль в сокращении инвестирования в строительство крупных промышленных комплексов [30, 31, 50, 77]. В действительности, возведение таких сооружений стало штучным, уникальным продуктом, в отличие от жилищных объектов с [29, 47, 50, 69-72]. Это связано с тем, что такое строительство является технически и финансово сложной работой, которую не представляется возможным осуществить без первоначальной взаимосвязи всех работ во временном и пространственном отношении. Очень важно на каждом этапе строительства строго соблюдать все технологические требования, включая нормативно-правовые акты, утвержденные в Российской Федерации, в минимальные сроки [29]. Поэтому актуальной проблемой для всех участников строительного процесса является сокращение срока производства работ без увеличения себестоимости конечной строительной продукции. Решением такой проблемы могут являться: разработка календарных планов (графиков) с оптимальной очередностью освоения работ, максимальное использование производственных ресурсов строительных предприятий, использование программного обеспечения для оперативного управления ходом работ [29, 47, 50, 69-72]. Следовательно, необходимы новые методы или методики организации работ (ОР) и календарного планирования в целом.

2. Обзор литературы

Поиском оптимальной очередности освоения работ и разработкой календарных графиков занимаются, в том числе, и западные исследователи с помощью расчета сетевых графиков, развития метода критического пути, системы PERT и дальнейшей их интеграции в программное обеспечение [46, 62, 64, 66, 78-94]. В России на сегодняшний день существует ряд методов (алгоритмов) расчета, формирования и оптимизации организации работ и последующей разработки календарных планов (графиков), основы которых были заложены профессором В.А. Афанасьевым [2-9] и его учениками, которые продолжают совершенствоваться до сих пор [13-24, 26-28, 32, 34, 37-38, 51-52, 54-60]. И одним из самых популярных методов организации работ (МОР) является поточная организация работ (или индивидуально-поточная). Сейчас этот метод достаточно развит и повсеместно применяется в практике управления строительным процессом [2-9]. Но все более широкое использование находит параллельно-поточная организация работ (ППОР) — это метод, при котором отдельные виды работ могут выполняться 2 и более однотипными бригадами [1-9]. В строительстве ППОР может использоваться в двух случаях:

- а) когда разработаны все варианты уменьшения продолжительности строительства в индивидуальных потоках, но остается необходимость их дальнейшего сокращения;
- б) в строительной организации имеется различное число однотипных бригад.

Составление календарных планов при таком виде организации работ является более общей, сложной и многовариантной задачей.

3. Постановка задачи

В результате анализа имеющейся литературы, можно сделать предположение о необходимости дальнейшего исследования параллельно-поточного метода организации строительного-монтажных работ (СМР) и его оптимизации.

Целью статьи является анализ развития метода и методик расчета параллельно-поточной организации работ и календарного планирования строительства для поиска подходящего конкретным производственным требованиям и достижению высоких технико-экономических показателей (ТЭП) строительного процесса в целом. Для достижения данной цели необходимо выделить имеющиеся достоинства и недостатки известных на сегодняшний день методик расчета и оптимизации ППОР, и на этой основе найти оптимальный для организации строительного-монтажных работ и перехода к компьютерным моделям.

Под объектом исследования понимается теория и методология организации и оптимизации календарного планирования СМР.

Предметом исследования является проектирование организации работ и календарное планирование.

4. Принципы формирования и расчета параллельно-поточной организации работ

Методика формирования и расчета ППОР была разработана в СССР [1-9] и включает в себя решение ряда специфических вопросов, а именно: определения состава и числа однотипных бригад, последовательности их загрузки и маршрутов движения бригад, которые осуществляются на основе расчета индивидуальных потоков [1-9, 10, 77]. Так как оптимизация методов весьма трудоемка и сложна по сравнению с индивидуально-поточной организацией работ, то большинство исследователей вводит ряд принципов для формирования параллельных потоков:

1) включение однотипных бригад в самостоятельные индивидуальные потоки до возможности укомплектования каждого индивидуального потока полным набором бригад всех видов и усиление этих потоков оставшимися бригадами (предложено в 1982г. В.А. Афанасьевым [4]);

2) обеспечение равной продолжительности выполнения всех видов работ (предложено в 1959г. А.М. Клиндухом [45]);

3) выявление и первоочередное включение однотипных бригад в выполнение наиболее продолжительных видов работ в количестве достаточном для достижения средней продолжительности (или менее средней — вплоть до минимально возможной) с целью достижения требуемой продолжительности комплекса работ (предложение А. В. Афанасьева [4]);

4) выявление и первоочередное включение однотипных бригад в выполнение видов с наибольшей продолжительностью критических работ в количестве, достаточном для достижения средней продолжительности критических работ (или менее средней — вплоть до минимально возможной) с целью достижения требуемой продолжительности комплекса работ (предложение Р.Ф. Друничиной [43]);

5) выявление и первоочередное включение однотипных бригад в выполнение видов работ, требующих минимальных дополнительных ресурсов для сокращения продолжительности комплекса работ (предложение В.П. Хибухина [75]);

6) включение в единый параллельный поток всех наличных однотипных бригад, если их число не превосходит количества частных фронтов (распространенный на практике вариант).

Определение последовательности загрузки бригад и маршрутов их движения может носить случайный характер или осуществляться в ходе расчета ППОР. Расчеты А.В. Афанасьева показывают, что рациональнее начинать расчет с потока с критическими работами, выявленными с учетом ресурсных и фронтальных связей [4]. Для уменьшения расчетов большинство исследователей ввели ряд принципов последовательной загрузки бригад:

1) первоочередная загрузка наиболее мощных бригад среди однотипных, а при загрузке бригад равной мощности — имеющих наименьший порядковый номер (предложение А.В. Афанасьева [1-9]);

2) первоочередная загрузка бригад, обеспечивающих наименьший срок выполнения последующих работ, а при загрузке бригад, обеспечивающих одинаковый срок выполнения соответствующих работ — имеющих наименьший порядковый номер (предложение В.П. Еременко [44]);

3) первоочередная загрузка бригад, находящихся наиболее длительное время в ожидании, а при загрузке бригад с одинаковым сроком пребывания в очереди — имеющих наименьший порядковый номер (предложение Л.Д. Митрофановой [53]);

4) загрузка бригад в наперед заданной случайной последовательности, что обеспечивает включение в параллельный поток всех наличных бригад, если их число не превышает числа частных фронтов работ — широко используемый на практике принцип.

При ППОР каждая из однотипных бригад движется по своим частным фронтам, ее маршрут всегда отличается от маршрута движения других однотипных бригад, поэтому возникает необходимость отказа от единой очередности освоения фронтов работ разнотипными бригадами и перехода к разным очередностям освоения, обеспечивающим сокращение простоев каждой отдельно взятой бригады [1-9]. Драпеко В.Г. в 1984г. предложил эмпирический алгоритм поиска оптимальной расстановки бригад по

частным фронтам, в основе которого лежит последовательное улучшение первоначальной расстановки бригад, методом анализа квадратных подматриц [39-41].

Решение задачи одновременного изменения очередности освоения фронтов работ и оптимального ввода бригад было предложено Г.В. Крыловым в 1985г. Он предложил математическую модель частично целочисленного линейного программирования с булевыми переменными, решение которой основывается на известных методах, в частности, методом ветвей и границ, широко используемым для оптимизации ИПОР [48].

Для поиска наилучшего варианта распределения работ между однотипными бригадами с непрерывным использованием ресурсов (НИР) и с учетом ресурсных и фронтальных связей Е.А. Драчев и М.М. Калюжнюк в 1986г. предложили эвристический («не строгий») алгоритм распределения работ, основанный на алгоритме Джонсона [42].

В 1991 г. Л.Л. Пронченко предложил методику ориентированного назначения дополнительных одинаковых бригад в поток с НИР, позволяющую оценить эффективность назначения и загрузки бригад в момент принятия решений [65].

Методику направленного назначения вспомогательных бригад равной мощности в потоки с критическими работами (КР), выявленными с учетом ресурсных и фронтальных связей предложил в 2000 г. С.В. Бовтеев [10-13].

Были предложены организационно-технологические модели, откуда вычлняются модели структуры строительства объектов и комплексов пространственно-технологической, а, в дальнейшем, на их базе строятся функциональные модели этих процессов [68]. В 2011 г. Сандан Р.Н. в своей диссертации [68] предложил методику (алгоритм) разделения общего фронта работ простых технологических операций на фронты-модули. Определение их размеров, количества, конфигурации позволяет планировать и регулировать трудовые и (или) технические ресурсы (ресурсы-модули) при ППОР на выделяемых фронтах-модулях.

Однако переход от нормальной загрузки бригад к выборочной не всегда гарантирует сокращение общей продолжительности работ. При переходе к выборочной загрузке имеют место не только сокращения продолжительности работ, но и ее увеличения [4]. Обратим внимание на то, что заранее определить последствия перехода от нормальной загрузки бригад к выборочной нельзя, поэтому для формирования параллельных потоков расчеты должны производиться как при нормальной, так и при выборочной загрузке бригад [1-9].

Современный подход к методам организации работ, в первую очередь, Петербургская школа организации работ предполагает разработку всех возможных вариантов, их оценки и отбор наиболее результативного. Отображение хода строительного процесса ППОР могут быть представлены в виде наглядных (графических) моделей: циклограмм, линейных календарных графиков, сетевых графиков в форме графа, табличных моделей-матриц. Проанализировав все возможные очередности освоения фронтов и видов работ, выявили эвристический (т.е. «не строгий») алгоритм формирования и расчета параллельно-поточной организации работ:

- 1 шаг. Выбор исходных данных
 - а) Составляется ведомость объемов работ.
 - б) Определяется трудоемкость работ на основе ЕНиР или сметной документации. Составляется матрица трудоемкости работ.
 - в) Определяется продолжительность каждого вида работ и общая продолжительность строительства. Формируется матрица индивидуально-поточной организации работ (ИПОР).
- 2 шаг. Расчет матриц ИПОР по методам: критического пути, НИР, НОФР, проводится оптимизация потока известными методами.
- 3 шаг. Проводится сравнение продолжительностей строительства ИПОР

$$T_p \leq T^{норм} := \min \quad (1),$$

где T_p — расчетная продолжительность работ; $T^{норм}$ — нормативная продолжительность строительства.

Если полученная продолжительность организации работ не устраивает, проводится дальнейшая оптимизация потока.

- 4 шаг. Переход к ППОР.

Определяется состав, численность и механовооруженность однотипных бригад с различной мощностью от ранее задействованных. Однотипные бригады размещаются по убыванию мощности,

например, по виду работ А – мощность бригады А1 больше бригады А2; по виду работ В – мощность бригады В1 меньше бригады В2.

– 5 шаг. Формируется загрузка параллельных потоков и маршрутов их движения.

а) Первоочередная загрузка наиболее мощных бригад А1 и В2 по I фронту работ. Эти бригады определяют темп и ритм всего потока

$$\begin{cases} A_1^I > A_2^I \\ B_1^I < B_2^I \end{cases}$$

б) Загружаются наименее мощные бригады А1 и В2 по остальным фронтам работ

$$\begin{cases} A_1^{n-I} < A_2^{n-I} \\ B_1^{n-I} > B_2^{n-I} \end{cases}$$

в) Загрузка наименее мощной последней бригады А2 и наиболее мощной бригады В2 по последнему фронту работ

$$\begin{cases} A_1^n > A_2^n \\ B_1^n < B_2^n \end{cases}$$

– 6 шаг. Расчет параллельно-поточной организации работ по методам НИР, НОФР, КП.

– 7 шаг. Выбор оптимальной ППОР.

Вариант ППОР, подходящий конкретным условиям производства и обладающий наилучшими технико-экономическими показателями (ТЭП) принимается в производство работ.

$$\{T_{nm}^{\text{кон}}\} \leq T_m^{\text{норм}} := \min, \forall m \quad (2),$$

где $\{T_{nm}^{\text{кон}}\}$ — срок окончания последнего вида/фронта работ «n» в потоке «m»; $T_m^{\text{норм}}$ — нормативный срок окончания строительства.

– 8 шаг. Строится календарный график по оптимальной продолжительности работ.

5. Методика формирования и расчета параллельно-поточной организации строительства Производственного комплекса с пристроенным административно-бытовым корпусом ООО «5Микрон НПО»

Рассмотрим данный алгоритм на строительстве Производственного комплекса с пристроенным административно-бытовым корпусом ООО «5Микрон НПО» по адресу: Ленинградская область, г. Гатчина, Красносельское шоссе д. 16, корп. 2 (проект разработан проектной организацией ООО «ПСК «Инкон» [95]). Производственный корпус представляет собой одноэтажное прямоугольное в плане здание. Размер здания в осях 72 x 42 м. Несущими элементами здания являются железобетонные сборные колонны 0,5x0,5 м с шагом 12 м. Каркас здания представляет собой пространственную стержневую конструкцию, состоящую из двухпролетных одноэтажных поперечных рам и системы связей. Поперечная рама каркаса состоит из колонн и ригелей сквозного сечения. Ригель рамы решен в виде фермы, с уклоном верхнего пояса и параллельными поясами. Наружные ограждающие конструкции — сэндвич-панели толщиной 150 мм; внутренние перегородки из газобетонных блоков 200 мм, оштукатуренные с двух сторон. Кровля, утепленная совмещенная двускатная, с ограждением по периметру и доступом по наружным лестницам. Покрытие — прогонное по стальным стропильным фермам.

Административно-бытовой корпус представляет собой трехэтажное каркасное здание переменной ширины с размерами (LxB) 48x15 м. между осями и высотой этажа 4.2 м. Несущие конструкции здания представляют собой монолитный каркас (монолитные колонны и плиты перекрытий). Шаг колонн в продольном направлении 6 метров, в поперечном направлении 6-9 метров. Относительная отметка верха парапета здания +12.600. Наружные ограждающие конструкции здания АБК — сэндвич-панели толщ. 150 мм. Внутренние перегородки здания выполняются из гипсокартонных листов. Кровля АБК плоская,

неэксплуатируемая, с внутренним организованным водостоком. Несущие конструкции покрытия состоят из системы балок и прогонов, на которые устанавливается профилированный настил.

Планы корпусов представлены на рисунках 1-2; вертикальные разрезы — на рисунках 3-4.

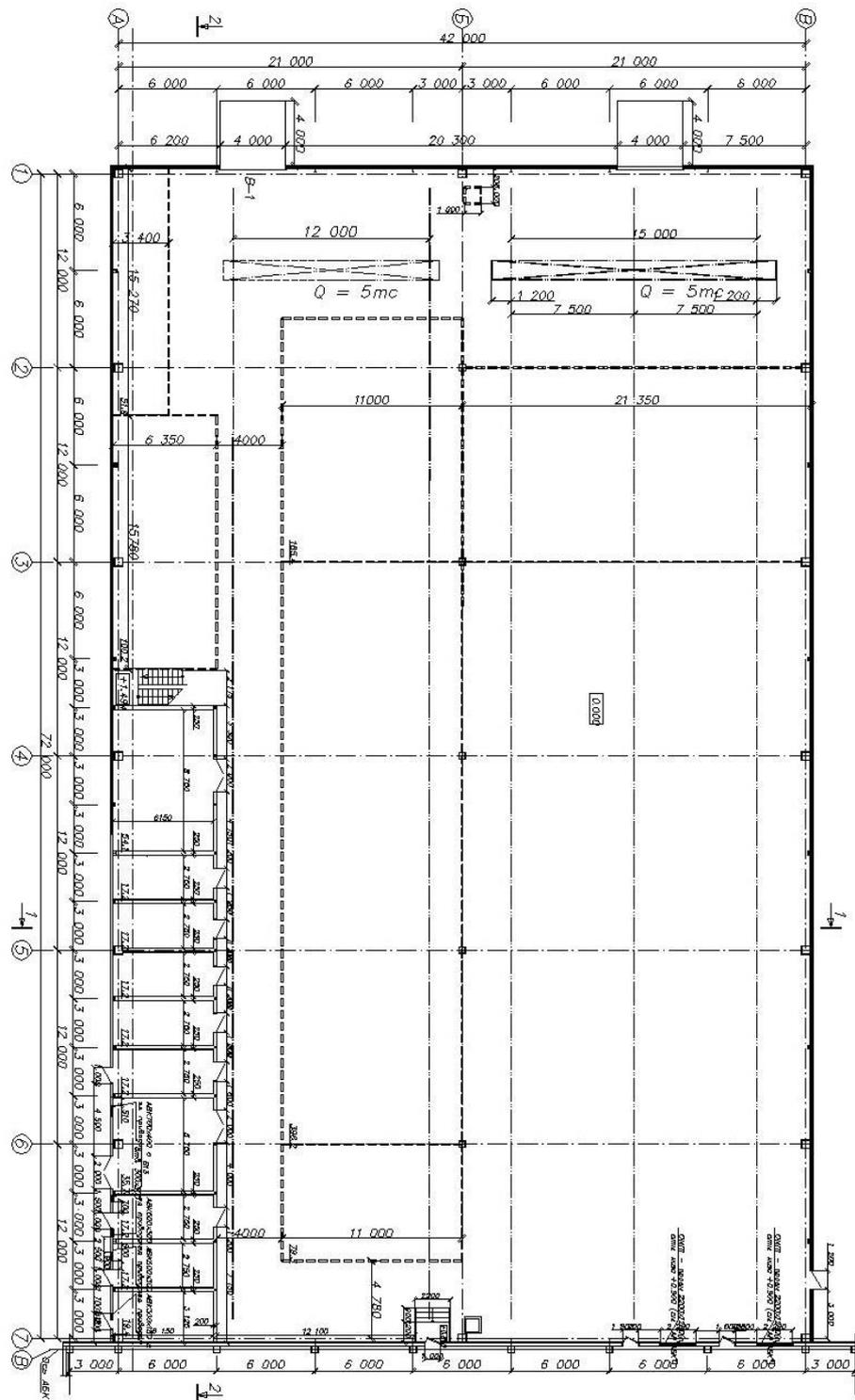


Рисунок 1 — План Производственного корпуса ООО «5 Микрон НПО» [95]

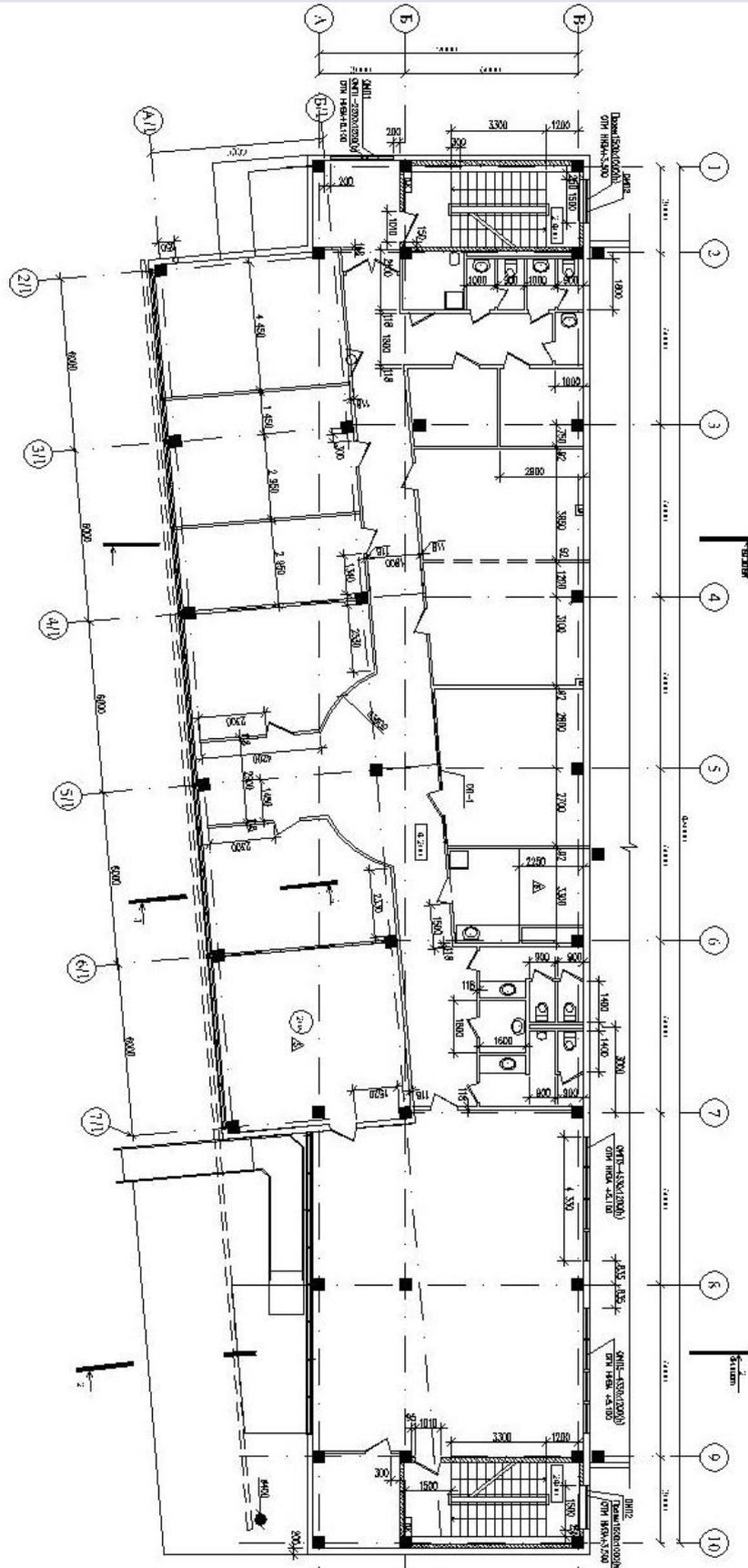
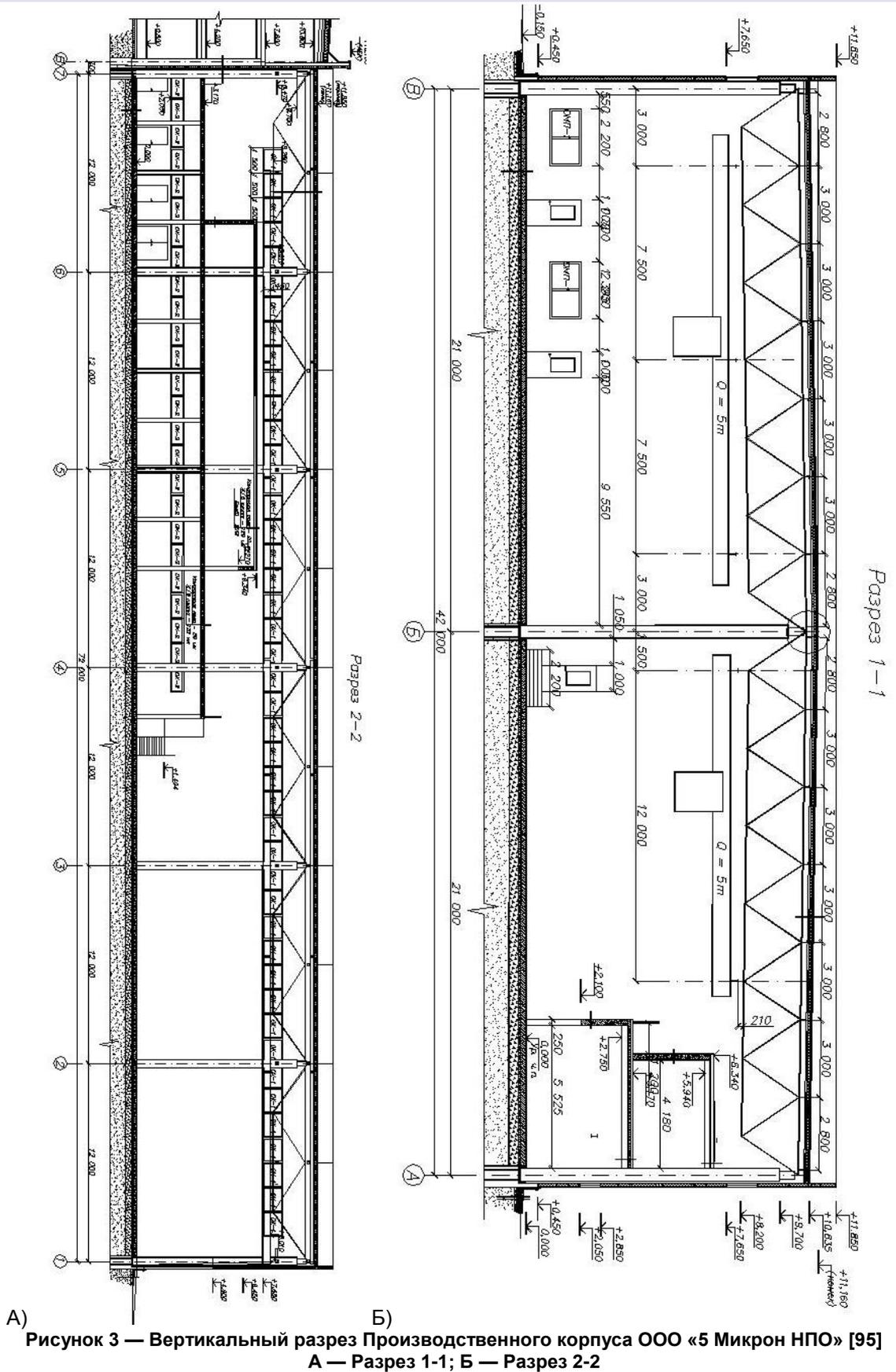


Рисунок 2 — План Административно-бытового корпуса ООО «5 Микрон НПО» [95]



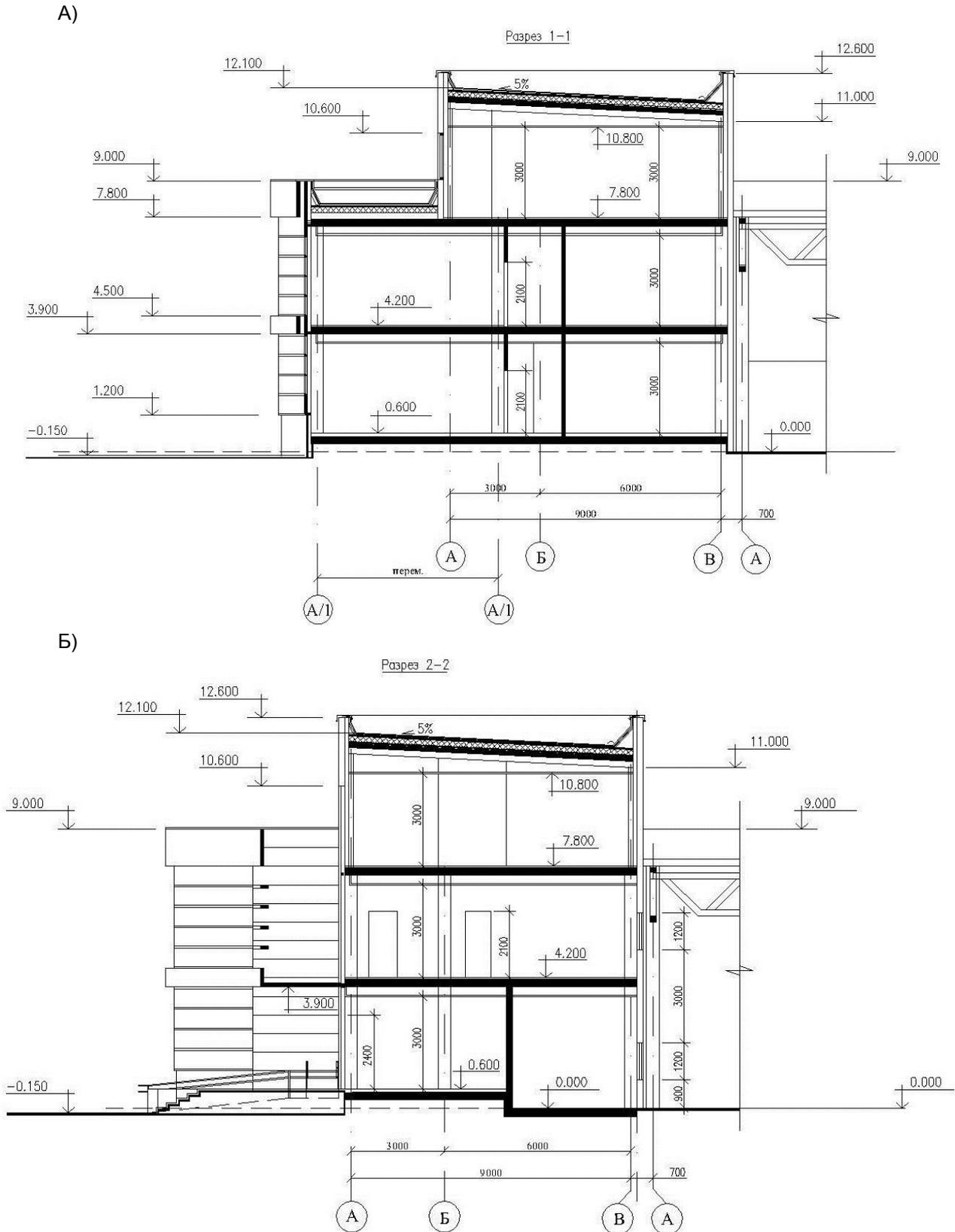


Рисунок 4 — Вертикальные разрезы 1-1, 2-2 Административно-бытового корпуса ООО «5 Микрон НПО» [95]

А — Разрез 1-1; Б — Разрез 2-2

Нормативная продолжительность работ (шаг 1 алгоритма) по строительству сооружений определена в ПОС и равна 12 месяцев по СНиП 1.04.03-85* «Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений» раздел 3 «Непроизводственное строительство», глава 2 «Коммунальное хозяйство», п. 2 «Административное здание», в соответствии с которым продолжительность строительства устанавливается по общему строительному объему здания. Сооружения имеют общий строительный объем 16731,64 м³ и площадь 2848,96 м², тогда нормативная продолжительность строительства объектов аналогичного назначения, приведенная в СНиП 1.04.03-85*, представлена в таблице 1.

Таблица 1 — Нормативная продолжительность строительства

Строительный объем здания, м ³	Нормы продолжительности строительства, мес.	
	Общая	в том числе подготовительный период
8700	10	1
15900	12	2

Составим матрицу продолжительности работ (шаг 2, 3 алгоритма), состоящую из 7 видов работ на четырех захватках I-IV (фронтах работ): А — подготовительный период; Б — работы нулевого цикла; В — возведение надземной части; Г — внутренние работы; Д — инженерные сети; Е — монтаж оборудования; Ж — благоустройство. Необходимо найти оптимальную очередность освоения фронтов работ с минимальной продолжительностью работ и дающие наименьшие простои ресурсов.

Расчет потока по методу ИПОР не принес ожидаемых результатов, в соответствии с алгоритмом (шаг 4) необходимо дальше искать оптимальный срок строительства. Одним из методов оптимизации ИПОР является переход к ППОР. Для этого введем в поток две дополнительные однотипные бригады: мощность бригады А₁ в 1,5 раза больше А₂; мощность бригады В₁ в 0,5 раза меньше В₂. Матрица с исходными данными и возможными продолжительностями работ представлена в таблице 2.

Таблица 2 — Матрица с исходными данными и возможными продолжительностями работ

ОФР		Матрица с исходными данными							Матрица возможных продолжительностей работ								
		Виды и продолжительности работ							Виды и продолжительности работ								
		А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	А		Б	В		Г	Д	Е	Ж
А1	А2								В1	В2							
Фронт работ	I	10	10	25	15	10	10	10	10	15	10	25	13	15	10	10	10
	II	10	5	20	15	5	5	10	10	15	5	20	10	15	5	5	10
	III	10	5	20	20	15	10	10	10	15	5	20	10	20	15	10	10
	IV	10	10	30	8	15	5	10	10	15	10	30	15	8	15	5	10
ΣТ _i		40	30	95	58	45	30	40	40	60	30	95	48	58	45	30	40
число бригад									А1=1,5А2			В1=0,5В2					

Сформировав загрузку бригад параллельных потоков по алгоритму (шаг 5), рассчитаем продолжительность производства работ, по известным методам (шаг 6):

- метод критического пути (расчет потока с критическими работами (КР), выявленными с учетом ресурсных и фронтальных связей);
- метод непрерывного использования ресурсов (МНИР);
- метод непрерывного освоения фронтов работ (МНОФ).

5.1. Расчет параллельно-поточной организации работ по методу непрерывного использования ресурсов

Представим исходные данные в таблице-матрице в системе ОФР. Расчет можно произвести двумя способами:

1) Рассчитать у соседних видов работ увеличение следующей работы относительно предшествующей на каждом частном фронте, максимальное значение которого, определяет сдвиг начала производства последующего вида работ по отношению к началу предшествующего.

2) Найти период развертывания последующих видов работ относительно предшествующих по каждому частному фронту по формуле (3). В расчет принимается максимальный, который исключает увеличение последующих видов работ на предшествующие.

$$T_{ji}^p = \sum_{q=1}^i t_{q(j-1)} - \sum_{q=1}^{i-1} t_{qj}, \quad (3)$$

где T_{ji}^p — период развертывания каждого j -го вида работ относительно i -го фронта;

t_{qj} — продолжительность на q -том частном фронте искомого вида работ (j);

$t_{q(j-1)}$ — продолжительность работ на q -том частном фронте предшествующего вида ($j-1$);

i — номер частного фронта работ, по отношению к которому рассчитывается период развертывания;

T_j^p — расчетная (максимальная) величина периода развертывания каждого j -го вида работ, $T_j^p = \max T_{ji}^p$.

Тогда, общая продолжительность потока рассчитывается по формуле (4):

$$T = \sum_{j=2}^n T_j^p + \sum_{i=1}^m t_{ni}, \quad (4)$$

где n — число частных фронтов работ;

m — число видов работ;

t_{ni} — продолжительность последнего (n -ого) вида работ на i -том фронте.

Результаты расчетов представлены в таблице 3 и на рисунке 5.

Таблица 3 — Матрица параллельно-поточной организации работ строительства Производственного комплекса с пристроенным административно-бытовым корпусом ООО «5Микрон НПО» с непрерывным использованием ресурсов

ОФР	А		Тр	Б		В		Тр	Г		Тр	Д		Тр	Е		Тр	Ж		ΣТ _і	Простои фронтов		
	А1	А2		В1	В2	Г	Г		Д	Д		Е	Е		Ж	Ж							
I	0	10	0	40	20	0	35	48	7	48	63	0	70	80	0	400	440	0	120	130	130	52	
	10			25	35		42	55		55	70		90	100		110	120						
II		0	-5	20	25	20			5	63	78	5	80	85	-5	440	445	-5	130	140	140	65	
		15		35	40		70	85		100	105		120	125									
III		15	5	25	30	20			2	78	98	20	85	100	5	445	425	-5	140	150	135	40	
		30		40	80		85	105		105	120		125	135									
		15																					
IV		30	15	30	40	7		48	63	-28	98	106	13	100	115	10	425	430	-10	150	160	130	52
		45		45	55		105	113	120		135	135		140									
		15																					
ΣТ _і	10	45		30	40		28		58		45		30		30		40		40		209		
Тр			15	25	15	7		7		20		35		10		20		0		10		112	

T = 112+40=152 ед. вр.

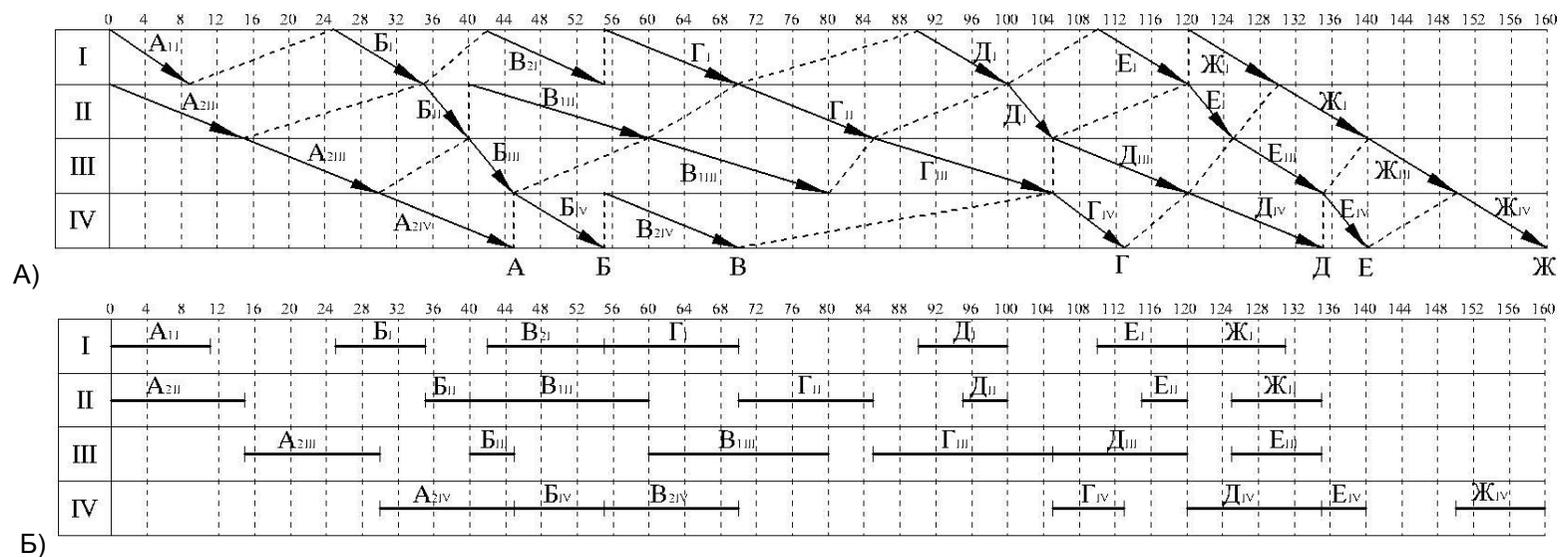


Рисунок 5 — Календарный график ППОР с НИР (с нулевым растяжением ресурсных связей): А — циклограмма; Б — линейный календарный график

5.2. Расчет параллельно-поточной организации работ по методу непрерывного освоения фронтов работ

Расчет ППОР с НОФР осуществляется на матрице в системе ОВР. Расчет потока аналогичен расчету потока с НИР, но происходит нулевое растяжение не ресурсных, а фронтальных связей. Как правило, имеет место простой ресурсов. Продолжительность потока с НОФР определяется по формуле (5):

$$T = \sum_{i=2}^n T_i^P + \sum_{j=1}^m t_{jm}, \quad (5)$$

Результаты расчетов представлены в таблице 4 и на рисунке 6.

Таблица 4 — Матрица параллельно-поточной организации работ строительства Производственного комплекса с пристроенным административно-бытовым корпусом ООО «5Микрон НПО» с непрерывным освоением фронтов работ

ОФР	I	ПР	II	ПР	III	ПР	IV	ΣT_j	Простой ресурсов
А	0 10							10	0
	10								
			0 45	28 43	48 63				
А2			15 0	15 0	15 0			62	17
			13 28	33 48	60 75				
Б	10 20		45 20	43 48	63 73				
	10 5	5 10	5 10	5 10	10 10			75	45
В			28 33	48 53	75 85				
			20 40	48 68					
			20 53	53 73					
	20 33				73 88				
В2	13				15 80			80	52
					85 100				
Г	33 48	40 55	68 88	88 96					
	15 8	15 0	20 5	8 75	17				
Д	48 58	55 60	88 103	96 111					
	10 3	5 15	15 12	15 75	30				
Е	58 68	60 65	103 113	111 116					
	10 8	5 25	10 7	5 70	40				
Ж	68 78	65 75	113 123	116 126					
	10 13	10 25	10 12	10 70	30				
ΣT_j	78		78 75 88	118 128	128 138				231
Тр		13	13 5	15 12	27 55				

$T=55+78=133$ ед.вр.

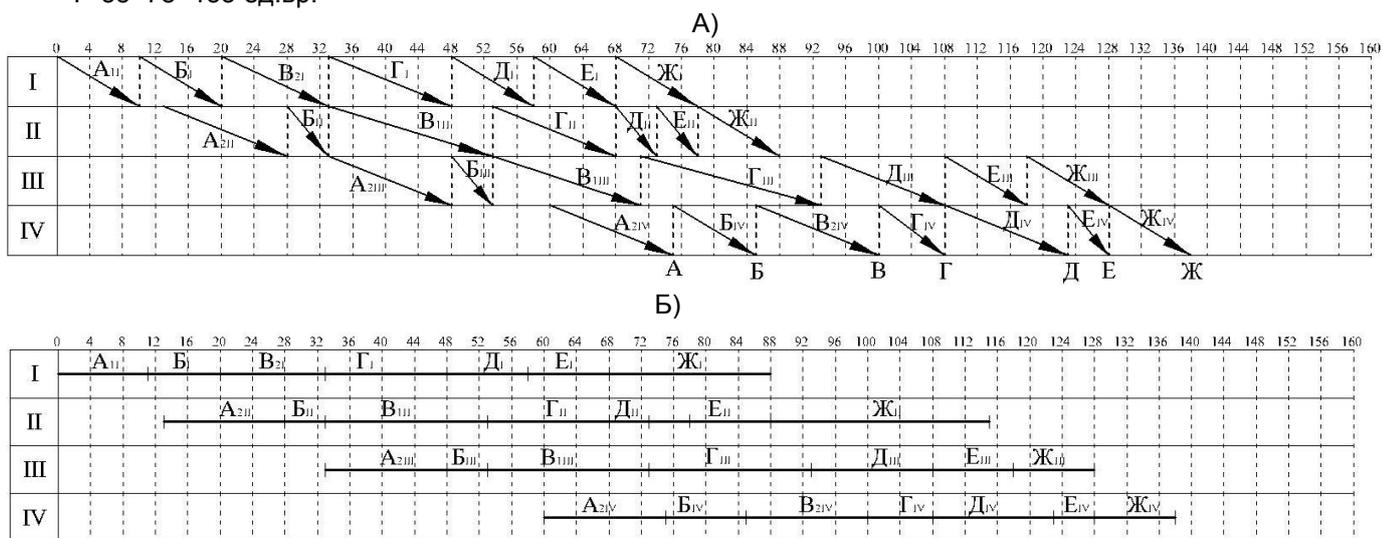


Рисунок 6 — Календарный график ППОР с НОФР (нулевое растяжение фронтальных связей): А — циклограмма; Б — линейный календарный график

5.3. Расчет параллельно-поточной организации работ по методу критического пути

Расчет потоков по методу критического пути (с критическими работами, выявленными с учетом ресурсных и фронтальных связей) подробно описан в [1-9]. Такие потоки обеспечивают минимальную продолжительность всего комплекса работ. Но при этом простаивают (имеют резервы времени) ресурсы и фронты работ. Результаты расчетов представлены в таблице 5 и на рисунке 7.

Таблица 5 — Матрица параллельно-поточной организации работ строительства Производственного комплекса с пристроенным административно-бытовым корпусом ООО «5Микрон НПО» по методу критического пути

ОФР	А		Б	В		Г	Д	Е	Ж	ΣT_j	Простои фронтов							
	А1	А2		В1	В2													
I	0	10	10	20		20	33	33	48	48	58	58	68	68	78			
	10		10			13		15		10		10		10		78	0	
II		0	15	20	25	25	45		48	63	63	68	68	73	78	88		
		15		5		20			15		5		5		10		88	13
III		15	30	30	35	45	65		65	85	85	100	100	110	110	120		
		15		5		20			20		15		10		10		105	10
IV		30	45	45	55		55	70	85	93	100	115	115	120	120	130		
		15		10			15		8		15		5		10		100	22
ΣT_j	10	45	45	40	50	60	67	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	45
Простои ресурсов		0	15						2		22		32		22		71	

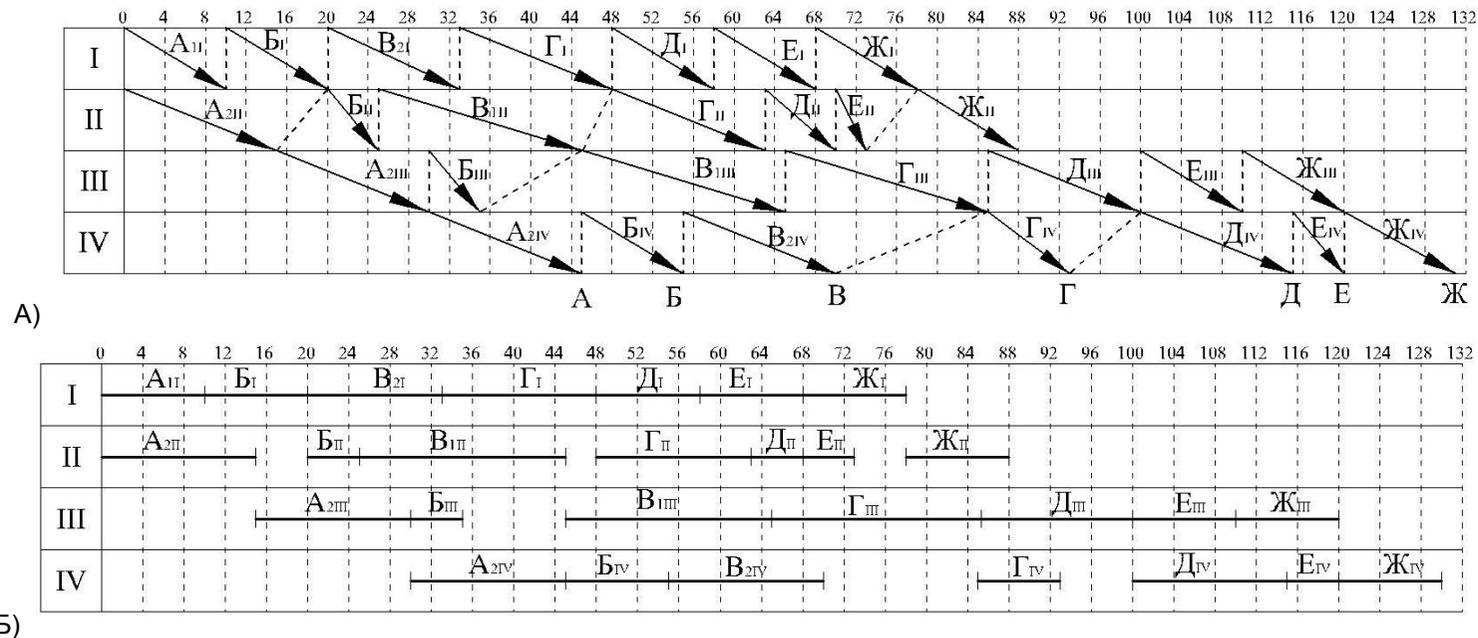


Рисунок 7 — Календарный график ППОР критическими работами, выявленными с учетом ресурсных и фронтальных связей при ранних сроках производства работ: А — циклограмма; Б — линейный календарный график

Таким образом, рассмотрев основные разновидности параллельно-поточных методов организации работ, необходимо выбрать оптимальный вариант организации работ (**шаг 7**). Для сравнения параметров потоков ИПОР и сформированных оптимальных ППОР сведем их в соответствующую таблицу 6.

Таблица 6 — Сравнительная таблица методов организации работ

Метод ОР	Т	Продолжительность видов работ								Продолжительность фронтов работ				Простои ресурсов	Простои фронтов	ΣTi		
		А		Б	В		Г	Д	Е	Ж	I	II	III				IV	
		A1	A2		B1	B2												
ИПОР КР	с	153	40	40	95	78	78	73	73	90	90	120	123	106	85	1244		
ИПОР НИР	с	180	40	30	40	58	45	30	40	150	150	150	150	0	262	1325		
ИПОР НОФР	с	153	75	75	95	78	78	73	73	90	70	90	88	209	0	1247		
ППОР КР	с	130	10	45	45	40	50	60	67	62	62	78	88	105	100	71	45	1058
ППОР НИР	с	152	10	45	30	40	28	58	45	30	40	130	140	135	130	0	209	1222
ППОР НОФР	с	133	10	62	75	40	80	75	75	70	70	78	75	95	78	231	0	1247

Из таблицы видно, что при формальном суммировании параметров потока наилучшим вариантом загрузки является параллельный поток с критическими работами, выявленными с учетом только ресурсных и фронтальных связей при ранних сроках производства работ. Такой поток имеет наименьшую продолжительность работ и минимум простоев ресурсов. Значит, переход от нормальной загрузки бригад (от ИПОР) к параллельным потокам с очередностью освоения фронтов работ оказался верным.

В соответствии с **шагом 8** необходимо спроектировать календарный график строительства. В связи с трудоемкостью расчетов, остается вопрос перехода от матричной (табличной) модели к компьютерной, например, используя программный комплекс Microsoft Project [25, 74].

Заключение

В результате проведенного исследования были сделаны следующие выводы:

1. Рассмотрены основные вопросы развития теории и практики параллельно-поточных методов организации строительно-монтажных работ на примере строительства Производственного комплекса с пристроенным административно-бытовым корпусом ООО «5Микрон НПО» по адресу: Ленинградская область, г. Гатчина, Красносельское шоссе д. 16, корп. 2.
2. Значительная часть из имеющихся моделей и методов организации производства и календарного планирования, по причине неполной детализации строительного процесса, изменении состава и числа бригад и их механовооруженности малопригодны для использования их в оперативном производственном управлении.
3. Были определены оптимальные очередности освоения фронтов работ при параллельно-поточном методе организации, обеспечивающие уменьшение общей продолжительности потока с минимальными простоями ресурсов.
4. В дальнейшем, остается актуальным вопрос разработки модели календарного плана в программном комплексе Microsoft Project, универсальной для различных объектов.

Литература

- [1]. Аленичева Е. В. Организация строительства поточным методом: Учеб. пособие / ТГТУ. Тамбов. 2004. С. 80.
- [2]. Афанасьев В. А. Алгоритмы формирования, расчета и оптимизации методов организации работ. Л.: ЛИСИ. 1980. С. 96.
- [3]. Афанасьев В. А. Оценка качества организации работ. Л.: ЛИСИ, 1984. - 48 с.
- [4]. Афанасьев В. А., Афанасьев А. В. Параллельно-поточная организация работ в строительстве. Л.: ЛИСИ. 1985. С. 115.
- [5]. Афанасьев В. А., Афанасьев А. В. Проектирование организации строительства, организации и производства работ. Л.: ЛИСИ. 1988. С. 100.
- [6]. Афанасьев В. А. Поточная организация строительства. Л.: Стройиздат Ленингр. отд-ние. 1990. С. 303.
- [7]. Новые разновидности поточной организации работ /В. А. Афанасьев [и др.]. Л.: ЛИСИ. 1991. С. 120.
- [8]. Афанасьев В. А., Морозова Т. Ф. Модели поточной организации работ: Учеб. пособие / СПбГПУ. СПб. 2002. С. 37.
- [9]. Афанасьев В. А., Афанасьев А. В. Организация и планирование строительного производства. Поточная организация работ: Учеб. пособие/ СПбГАСУ. СПб. 1999. С. 62.
- [10]. Бовтеев С. В. Развитие теории и практики формирования и оптимизации параллельно-поточной организации работ. Автореф. дис. к.т.н. СПб. 2000. С. 24.
- [11]. Бовтеев С. В. Управление строительными инвестиционными проектами: решение задач: Метод. указания по проведению практических занятий по дисциплине «Управление строительными инвестиционными проектами» для специальности 080502 – экономика и управление на предприятии строительства / СПб.: СПбГАСУ. 2010. С. 42.
- [12]. Бовтеев С. В. Управление проектами в строительстве. Учеб. пособие/ СПб.: СПбГАСУ. 2004.
- [13]. Бовтеев С. В., Терентьева Е. В. Управление сроками строительного проекта // Управление проектами и программами. 2014. №2. С. 158-173.
- [14]. Методика оценки календарного плана в программе управления проектом, ориентированная на обоснование инвестиций в строительство /Болотин С. А., Гугина Ю. Б., Нефедова В. К. // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2003. №9. С. 87-90.
- [15]. Модель пространственно-временной аналогии в оптимизации последовательности реконструируемых объектов /Болотин С. А., Дадар А. Х., Котовская М. А. // Инженерно-строительный журнал. 2013. №7. С. 51-57.
- [16]. Оптимизация последовательности выполнения энергоресурсосберегающих проектов /Болотин С. А., Дадар А. Х., Мещанинов И. Ю. // Материалы международного научного семинара «Проблемы внедрения энергоэффективных технологий в инженерные системы городского хозяйства». Кызыл: ТувГУ. 2010. С. 20-30.
- [17]. Совершенствование метода PERT в статистическом моделировании календарных планов /Болотин С. А., Дадар А. Х., Птухина И. С. // Вестник гражданских инженеров. 2012. №2. С. 132-138.
- [18]. Болотин С. А., Нефедова В. К. Комбинаторная оптимизация в программах управления проектами // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2003. №6. С. 47-51.
- [19]. Болотин С. А., Малкин М. М. Анализ потенциальных возможностей проектирования оптимального строительного генерального плана // Известия высших учебных заведений. Строительство. СПб.: СПбГАСУ. 2008. №4. С. 30-33.
- [20]. Совершенствование методов оптимизации календарных планов строительства в компьютерных системах управления проектами. Управление строительством в современных условиях / Болотин С. А., Малкин М. М., Мещанинов И. Ю. // Сборник научных трудов. СПб.: ВИТУ. 2009. С. 231-239.
- [21]. Болотин С. А., Мещанинов И. Ю. Методика оценки чувствительности схемы реализации комбинаторной оптимизации очередности освоения объектов // Вестник гражданских инженеров. 2009. №2. С. 20-24.
- [22]. Болотин С. А., Мещанинов И. Ю. Основы постановки частной задачи комбинаторной оптимизации строительства комплекса объектов // Известия вузов. Строительство. Новосибирск. 2009. № 2 (602). С. 38–42.
- [23]. 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.

- [24]. Моделирование оптимальной очередности реализации инновационных проектов / Бородин А. Р., Баркалов С. А., Сычев А. П. // Вестник московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2008. № 4. С. 77-81.
- [25]. Бызова К. В., Комаринский М. В. Календаризация строительства с использованием «Microsoft Project» [Электронный ресурс] // Материалы межвуз. науч.-техн. конф. «XXXII Неделя науки СПбПУ», 24-29 нояб. 2003г. СПб. 2004. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: ftp://ftp.unlib.neva.ru/dl/004050.pdf (дата обращения: 06.03.2013).
- [26]. Величкин В. З., Сахаров Г. С. Экономическая оценка календарных планов строительства сооружений АЭС // Инженерно-строительный журнал. 2008. №1. С.51.
- [27]. Комаринский М.В. .Производительность поршневого бетононасоса / Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 6 (11). С. 43-49.
- [28]. Барабанщиков Ю.Г., Комаринский М.В. Суперпластификатор С-3 и его влияние на технологические свойства бетонных смесей / Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 6 (21). с. 58-69.
- [29]. Грабовой П. Г. Организация, планирование и управление строительным производством: Липецк Информ. 2006. С. 304.
- [30]. Грабовый П.Г. Основные направления развития жилищного строительства в России// Недвижимость: экономика и управление. 2011. № 1. С.4-9 .
- [31]. Грабовый П. Г., Маликова И. П. Инвестиционная привлекательность жилищно-коммунальной сферы// Эффективное антикризисное управление. 2013. № 2(77). С. 66-72.
- [32]. Грей К.Ф., Ларсон Э.У. Управление проектами: практическое руководство. Пер. с англ. М.: 2003.
- [33]. Дадар А. Х. Развитие методологии сравнения методов организации работ по критерию минимума дополнительных затрат: дисс.канд. техн. наук. СПбГАСУ, СПб. 2000.
- [34]. Дадар А. Х., Куулар Ч. Ш. Применение логики генетических алгоритмов при оптимизации очередности реконструируемых объектов // Вестник Тувинского государственного университета. 2012. №3. С. 7-11.
- [35]. Дикман Л. Г. Организация строительного производства: Уч. для строительных ВУЗов. М.: Изд-во Ассоциации строительных ВУЗов. 2006. С. 608.
- [36]. Дитхелм Г. Управление проектами. В 2 т. Пер. с нем. СПб.: 2003.
- [37]. Докучаев А. В. Алгоритмы и программное обеспечение задач календарного планирования производства в условиях неопределенности// Обозрение прикладной и промышленной математики. №2. 2008. С. 288-289.
- [38]. Докучаев А. В., Котенко А. П. Решение задачи календарного планирования производства в условиях стохастической неопределенности параметров// Вестник самарского государственного технического университета. Серия: Физико-математические науки. №2 (15). 2007. С. 182-183.
- [39]. Драпеко В. Г. Выбор варианта параллельно-поточной организации работ по критерию достижения максимальной прибыли // Совершенствование технологий и организация строительства. Межвуз. темат. сб. тр. Л.: ЛИСИ. 1991. С. 24-30.
- [40]. Драпеко В. Г. Формирование и оптимизация параллельно-поточной организации работ на основе трехмерных моделей и квадратных подматриц. Автореф. дис. к.т.н. Л. 1984. С. 24.
- [41]. Драпеко В. Г. Исполнительные календарные графики в строительстве // Современные способы организации и управления строительством. Межвуз. темат. сб. Л.: ЛИСИ. 1986. С. 82-84.
- [42]. Драчев Е. А., Калюжюк М. М. Эвристический алгоритм распределения работ между бригадами при параллельно-поточной организации // Современные способы организации и управления строительством. Межвуз. темат. сб. тр. Л.: ЛИСИ. 1986. С. 30-34.
- [43]. Друрицина Р. Ф. Определение рационального количества бригад при проектировании параллельно-поточных методов // Исследования по организации, планированию и управлению строительством. Л.: ЛИСИ. 1984. С. 59-64.
- [44]. Еременко В. П. Оптимизация параллельных потоков при изменении очередности возведения объектов и загрузки бригад // Современные способы организации и управления строительством. Межвуз. темат. сб. тр. Л.: ЛИСИ. 1986. С.35-40.
- [45]. Клиндух А. М. Расчет поточного строительства серийных жилых домов. Киев: Изд-во Госстройиздат УССР. 1959.
- [46]. Кофмана А., Дебазей Г. «Сетевые методы планирования: применение системы PERT и ее разновидностей при управлении производственными и научно-исследовательскими проектами» Пер. с фр. М.: Прогресс. 1968. С. 127.

- [47]. Кремер О. Б., Подвальный С. Л. Программная реализация решения оптимизационных задач методом генетического алгоритма // Вестник Воронежского государственного технического университета. № 3. 2012. С.21-24.
- [48]. Крылов В. Г. Параллельно-поточная организация строительства с непрерывным освоением фронтов работ // Вопросы организации, планирования и управления строительством. Межвуз.темат.сб.тр. Л.: ЛИСИ. 1985. С. 20-23.
- [49]. Куклюгина Л. А., Куклюгин А. В., Харисов А. Р. Исследование существующих методов определения продолжительности строительства промышленных объектов. Известия КАГАСУ. 2012. №1 (19). С. 134-139.
- [50]. Мазур И. И., Шапиро В. Д. и др. Управление проектами. — М. 2001.
- [51]. Мещанинов И. Ю. Динамическая оптимизация долговременных потоков в организации строительства и реконструкции комплекса объектов. Автореф.дис. к.т.н.. СПб. 2011. С. 16.
- [52]. Мещанинов И. Ю. Совершенствование модели поиска оптимальной очередности освоения объектов // Доклады 66-й науч. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов СПбГАСУ. СПб. 2009. С. 176-179.
- [53]. Митрофанова Л. Д. Оптимизация параллельно-поточной организации работ при непрерывном освоении фронтов работ // Организация и планирование строительного производства, управление строительной организацией. Межвуз.темат.сб.тр. Л.: ЛИСИ. 1988. С. 56-62.
- [54]. Пути совершенствования планирования работ по строительству и технической эксплуатации комплекса объектов недвижимости / Мищенко В. Я., Емельянов Д. И., Аноприенко Е. Г. // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 6. С. 38-40.
- [55]. Стохастические алгоритмы в решении многокритериальных задач оптимизации распределения ресурсов при планировании строительного-монтажных работ / Мищенко В. Я., Емельянов Д. И., Тихоненко А. А., Старцев Р. В. // Научный вестник воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2012. № 1. С. 92-97.
- [56]. Моделирование устойчивой организационно-технологической системы воспроизводства городской инфраструктуры / Мищенко В. Я., Понявина Н. А., Назаров А. Н. // Научный вестник воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2010. № 1. С. 74-80.
- [57]. Обоснование целесообразности использования генетических алгоритмов при оптимизации распределения ресурсов в календарном планировании строительства / Мищенко В. Я., Емельянов Д. И., Тихоненко А. А. // Промышленное и гражданское строительство. 2013. №10. С. 69-71.
- [58]. Разработка методики оптимизации распределения ресурсов в календарном планировании строительства на основе генетических алгоритмов / Мищенко В. Я., Емельянов Д. И., Тихоненко А. А. // Промышленное и гражданское строительство. 2013. №11. С. 76-78.
- [59]. Мищенко В. Я. Теоретические основы организации эксплуатации и воспроизводства объектов недвижимости. авт.реф.к.т.н. М.:МГСУ. 2004. С. 7-9.
- [60]. Организация поточной застройки кварталов объектами соцкультбыта / Морозова Т. Ф. Боковая Н. Н., СяЦзямин // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №1 (6). С.36-46.
- [61]. Нормативы продолжительности строительства. Утверждены приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 04 октября 2011 г. № 481.
- [62]. Кузьменко Д.В., Митяев И.С., Комаринский М.В. Управление планированием строительства по сметным данным с помощью программного комплекса «АРОС-АРГУС»/ XXXII неделя науки СПбГПУ Материалы межвузовской научно-технической конференции. 2004. с. 147-148.
- [63]. Ильина Н.С., Морозова Т.Ф., Комаринский М.В. Планирование капитального ремонта с помощью системы «TIME LINE»/ XXXII неделя науки СПбГПУ Материалы межвузовской научно-технической конференции. 2004. с. 147-148.
- [64]. Телешев В.И., Комаринский М.В. Программный комплекс "GALGRAPH" по расчету эвристической оптимизации линейных календарных планов гидростроительства на ПЭВМ/ Энергетика, гидротехника Сборник научных трудов СПбГТУ. К 100-летию со дня основания университета. 1998. с. 70-79.
- [65]. Пронченко Л. Л. Формирование и оптимизация параллельно-поточной организации работ путем ориентированного назначения дополнительных однотипных бригад в поток с непрерывным использованием ресурсов // Совершенствование технологий и организация строительства. Межвуз.темат.сб.тр. Л.: ЛИСИ. 1991. С.35-38.

- [66].Формирование ответственности участников строительства за нарушение календарных сроков выполнения работ по методу PERT / Птухин И. А., Морозова Т. Ф., Ракова К. М. // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. №3 (18). С. 57-71.
- [67].Руководство по разработке и применению вероятностных сетевых моделей в строительстве.- М.: ЦНИПИАС. С. 1979 - 56.
- [68].Сандан Р. Н. Совершенствование методов календарного планирования строительно-монтажных работ на уровне простых технологических процессов. Автореф.дис. к.т.н. СПб. 2011. С. 21.
- [69].Сервах В. В. Некоторые задачи календарного планирования инвестиционных проектов // Материалы IV Всероссийской конференции "Проблемы оптимизации и экономические приложения", Омск, 2009. 87 с.
- [70].Сервах В. В., Щербинина Т. А. О сложности задачи календарного планирования проектов // Вестник НГУ. Серия: математика, механика, информатика. 2008. № 3. С.105-111.
- [71].Сергеенкова О. А. Календарное планирование строительства комплекса объектов с учетом особенностей программных средств // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. «7 (22). С. 176-193.
- [72].Серов В. М. Нестерова Н. А. Организация и управление в строительстве. Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. 3-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия». 2008. С. 432.
- [73].СНиП 1.04.03-85*. Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений [Текст]: нормативно-технический материал. Взамен СН 440-79 Введ.01.01.1991. М. 1991. С. 202.
- [74].Уськов В. В. Календарное планирование строительства объектов с применение программных комплексов Time Line, MS Project 2003. СПб.: ВИТУ. 2008. С. 102.
- [75].Хибухин В. П., Величкин В. З., Втюрин В. И. Математические методы планирования и управления строительством. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние. 1990. С. 184.
- [76].Чернобук К. Е. Анализ методов расчета и оптимизации параллельно-поточной организации работ в строительстве// 65 Научная конференция профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета Докл. 65 науч.конф. СПб. 2008. С. 99-103.
- [77].Юдина Т. Н., Кочетков А. Л. Экономическая мысль России (Проблемы экономического развития и эффективного управления в России). Материалы по спецкурсу для направлений 521500 «Менеджмент», 521600 «Экономика». М: МГАП Изд-во «Мир книги». 1995. С.100.
- [78].Barabanshchikov Yu.G., Komarinskiy M.V. 2. INFLUENCE OF SUPERPLASTICIZER S-3 ON THE TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF CONCRETE MIXTURES / Advanced Materials Research. 2014. № 941-944. p. 780-785.
- [79].Burduk A., Chlebus E. (2009) Methods of risk evaluation in manufacturing systems. Archives of Civil and Mechanical Engineering. Vol. 9. Issue 3. 2009. Pp. 17–30.
- [80].Chamulova B. Increasing time scheduling efficiency in the building process // Slovak journal of civil engineering. 2011. Vol. XIX. Issue 2. Pp. 16-20.
- [81].Chassiakos A. P., Sakellaropoulos S. P. Time–cost optimization of construction projects with generalized activity constraints. J. Constr. Eng. Manag. ASCE 131 (10). 2005. Pp. 1115–1124.
- [82].Cohen M., Palmer G. Project Risk Identification and Management // AACE International Transactions -AACE International, Morgantown. WV. 2004. INT.01.
- [83].El-Rayes K., Moselhi O., Optimal resource utilization for repetitive construction projects, J. Constr. Eng. Manag., ASCE 127 (1). 2001. Pp. 18–27.
- [84].Gil N., Tether B. S. (2011) Project risk management and design flexibility: Analysing a case and conditions of complementarity. Research Policy. 2011. Vol. 40. Pp. 415-428.
- [85].Handa V. K., Barcia R. M., Barcia, Linear scheduling using optimal control theory, J. Constr. Eng., ASCE 112 (3). 1986. Pp. 387–393.
- [86].Hejducki Z., Sequencing problems in methods of organizing construction processes, Eng., Constr. Archit. Manag., Emerald Publ. 2004. № 11 (1). Pp. 20–32.
- [87].Kerzner H. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling /8th ed. NewYork: JohnWiley&Sons. 2003. P. 891.
- [88].O'Brien J. J., VPM scheduling for high-rise buildings, J. Constr. Div., ASCE 101 (4). 1975. Pp. 895–905.
- [89].Project Management Body of Knowledge (PMBok) 4th Edition/ Project Management Institute. Pennsylvania. 2008. P. 506.

- [90]. R.I. Carr, W.L. Meyer, Planning construction of repetitive building units, J. Constr. Div., ASCE 100 (3). 1974. Pp. 403–412.
- [91]. Stradal O., Cacha J., Time space scheduling method, J. Constr. Div., ASCE 108 (3). 1982. Pp. 445–457.
- [92]. Tavakolan M. Development of construction Project scheduling with evolutionary algorithm [Электронный ресурс] // Columbia University. 2011. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://academiccommons.colombia.edu/download/Tavakolan.pdf> (дата обращения: 13.12.2013).
- [93]. Weaver P. A brief history of scheduling. Back to the future [Электронный ресурс]/P. Weaver// Mosaic Published Papers, 4-6 April 2006. South Melbourne, Australia, 2006. URL: www.mosaicprojects.com.au/Resources_Papers_042.html. (дата обращения: 05.02.2014).
- [94]. Zavadskas E. K., Turskis Z., Tamošaitiene J. (2010) Risk assessment of construction projects. Journal of Civil Engineering and Management. Vol.16. Issue 1. 2010. Pp. 33–46.
- [95]. ООО "ПСК "Инкон": [сайт]. URL: <http://www.incinspk.ru>.

The role of a landscape architect in reconstruction and reprofiling of abandoned quarries

A.I. Siverikova¹, V.Z. Velichkin²

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO

Original research article

Article history

Received 19 November 2014
Accepted 6 April 2015

Keywords

scheduling,
process organization,
stream type work organization,
parallel and stream type work
organization,
optimization,
linear schedule,
sequence diagram

ABSTRACT

Construction of buildings is technically and financially difficult process. It can't possible for carrying out without coordination of all works at each stage of construction and with observing production requirements and normative legal acts approved in the Russian Federation the minimum terms. So actual problem - is reduction of term of works without increase in cost of final. The solutions of such problem are development of planned schedules, using of production resources of the construction enterprises, the software for operational management of the course of works. Nowadays there is a number of methods (algorithms) of calculation and optimization of the organization of works with the subsequent development of schedule diagrams. More broad application is the parallel and stream organization of works.

The purpose of article is the analysis of development of a method parallel and stream methods and scheduling of construction. Object of research is the theory and methodology of the organization and optimization of scheduling.

In article authors describe heuristic algorithm of parallel and stream organization consider the main methods on the example of construction of Industrial complex with the attached administrative case of JSC "5 Micron NPO".

As a result of the analysis the optimum sequences of development of fronts of works at a parallel and steam methods of the organization providing reduction of the general duration of a stream with the minimum idle times of resources were defined. Authors draw a conclusion that further, there is actual a question of development of model of the planned schedule in the program Microsoft Project complex, universal for various objects.

¹ Corresponding author:
+7 (921) 364 1154, miu.miu13.89@gmail.com (Alena Ivanovna Siverikova, Graduate Student)
² V.Velichkin2011@yandex.ru (Viktor Zakharovich Velichkin, D.Sc., Professor)

References

- [1]. Alenicheva Ye. V. Organizatsiya stroitelstva potochnym metodom: Ucheb. posobiye / TGTU. Tambov. 2004. S. 80.
- [2]. Afanasyev V. A. Algoritmy formirovaniya, rascheta i optimizatsii metodov organizatsii rabot. L.: LISI. 1980. S. 96.
- [3]. Afanasyev V. A. Otsenka kachestva organizatsii rabot. L.: LISI, 1984. - 48 s.
- [4]. Afanasyev V. A., Afanasyev A. V. Parallelno-potochnaya organizatsiya rabot v stroitelstve. L.: LISI. 1985. S. 115.
- [5]. Afanasyev V. A., Afanasyev A. V. Proyektirovaniye organizatsii stroitelstva, organizatsii i proizvodstva rabot. L.: LISI. 1988. S. 100.
- [6]. Afanasyev V. A. Potochnaya organizatsiya stroitelstva. L.: Stroyizdat Leningr. otd-niye. 1990. S. 303.
- [7]. Novyye raznovidnosti potochnoy organizatsii rabot /V. A. Afanasyev [i dr.]. L.: LISI. 1991. S. 120.
- [8]. Afanasyev V. A., Morozova T. F. Modeli potochnoy organizatsii rabot: Ucheb. posobiye / SPbGPU. SPb. 2002. S. 37.
- [9]. Afanasyev V. A., Afanasyev A. V. Organizatsiya i planirovaniye stroitel'nogo proizvodstva. Potochnaya organizatsiya rabot: Ucheb. posobiye/ SPbGASU. SPb. 1999. S. 62.
- [10].Bovtseyev S. V. Razvitiye teorii i praktiki formirovaniya i optimizatsii parallelno-potochnoy organizatsii rabot. Avtoref. dis. k.t.n. SPb. 2000. S. 24.
- [11].Bovtseyev S. V. Upravleniye stroitel'nymi investitsionnymi proyektami: resheniye zadach: Metod. ukazaniya po provedeniyu prakticheskikh zanyatiy po distsipline «Upravleniye stroitel'nymi investitsionnymi proyektami» dlya spetsialnosti 080502 – ekonomika i upravleniye na predpriyatii stroitelstva / SPb.: SPbGASU. 2010. S. 42.
- [12].Bovtseyev S. V. Upravleniye proyektami v stroitelstve. Ucheb. posobiye/ SPb.: SPbGASU. 2004.
- [13].Bovtseyev S. V., Terentyeva Ye. V. Upravleniye srokami stroitel'nogo proyekta // Upravleniye proyektami i programmami. 2014. №2. S. 158-173.
- [14].Metodika otsenki kalendarnogo plana v programme upravleniya proyektom, oriyentirovannaya na obosnovaniye investitsiy v stroitelstvo /Bolotin S. A., Gugina Yu. B., Nefedova V. K. // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo. 2003. №9. S. 87-90.
- [15].Model prostranstvenno-vremennoy analogii v optimizatsii posledovatelnosti rekonstruiyemykh ob'yektov /Bolotin S. A., Dadar A. Kh., Kotovskaya M. A. // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2013. №7. S. 51-57.
- [16].Optimizatsiya posledovatelnosti vypolneniya energoresursosberegayushchikh proyektov /Bolotin S. A., Dadar A. Kh., Meshchaninov I. Yu. // Materialy mezhdunarodnogo nauchnogo seminara «Problemy vnedreniya energoeffektivnykh tekhnologiy v inzhenernyye sistemy gorodskogo khozyaystva». Kyzyl: TuvGU. 2010. S. 20-30.
- [17].Sovershenstvovaniye metoda PERT v statisticheskom modelirovanii kalendarnykh planov /Bolotin S. A., Dadar A. Kh., Ptukhina I. S. // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2012. №2. S. 132-138.
- [18].Bolotin S. A., Nefedova V. K. Kombinatornaya optimizatsiya v programmakh upravleniya proyektami // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo. 2003. №6. S. 47-51.
- [19].Bolotin S. A., Malkin M. M. Analiz potentsialnykh vozmozhnostey proyektirovaniya optimal'nogo stroitel'nogo general'nogo plana // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo. SPb.: SPbGASU. 2008. №4. S. 30-33.
- [20].Sovershenstvovaniye metodov optimizatsii kalendarnykh planov stroitelstva v kompyuternykh sistemakh upravleniya proyektami. Upravleniye stroitelstvom v sovremennykh usloviyakh / Bolotin S. A., Malkin M. M., Meshchaninov I. Yu. // Sbornik nauchnykh trudov. SPb.: VITU. 2009. S. 231-239.
- [21].Bolotin S. A., Meshchaninov I. Yu. Metodika otsenki chuvstvitelnosti skhemy realizatsii kombinatornoy optimizatsii ocherednosti osvoyeniya ob'yektov // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2009. №2. S. 20-24.
- [22].Bolotin S. A., Meshchaninov I. Yu. Osnovy postanovki chastnoy zadachi kombinatornoy optimizatsii stroitelstva kompleksa ob'yektov // Izvestiya vuzov. Stroitelstvo. Novosibirsk. 2009. № 2 (602). S. 38–42.
- [23].Bolotin S. A., Meshchaninov I. Yu. Metodika otsenki chuvstvitelnosti skhemy realizatsii kombinatornoy optimizatsii ocherednosti osvoyeniya ob'yektov // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2009. № 2 (19). S. 20-24.

- [24]. Modelirovaniye optimalnoy ocherednosti realizatsii innovatsionnykh proyektov / Borodin A. R., Barkalov S. A., Sychev A. P. // Vestnik moskovskogo avtomobilno-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). 2008. № 4. S. 77-81.
- [25]. Byzova K. V., Komarinskiy M. V. Kalendarizatsiya stroitelstva s ispolzovaniyem «Microsoft Project» [Elektronnyy resurs] // Materialy mezhvuz.nauch.-tekhn.konf. «XXXII Nedelya nauki SPGPU», 24-29 noyab. 2003g. SPb. 2004. Sistem. trebovaniya: AdobeAcrobatReader. URL: ftp://ftp.unlib.neva.ru/dl/004050.pdf (data obrashcheniya: 06.03.2013).
- [26]. Velichkin V. Z., Sakharov G. S. Ekonomicheskaya otsenka kalendarnykh planov stroitelstva sooruzheniy AES // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2008. №1. S.51.
- [27]. Komarinskiy M.V. .Proizvoditelnost porshneвого betononasosa / Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2013. № 6 (11). S. 43-49.
- [28]. Barabanshchikov Yu.G., Komarinskiy M.V. Superplastifikator S-3 i yego vliyaniye na tekhnologicheskiye svoystva betonnykh smesey / Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2014. № 6 (21). s. 58-69.
- [29]. Grabovoy P. G. Organizatsiya, planirovaniye i upravleniye stroitelnyim proizvodstvom: Lipetsk Inform. 2006. S. 304.
- [30]. Grabovyy P.G. Osnovnyye napravleniya razvitiya zhilishchnogo stroitelstva v Rossii// Nedvizhimost: ekonomika i upravleniye. 2011. № 1. S.4-9 .
- [31]. Grabovyy P. G., Malikova I. P. Investitsionnaya privlekatelnost zhilishchno-kommunalnoy sfery// Effektivnoye antikrizisnoye upravleniye. 2013. № 2(77). S. 66-72.
- [32]. Grey K.F., Larson E.U. Upravleniye proyektami: prakticheskoye rukovodstvo. Per. s angl. M.: 2003.
- [33]. Dadar A. Kh. Razvitiye metodologii sravneniya metodov organizatsii rabot po kriteriyu minimuma dopolnitelnykh zatrat: diss.kand. tekhn. nauk. SPbGASU, SPb. 2000.
- [34]. Dadar A. Kh., Kuular Ch. Sh. Primeneniye logiki geneticheskikh algoritmov pri optimizatsii ocherednosti rekonstruiruyemykh obyektov // Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. 2012. №3. S. 7-11.
- [35]. Dikman L. G. Organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva: Uch. dlya stroitelnykh VUZov. M.: Izd-vo Assotsiatsii stroitelnykh VUZov. 2006. S. 608.
- [36]. Ditzhelm G. Upravleniye proyektami. V 2 t. Per. s nem. SPb.: 2003.
- [37]. Dokuchayev A. V. Algoritmy i programmnoye obespecheniye zadach kalendarnogo planirovaniya proizvodstva v usloviyakh neopredelennosti// Obozreniye prikladnoy i promyshlennoy matematiki. №2. 2008. S. 288-289.
- [38]. Dokuchayev A. V., Kotenko A. P. Resheniye zadachi kalendarnogo planirovaniya proizvodstva v usloviyakh stokhasticheskoy neopredelennosti parametrov// Vestnik samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Fiziko-matematicheskiye nauki. №2 (15). 2007. S. 182-183.
- [39]. Drapeko V. G. Vybora varianta paralelno-potochnoy organizatsii rabot po kriteriyu dostizheniya maksimalnoy pribyli // Sovershenstvovaniye tekhnologiy i organizatsiya stroitelstva. Mezhvuz.temat.sb.tr. L.: LISI. 1991. S. 24-30.
- [40]. Drapeko V. G. Formirovaniye i optimizatsiya paralelno-potochnoy organizatsii rabot na osnove trekhmernykh modeley i kvadratnykh podmatrits. Avtoref. dis. k.t.n. L. 1984. S. 24.
- [41]. Drapeko V. G. Ispolnitelnyye kalendarnyye grafiki v stroitelstve // Sovremennyye sposoby organizatsii i upravleniya stroitelstvom. Mezhvuz. temat. sb. L.: LISI. 1986. S. 82-84.
- [42]. Drachev Ye. A., Kalyuzhyuk M. M. Evristicheskiy algoritm raspredeleniya rabot mezhdru brigadami pri paralelno-potochnoy organizatsii // Sovremennyye sposoby organizatsii i upravleniya stroitelstvom. Mezhvuz.temat.sb.tr. L.: LISI. 1986. S. 30-34.
- [43]. Druritsina R. F. Opredeleniye ratsionalnogo kolichestva brigad pri proyektirovanii paralelno-potochnykh metodov // Issledovaniya po organizatsii, planirovaniyu i upravleniyu stroitelstvom. L.: LISI. 1984. S. 59-64.
- [44]. Yeremenko V. P. Optimizatsiya paralelnykh potokov pri izmenenii ocherednosti vozvedeniya obyektov i zagruzki brigad // Sovremennyye sposoby organizatsii i upravleniya stroitelstvom. Mezhvuz.temat.sb.tr. L.: LISI. 1986. S.35-40.
- [45]. Klindukh A. M. Raschet potochnogo stroitelstva seriynykh zhilykh domov. Kiyev: Izd-vo Gosstroyizdat USSR. 1959.
- [46]. Kofmana A., Debazey G. «Setevyye metody planirovaniya: primeneniye sistemy PERT i yeye raznovidnostey pri upravlenii proizvodstvennyimi i nauchno-issledovatel'skimi proyektami» Per. s fr. M.: Progress. 1968. S. 127.

- [47]. Kremer O. B., Podvalnyy S. L. Programmaya realizatsiya resheniya optimizatsionnykh zadach metodom geneticheskogo algoritma // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. № 3. 2012. S.21-24.
- [48]. Krylov V. G. Parallelnopotochnaya organizatsiya stroitelstva s nepreryvnym osvoyeniyem frontov rabot // Voprosy organizatsii, planirovaniya i upravleniya stroitelstvom. Mezhvuz.temat.sb.tr. L.: LISI. 1985. S. 20-23.
- [49]. Kuklyugina L. A., Kuklyugin A. V., Kharisov A. R. Issledovaniye sushchestvuyushchikh metodov opredeleniya prodolzhitelnosti stroitelstva promyshlennykh obyektov. Izvestiya KAGASU. 2012. №1 (19). S. 134-139.
- [50]. Mazur I. I., Shapiro V. D. i dr. Upravleniye proyektami. — M. 2001.
- [51]. Meshchaninov I. Yu. Dinamicheskaya optimizatsiya dolgovremennykh potokov v organizatsii stroitelstva i rekonstruktsii kompleksa obyektov. Avtoref.dis. k.t.n.. SPb. 2011. S. 16.
- [52]. Meshchaninov I. Yu. Sovershenstvovaniye modeli poiska optimalnoy ocherednosti osvoyeniya obyektov // Doklady 66-y nauch. konf. professorov, prepodavateley, nauchnykh rabotnikov, inzhenerov i aspirantov SPbGASU. SPb. 2009. S. 176-179.
- [53]. Mitrofanova L. D. Optimizatsiya parallelnopotochnoy organizatsii rabot pri nepreryvnom osvoyenii frontov rabot // Organizatsiya i planirovaniye stroitel'nogo proizvodstva, upravleniye stroitel'noy organizatsiyey. Mezhvuz.temat.sb.tr. L.: LISI. 1988. S. 56-62.
- [54]. Puti sovershenstvovaniya planirovaniya rabot po stroitelstvu i tekhnicheskoy ekspluatatsii kompleksa obyektov nedvizhimosti / Mishchenko V. Ya., Yemelyanov D. I., Anopriyenko Ye. G. // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. 2007. № 6. S. 38-40.
- [55]. Stokhasticheskiye algoritmy v reshenii mnogokriterialnykh zadach optimizatsii raspredeleniya resursov pri planirovanii stroitel'no-montazhnykh rabot / Mishchenko V. Ya., Yemelyanov D. I., Tikhonenko A. A., Startsev R. V. // Nauchnyy vestnik voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura. 2012. № 1. S. 92-97.
- [56]. Modelirovaniye ustoychivoy organizatsionno-tekhnologicheskoy sistemy vosproizvodstva gorodskoy infrastruktury / Mishchenko V. Ya., Ponyavina N. A., Nazarov A. N. // Nauchnyy vestnik voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Vysokiytehnologii. Ekologiya. 2010. № 1. S. 74-80.
- [57]. Obosnovaniye tselesoobraznosti ispolzovaniya geneticheskikh algoritmov pri optimizatsii raspredeleniya resursov v kalendarnom planirovanii stroitelstva / Mishchenko V. Ya., Yemelyanov D. I., Tikhonenko A. A. // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. 2013. №10. S. 69-71.
- [58]. Razrabotka metodiki optimizatsii raspredeleniya resursov v kalendarnom planirovanii stroitelstva na osnove geneticheskikh algoritmov / Mishchenko V. Ya., Yemelyanov D. I., Tikhonenko A. A. // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. 2013. №11. S. 76-78.
- [59]. Mishchenko V. Ya. Teoreticheskiye osnovy organizatsii ekspluatatsii i vosproizvodstva obyektov nedvizhimosti. avt.ref.k.t.n. M.:MGSU. 2004. S. 7-9.
- [60]. Organizatsiya potochnoy zastroyki kvartalov obyektami sotskultbyta / Morozova T. F. Bokovaya N. N., SyaTszyamin // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2013. №1 (6). S.36-46.
- [61]. Normativy prodolzhitelnosti stroitelstva. Utverzhdeny prikazom Ministerstva regionalnogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii ot 04 oktyabrya 2011 g. № 481.
- [62]. Kuzmenko D.V., Mityayev I.S., Komarinskiy M.V. Upravleniye planirovaniyem stroitelstva po smetnym dannym s pomoshchyu programmnoy kompleksa «AROS-ARGUS»/ XXXII nedelya nauki SPbGPU Materialy mezhvuzovskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. 2004. s. 147-148.
- [63]. Ilina N.S., Morozova T.F., Komarinskiy M.V. Planirovaniye kapitel'nogo remonta s pomoshchyu sistemy «TIME LINE»/ XXXII nedelya nauki SPbGPU Materialy mezhvuzovskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. 2004. s. 147-148.
- [64]. Teleshev V.I., Komarinskiy M.V. Programmnyy kompleks "GALGRAPH" po raschetu evristicheskoy optimizatsii lineynykh kalendarnykh planov gidrostroitelstva na PEVM/ Energetika, gidrotekhnika Sbornik nauchnykh trudov SPbGTU. K 100-letiyu so dnya osnovaniya universiteta. 1998. s. 70-79.
- [65]. Pronchenko L. L. Formirovaniye i optimizatsiya parallelnopotochnoy organizatsii rabot putem oriyentirovannogo naznacheniya dopolnitelnykh odnotipnykh brigad v potok s nepreryvnym ispolzovaniyem resursov // Sovershenstvovaniye tekhnologiy i organizatsiya stroitelstva. Mezhvuz.temat.sb.tr. L.: LISI. 1991. S.35-38.
- [66]. Formirovaniye otvetstvennosti uchastnikov stroitelstva za narusheniye kalendarnykh srokov vypolneniya rabot po metodu PERT / Ptukhin I. A., Morozova T. F., Rakova K. M. // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2014. №3 (18). S. 57-71.

- [67]. Rukovodstvo po razrabotke i primeneniyu veroyatnostnykh setevykh modeley v stroitelstve.- M.: TsNIPIAS. S. 1979 - 56.
- [68]. Sandan R. N. Sovershenstvovaniye metodov kalendarnogo planirovaniya stroitelno-montazhnykh rabot na urovne prostykh tekhnologicheskikh protsessov. Avtoref. dis. k.t.n. SPb. 2011. S. 21.
- [69]. Servakh V. V. Nekotoryye zadachi kalendarnogo planirovaniya investitsionnykh proyektov // Materialy IV Vserossiyskoy konferentsii "Problemy optimizatsii i ekonomicheskiye prilozheniya", Omsk, 2009. 87 s.
- [70]. Servakh V. V., Shcherbinina T. A. O slozhnosti zadachi kalendarnogo planirovaniya proyektov // Vestnik NGU. Seriya: matematika, mekhanika, informatika. 2008. № Z. S.105-111.
- [71]. Sergeyenkova O. A. Kalendarnoye planirovaniye stroitelstva kompleksa obyektov s uchetom osobennostey programmnykh sredstv // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2014. «7 (22). S. 176-193.
- [72]. Serov V. M. Nesterova N. A. Organizatsiya i upravleniye v stroitelstve. Ucheb. posobiye dlya stud. vyssh. ucheb. zavedeniy. 3-ye izd., ster. M.: Izdatelskiy tsentr «Akademiya». 2008. S. 432.
- [73]. SNiP 1.04.03-85*. Normy prodolzhitelnosti stroitelstva i zadela v stroitelstve predpriyatiy, zdaniy i sooruzheniy [Tekst]: normativno-tekhnicheskii material. Vzamen SN 440-79 Vved.01.01.1991. M. 1991. S. 202.
- [74]. Uskov V. V. Kalendarnoye planirovaniye stroitelstva obyektov s primeneniye programmnykh kompleksov Time Line, MS Project 2003. SPb.: VITU. 2008. S. 102.
- [75]. Khibukhin V. P., Velichkin V. Z., Vtyurin V. I. Matematicheskiye metody planirovaniya i upravleniya stroitelstvom. 2-ye izd., pererab. i dop. L.: Stroyizdat. Leningr. otd-niye. 1990. S. 184.
- [76]. Chernobuk K. Ye. Analiz metodov rascheta i optimizatsii paralelno-potochnoy organizatsii rabot v stroitelstve// 65 Nauchnaya konferentsiya professorov, prepodavateley, nauchnykh rabotnikov, inzhenerov i aspirantov universiteta Dokl. 65 nauch.konf. SPb. 2008. S. 99-103.
- [77]. Yudina T. N., Kochetkov A. L. Ekonomicheskaya mysl Rossii (Problemy ekonomicheskogo razvitiya i effektivnogo upravleniya v Rossii). Materialy po spetskursu dlya napravleniy 521500 «Menedzhment», 521600 «Ekonomika». M: MGAP Izd-vo «Mir knigi». 1995. S.100.
- [78]. Barabanshchikov Yu.G., Komarinskiy M.V. 2. INFLUENCE OF SUPERPLASTICIZER S-3 ON THE TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF CONCRETE MIXTURES / Advanced Materials Research. 2014. № 941-944. p. 780-785.
- [79]. Burduk A., Chlebus E. (2009) Methods of risk evaluation in manufacturing systems. Archives of Civil and Mechanical Engineering. Vol. 9. Issue 3. 2009. Pp. 17–30.
- [80]. Chamulova B. Increasing time scheduling efficiency in the building process // Slovak journal of civil engineering. 2011. Vol. XIX. Issue 2. Pp. 16-20.
- [81]. Chassiakos A. P., Sakellariopoulos S. P. Time–cost optimization of construction projects with generalized activity constraints. J. Constr. Eng. Manag. ASCE 131 (10). 2005. Pp. 1115–1124.
- [82]. Cohen M., Palmer G. Project Risk Identification and Management // AACE International Transactions -AACE International, Morgantown. WV. 2004. INT.01.
- [83]. El-Rayes K., Moselhi O., Optimal resource utilization for repetitive construction projects, J. Constr. Eng. Manag., ASCE 127 (1). 2001. Rr. 18–27.
- [84]. Gil N., Tether B. S. (2011) Project risk management and design flexibility: Analysing a case and conditions of complementarity. Research Policy. 2011. Vol. 40. Pp. 415-428.
- [85]. Handa V. K., Barcia R. M., Barcia, Linear scheduling using optimal control theory, J. Constr. Eng., ASCE 112 (3). 1986. Rr. 387–393.
- [86]. Hejducki Z., Sequencing problems in methods of organizing construction processes, Eng., Constr. Archit. Manag., Emerald Publ. 2004. № 11 (1). Pp. 20–32.
- [87]. Kerzner H. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling /8th ed. NewYork: JohnWiley&Sons. 2003. R. 891.
- [88]. O'Brien J. J., VPM scheduling for high-rise buildings, J. Constr. Div., ASCE 101 (4). 1975. Rr. 895–905.
- [89]. Project Management Body of Knowledge (PMBok) 4th Edition/ Project Management Institute. Pennsylvania. 2008. R. 506.
- [90]. R.I. Carr, W.L. Meyer, Planning construction of repetitive building units, J. Constr. Div., ASCE 100 (3). 1974. Rr. 403–412.
- [91]. Stradal O., Cacha J., Time space scheduling method, J. Constr. Div., ASCE 108 (3). 1982. Rr. 445–457.

- [92]. Tavakolan M. Development of construction Project scheduling with evolutionary algorithm [Elektronnyy resurs] // Columbia University. 2011. Sistem. trebovaniya: AdobeAcrobatReader. URL: <http://academiccommons.colombia.edu/download/Tavakolan.pdf> (data obrashcheniya: 13.12.2013).
- [93]. Weaver P. A brief history of scheduling. Back to the future [Elektronnyy resurs]/P. Weaver// Mosaic Published Papers, 4-6 April 2006. South Melbourne, Australia, 2006. URL: www.mosaicprojects.com.au/Resources_Papers_042.html. (data obrashcheniya: 05.02.2014).
- [94]. Zavadskas E. K., Turskis Z., Tamošaitiene J. (2010) Risk assessment of construction projects. Journal of Civil Engineering and Management. Vol.16. Issue 1. 2010. Pp. 33–46.
- [95]. ООО "PSK "Inkon": [website]. URL: <http://www.incinpsk.ru>.

Сиверикова А.И., Величкин В.З. Параллельно-поточный метод организации строительства // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №4(31). С. 135-162.

Siverikova A.I., Velichkin V.Z. Parallel and stream methods of construction organization. Construction of Unique Buildings and Structures, 2015, 4(31), Pp. 135-162. (rus)