НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER
УДК 69.05:658.7
DOI: 10.22227/1997-0935.2024.5.826-835

Использование инструмента бережливого производства в управлении поставками материалов в течение жизненного цикла строительного проекта

Людмила Анатольевна Опарина, Евгений Александрович Барзыгин, Ярослава Александровна Гриднева, Наталья Сергеевна Касьяненко
Ивановский государственный политехнический университет (ИВГПУ); г. Иваново, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. При выборе контрактной модели Engineering, Procurement, Construction (EPC) жизненным циклом (ЖЦ) строительных проектов управляет специализированная организация-контрактор. Данная форма управления строительными проектами является относительно новой для российских застройщиков, ее успешная реализация зависит от различных организационно-технических решений, в частности управления материально-техническим снабжением. Проблематика исследования связана с существующими рисками организации поставок материально-технических ресурсов при реализации строительных проектов по модели EPC, которые оказывают негативное влияние на важнейшие показатели эффективности строительства, такие как сроки и стоимость. Описаны стратегии предотвращения рисковых событий, наступающих при планировании поставок материально-технических ресурсов в течение ЖЦ строительных проектов (риски изменения цены, риски нарушения контрактных обязательств, риски изменения качества поставки, репутационные риски и риски существенного изменения спроса). Решены задачи по митигации рисков с помощью применения инструментов бережливого производства.
Материалы и методы. Использованы методология и стандарты управления проектами применительно к процессам материально-технического обеспечения строительства, а также методы календарно-сетевого планирования, методы декомпозиции содержания проекта, методы контрактной стратегии реализации строительных проектов и элементы методологии пакетно-узлового метода строительства.
Результаты. Описаны результаты исследования и даны рекомендации по практическому использованию инструмента гибкой методологии управления проектами, известному в международной практике как Just In Time, что в переводе на русский язык означает «Точно, вовремя».
Выводы. Представлено обоснование использования предлагаемого инструмента планирования как мероприятие для снижения рисков, связанных с поставками материалов, и повышения эффективности управления ЖЦ строительных проектов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: жизненный цикл строительного проекта, многоуровневое планирование, календарно-сетевое планирование, пакетно-узловой метод строительства, риски, бережливое производство, управление проектами, строительство

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: *Опарина Л.А., Барзыгин Е.А., Гриднева Я.А., Касьяненко Н.С.* Использование инструмента бережливого производства в управлении поставками материалов в течение жизненного цикла строительного проекта // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 5. С. 826–835. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.5.826-835

Автор, ответственный за переписку: Людмила Анатольевна Опарина, L.A. Oparina@gmail.com.

Using lean manufacturing tools in materials supply management during the life cycle of a construction project

Lyudmila A. Oparina, Evgenii A. Barzygin, Yaroslava A. Gridneva, Natalya S. Kasyanenko
Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU); Ivanovo, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. When choosing the Engineering, Procurement, Construction (EPC) contract model, the life cycle of construction projects is managed by a specialized contractor organization. This form of construction project management is relatively new for Russian developers, and its successful implementation depends on various organizational and technical solutions, in particular, logistics management. The research problem is related to the existing risks of organizing the supply of material and technical resources during the implementation of construction projects using the EPC model, which have a negative impact on the most important indicators of construction efficiency, such as timing and cost. The paper describes strategies for preventing risk events that occur when planning the supply of material and technical resources during the life cycle

Вестник МГСУ • ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) • **Том 19. Выпуск 5, 2024**
Vestnik MGSU • Monthly Journal on Construction and Architecture • **Volume 19. Issue 5, 2024**

of construction projects (risks of price changes, risks of violation of contractual obligations, risks of changes in the quality of delivery, reputational risks and risks of significant changes in demand). The problems of risk mitigation using lean manufacturing tools were solved.

Materials and methods. The methodology and standards of project management as applied to the processes of material and technical support of construction, as well as methods of calendar-network planning, methods of project content decomposition, methods of contract strategy of construction projects implementation and elements of the methodology of package-node method of construction were used.

Results. The results of the research are described and recommendations are given for the practical use of the flexible project management tool known in international practice as Just In Time.

Conclusions. A justification for the use of the proposed planning tool as an activity to reduce risks associated with the supply of materials and improve the efficiency of life cycle management of construction projects is presented.

KEYWORDS: construction project life cycle, multi-level planning, calendar-network planning, package-node construction method, risks, lean manufacturing, project management, construction

FOR CITATION: Oparina L.A., Barzygin E.A., Gridneva Ya.A., Kasyanenko N.S. Using lean manufacturing tools in materials supply management during the life cycle of a construction project. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(5):826-835. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.5.826-835 (rus.).

Corresponding author: Lyudmila A. Oparina, L.A. Oparina@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

Контрактная модель строительства объекта модели Engineering, Procurement, Construction (EPC) предполагает управление жизненным циклом инвестиционно-строительного проекта специализированной организацией. Такие проекты объединяют в своем содержании несколько типов проектов (проектирование, поставка оборудования и материалов, строительство) [1]. Выполнение EPC-контактором своих обязательств по точному соблюдению сроков и стоимости проекта особенно важно, так как он несет на себе все риски его реализации. Риск — это событие или состояние, обусловленное неопределенностью, результат которого может привести как к положительному, так и к отрицательному эффекту в проекте [2]. В данном исследовании поднимается проблема митигации рисков поставок материально технических ресурсов (МТР). По времени хранения и использования строительные материалы могут быть разделены на МТР краткосрочного или ограниченного времени использования и МТР долгосрочного времени хранения и использования. Ограниченность времени хранения и использования строительных материалов накладывает ограничения на условия поставок и хранения МТР, в связи с чем возникают риски невыполнения этих условий, что может негативно отразиться на качестве, сроках и стоимости строительства [3].

Одной из основных категорий рисков строительных проектов являются риски из категории нарушения контрактных обязательств поставщиками, также в методологиях управления проектами разработаны стратегии реагирования на риски из указанных категорий[1] [4] (табл.).

Выбирая стратегию реагирования на риски из названной в таблице Категории 2, в практике реализации проектов возможно использование только некоторых стратегий. В данном исследовании не рассматриваются стратегии реагирования на риски A и D по причине отсутствия необходимых информационных связей с методологией календарно-сетевого планирования (КСП), т.е. в связи с невозможностью планирования.

Планирование мероприятий по реагированию на риски в случае выбора Стратегии B практически носит организационно-юридический характер и влияет на процессы поставок лишь косвенно в связи с тем, что в случае возникновения рискового события мероприятия, предусмотренные данной стратегией, будут оказывать понижающее или смягчающее воздействие, но при этом никак не могут повлиять на сам факт возникновения или предотвращения непосредственно самого рискового события.

Таким образом, для предотвращения рискового события из Категории 2 был сделан вывод о возможности использования Стратегии реагирования на риски C, что дает возможность применения организационно-управленческих методов, в частности планирование с использованием двух подходов, применение инструмента Just In Time и применение методологии КСП.

Первый подход предполагает использование технологии «бережливого производства», известной как Lean-технология или Toyota Production System (TPS), разработанной корпорацией Toyota, для предотвращения или полного устранения рисков, связанных с поставками МТР и называемых в данной технологии «потерями». К 1961 г. был разработан и внедрен инструмент Just In Time, который предполагает осуществление поставок МТР непосредственно на производственный конвейер, что полностью снимает риски затоваривания складских помещений или возникновение риска снижения качества МТР в случае наличия ограничений во времени хранения или использования МТР, как в случае с композитными материалами в строи-

[1] The standard for risk management in portfolios, programs, and projects // Project Management Institute. Eng. Newtown Square, PA. USA. 2019

Категории рисков материально-технического обеспечения и стратегии реагирования

Procurement risk categories and response strategies

<table>
<tr><th rowspan="2">Наименование категории риска
Risk category name</th><th colspan="4">Стратегии реагирования
Response strategies</th></tr>
<tr><th>A.
Уклонение
Evasion</th><th>B.
Передача и разделение
Transfer and division</th><th>C.
Снижение
Decline</th><th>D.
Принятие
Adoption</th></tr>
<tr><td>Риски существенного изменения цены МТР
Risks of significant changes in the price of material and technical resources</td><td rowspan="5">Риски избегаются путем изменения части проекта
Risks are avoided by changing part of the project</td><td rowspan="5">Страхование.
Гарантии выполнения контракта.
Поручительства и гарантийные обязательства.
Передача ответственности за риски третьей стороне
Insurance.
Contract performance guarantees.
Guarantees and guarantees.
Transferring responsibility for risks to a third party</td><td rowspan="5">Понижение вероятности реализации риска.
Понижение последствий негативного рискованного события до приемлемых пределов
Reducing the probability of risk realization.
Reducing the consequences of a negative risk event to acceptable limits</td><td rowspan="5">Принятие решения не реагировать на возможные риски
Deciding not to react to possible risks</td></tr>
<tr><td>Риски нарушения контрактных обязательств поставки МТР (сроки)
Risks of violation of contractual obligations for the supply of material and technical resources (deadlines)</td></tr>
<tr><td>Риски изменения качества поставки МТР
Risks of changes in the quality of supply of material and technical resources</td></tr>
<tr><td>Репутационные риски поставок МТР
Reputational risks of supplies of material and technical resources</td></tr>
<tr><td>Риски существенного изменения спроса на МТР
Risks of significant changes in demand for material and technical resources</td></tr>
</table>

тельстве [5]. Следует отметить тот факт, что в 1930 г. в СССР был разработан похожий метод под названием «точно в срок», который не получил широкого применения[2]. Причиной успеха внедрения инструмента Just In Time в корпорации Toyota является большой объем затраченных усилий на подготовку персонала как в самой Toyota, так и персонала многочисленных компаний-поставщиков.

Второй подход предполагает использование общепризнанного практического инструмента управления проектами, которым является методология в формате диаграммы Ганта, в нем используется сетевая модель, интегрированная в производственный календарь, чаще всего называемая календарно-сетевым графиком (КСГ)[3] [6–8].

Для решения проблем предотвращения рисков поставок МТР была сформирована цель исследования: разработать практические рекомендации по использованию инструмента бережливого производства Just In Time для формирования календарно-сетевого графика поставок материалов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Рассматривая инструменты методологии КСП, были выделены четыре задачи как основные направления исследования, которые одновременно послужили основными методами исследования:

1. Рассмотреть процессы планирования поставок МТР с точки зрения инструментов и методов, используемых при выборе контрактной модели EPC.
2. Определить оптимальную структуру Work Breakdown Structure (WBS) — инструмента декомпозиции содержания проекта, используемого в российской практике под названием Иерархическая структура работ (ИСР)[4] [9–11].
3. Выяснить, на каком из уровней многоуровневой модели планирования проектов возможно использование сочетание инструментов Just In Time и КСГ.

[2] Пятилетний план народно-хозяйственного строительства СССР. 3-е изд. Госплан СССР. М. : Плановое хозяйство, 1930.

[3] Practice standard for scheduling // Project Management Institute Eng. Newtown Square, PA, USA. 2019.

[4] ГОСТ Р ИСО/ISO 21500–2014. Руководство по проектному менеджменту. Национальный стандарт РФ. М. : Стандартинформ, 2015.

В исследовании использовалась многоуровневая модель планирования, состоящая из двух уровней:

• комплексный КСГ 2-го уровня, с функциональной декомпозицией WBS, построенной в соответствии с контрактной стратегией EPC;

• три детальных КСГ 3-го уровня, с функциональной декомпозицией WBS, построенных в соответствии с контрактной стратегией EPC и принципом Advanced Work Packaging (AWP) [12, 13].

4. Оценить возможность использования инструмента AWP, известного в России как Пакетно-узловой метод (ПУМ) организации строительства, который предполагает декомпозицию содержания проекта на пакеты работ по принадлежности к функциональным областям, одной из которой является материально-техническое обеспечение (МТО) [14–16].

Исследование проводилось с использованием метода критического пути, сетевых и линейных диаграмм, интегрированной системы управления проектами (ИСУП) Oracle Primavera P6 Professional с обработкой данных посредством MS Office.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве результатов решения задач 1, 2, 3 была создана WBS Проекта EPC-contract Level-2 в логике контрактной модели EPC, которая является комплексным графиком и содержит в себе все необходимые результаты контракта EPC в укрупненном виде в табличном варианте и в виде иерархической диаграммы (рис. 1, 2).

При построении КСГ 2-го уровня было выявлено, что комплексный график, основываясь на де-

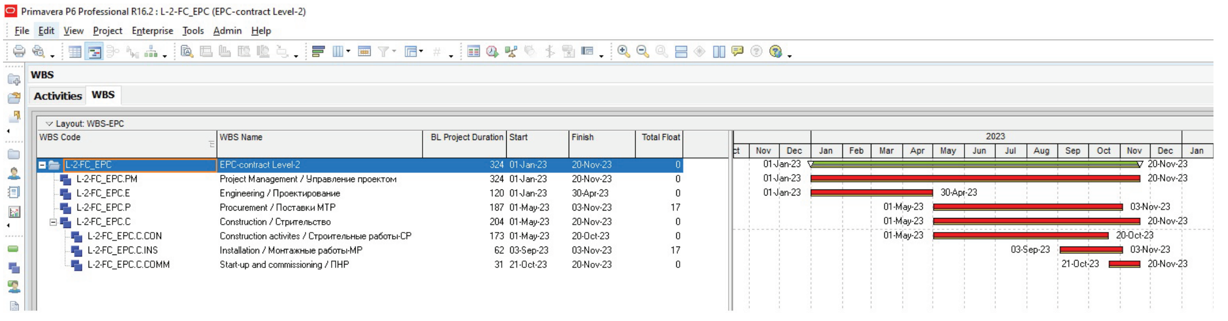


Рис. 1. WBS Проекта EPC-contract Level-2 — табличный вариант

Fig. 1. WBS Project EPC-contract Level-2 — tabular version

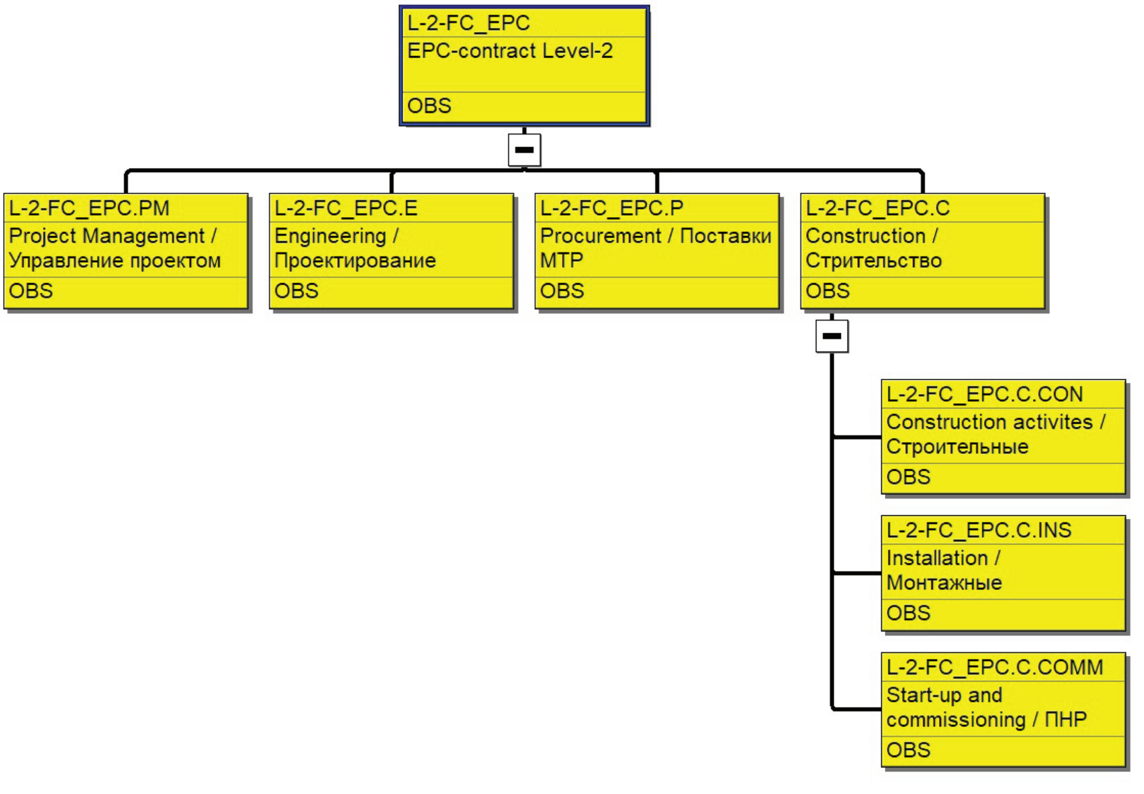
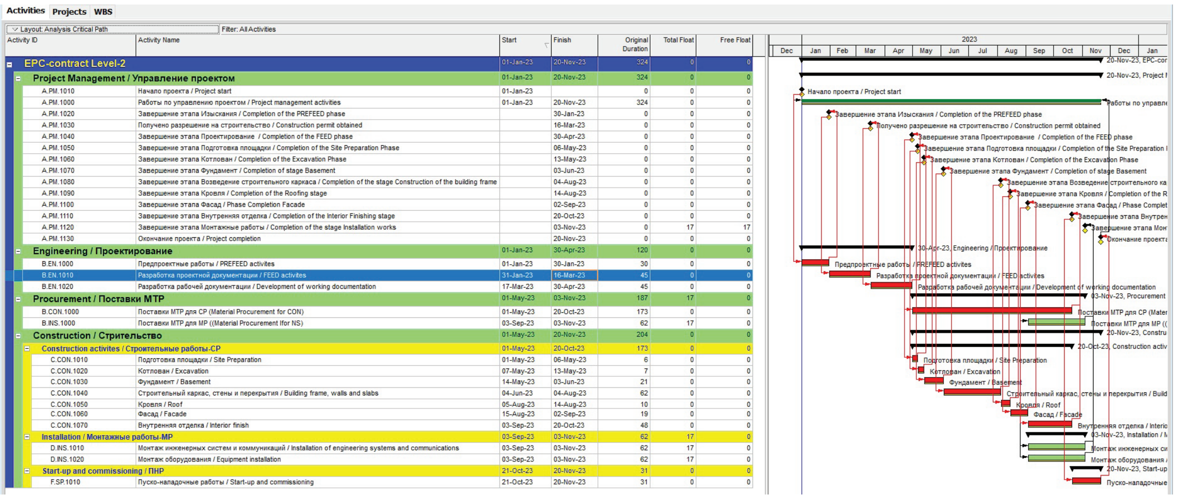


Рис. 2. WBS Проекта EPC-contract Level-2 — иерархическая диаграмма

Fig. 2. WBS Project EPC-contract Level-2 — hierarchical diagram



Layout: Analysis Critical Path — Filter: All Activities

Activity ID	Activity Name	Start	Finish	Original Duration	Total Float	Free Float
EPC-contract Level-2		01-Jan-23	20-Nov-23	324	0	0
Project Management / Управление проектом		01-Jan-23	20-Nov-23	324	0	0
A.PM.1010	Начало проекта / Project start	01-Jan-23		0	0	0
A.PM.1000	Работы по управлению проектом / Project management activities	01-Jan-23	20-Nov-23	324	0	0
A.PM.1020	Завершение этапа Изыскания / Completion of the PREFEED phase		30-Jan-23	0	0	0
A.PM.1030	Получено разрешение на строительство / Construction permit obtained		16-Mar-23	0	0	0
A.PM.1040	Завершение этапа Проектирование / Completion of the FEED phase		30-Apr-23	0	0	0
A.PM.1050	Завершение этапа Подготовка площадки / Completion of the Site Preparation Phase		06-May-23	0	0	0
A.PM.1060	Завершение этапа Котлован / Completion of the Excavation Phase		13-May-23	0	0	0
A.PM.1070	Завершение этапа Фундамент / Completion of stage Basement		03-Jun-23	0	0	0
A.PM.1080	Завершение этапа Возведение строительного каркаса / Completion of the stage Construction of the building frame		04-Aug-23	0	0	0
A.PM.1090	Завершение этапа Кровля / Completion of the Roofing stage		14-Aug-23	0	0	0
A.PM.1100	Завершение этапа Фасад / Phase Completion Facade		02-Sep-23	0	0	0
A.PM.1110	Завершение этапа Внутренняя отделка / Completion of the Interior Finishing stage		20-Oct-23	0	0	0
A.PM.1120	Завершение этапа Монтажные работы / Completion of the stage Installation works		03-Nov-23	0	17	17
A.PM.1130	Окончание проекта / Project completion		20-Nov-23	0	0	0
Engineering / Проектирование		01-Jan-23	30-Apr-23	120	0	0
B.EN.1000	Предпроектные работы / PREFEED activites	01-Jan-23	30-Jan-23	30	0	0
B.EN.1010	Разработка проектной документации / FEED activites	31-Jan-23	16-Mar-23	45	0	0
B.EN.1020	Разработка рабочей документации / Development of working documentation	17-Mar-23	30-Apr-23	45	0	0
Procurement / Поставки МТР		01-May-23	03-Nov-23	187	17	0
B.CON.1000	Поставки МТР для СР (Material Procurement for CON)	01-May-23	20-Oct-23	173	0	0
B.INS.1000	Поставки МТР для МР ((Material Procurement Ifor NS)	03-Sep-23	03-Nov-23	62	17	0
Construction / Стрительство		01-May-23	20-Nov-23	204	0	0
Construction activites / Строительные работы-СР		01-May-23	20-Oct-23	173	0	0
C.CON.1010	Подготовка площадки / Site Preparation	01-May-23	06-May-23	6	0	0
C.CON.1020	Котлован / Excavation	07-May-23	13-May-23	7	0	0
C.CON.1030	Фундамент / Basement	14-May-23	03-Jun-23	21	0	0
C.CON.1040	Строительный каркас, стены и перекрытия / Building frame, walls and slabs	04-Jun-23	04-Aug-23	62	0	0
C.CON.1050	Кровля / Roof	05-Aug-23	14-Aug-23	10	0	0
C.CON.1060	Фасад / Facade	15-Aug-23	02-Sep-23	19	0	0
C.CON.1070	Внутренняя отделка / Interior finish	03-Sep-23	20-Oct-23	48	0	0
Installation / Монтажные работы-МР		03-Sep-23	03-Nov-23	62	17	0
D.INS.1010	Монтаж инженерных систем и коммуникаций / Installation of engineering systems and communications	03-Sep-23	03-Nov-23	62	17	0
D.INS.1020	Монтаж оборудования / Equipment installation	03-Sep-23	03-Nov-23	62	17	0
Start-up and commissioning / ПНР		21-Oct-23	20-Nov-23	31	0	0
F.SP.1010	Пуско-наладочные работы / Start-up and commissioning	21-Oct-23	20-Nov-23	31	0	0

Рис. 3. Комплексный КСГ Проекта EPC-contract Level-2

Fig. 3. Integrated schedule of Project EPC-contract Level-2

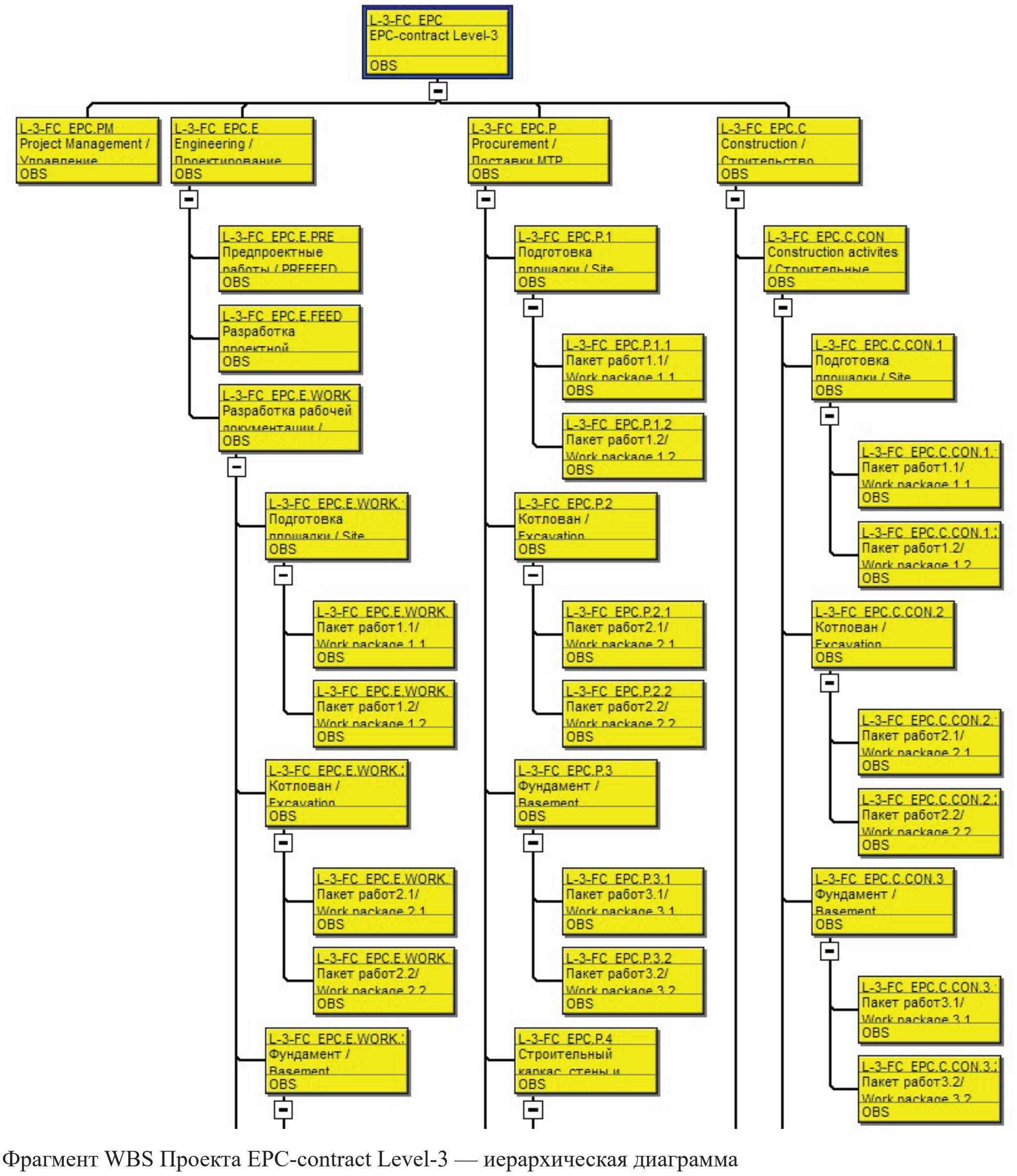


Рис. 4. Фрагмент WBS Проекта EPC-contract Level-3 — иерархическая диаграмма

Fig. 4. Fragment of WBS Project EPC-contract Level-3 — hierarchical diagram

Вестник МГСУ • ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) • Том 19. Выпуск 5, 2024
Vestnik MGSU • Monthly Journal on Construction and Architecture • Volume 19. Issue 5, 2024

композицию по функциональным областям EPC, не может иметь необходимую интеграцию с инструментом Just In Time, поскольку плановая информация о поставках в нем представлена в укрупненном виде и требует более глубокой детализации, что наглядно видно в комплексном КСГ Проекта EPC-contract Level-2, построенного в логике контрактной модели EPC (рис. 3).

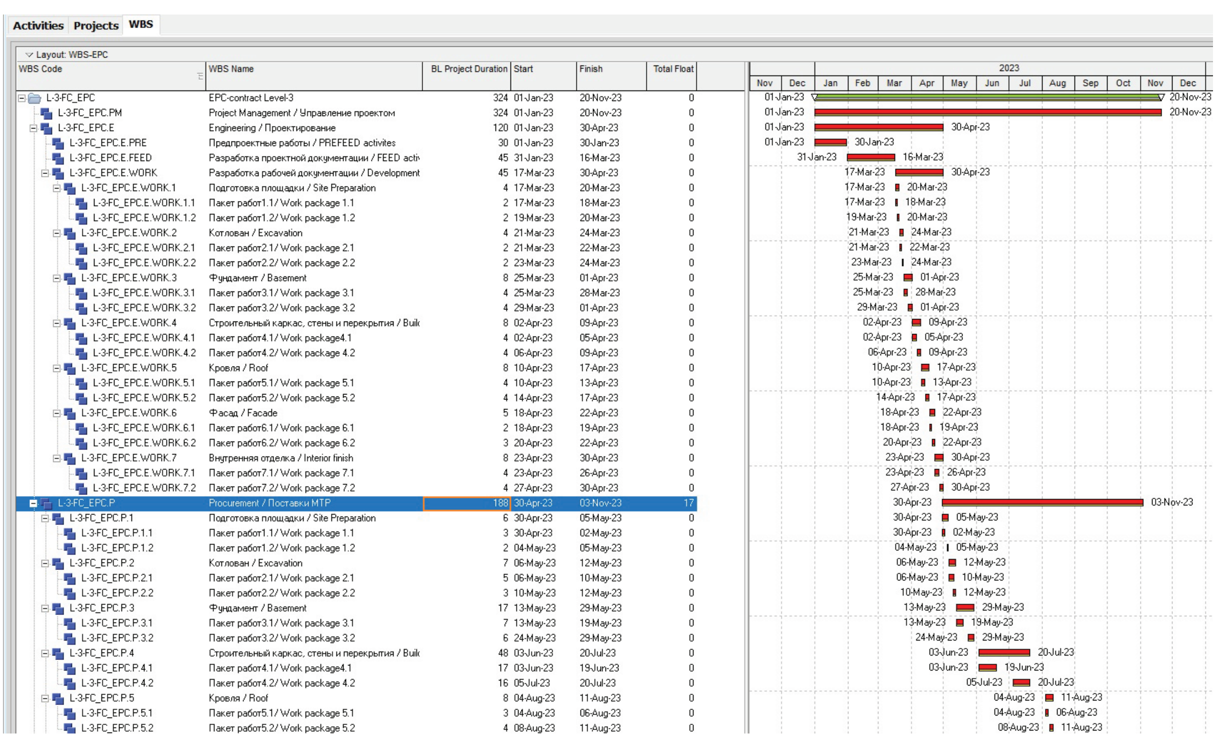
При анализе КСГ (рис. 1) методом критического пути необходимо обратить внимание на значение показателей Общего и Свободного резервов для работ графика. Все работы графика, за исключением работ узла WBS Монтажные работы и связанных с ними поставок оборудования, принадлежат критическому пути, что означает отсутствие резервов времени выполнения большинства работ проекта и наличие высокой степени неопределенности, означающей высокое влияние рисков на данные работы, в том числе на работы узла WBS Поставки МТР.

Следующим примером значительного влияния рисков на работы узла WBS Поставки МТР является зависимость их длительности от плановой и текущей длительности работ узла WBS Строительство, в связи с чем планирование и осуществление поставок МТР вызывает определенные сложности. В практике строительства наиболее распространенным способом воздействия на данный вид неопределенности является осуществления комплексных поставок на приобъектные склады МТО с дальнейшим хранением до даты их использования, что, в свою очередь, вызывает возникновение дополнительных рисков удорожания строительства при возникновении неликвидных складских остатков, выполнении дополнительных погрузо-разгрузочных работ, использование дополнительных транспортных услуг и других внеплановых логистических работ.

Для создания Детального КСГ 3-го уровня была детализирована и трансформирована структура WBS Проекта EPC-contract Level-2 с добавлением повторяющихся узлов WBS «Вид работ» для функциональных узлов WBS: узел «Разработка рабочей документации», узел «Поставки МТР», узел «Строительство» с вложенным узлом «Строительные работы». Далее для каждого вида работ были добавлены по два «пакета работ» с одинаковой нумерацией (рис. 4, 5).

На рис. 4 наглядно представлен принцип пакетной декомпозиции структуры WBS проекта согласно ПУМ организации строительства для групп пакетов работ: «Разработка рабочей документации», «Поставка МТР» и «Строительные работы», сохраняя одинаковое количество пакетов в каждой группе.

Работы каждого пакета имеют последовательные технологические зависимости типа «Финиш к старту» в логике «проектирование» → «поставка» → «строительство». Следует отметить, что в данном исследовании подразумевается, что этап «Разработка проектной документации» планируется укрупненно, а затем, после прохождения экспертизы и получения разрешения на строительство, на следующем этапе проектирования происходит детализация проектной документации — «Раз**работка рабочей документации» в форме детализированных пакетов, в состав которых входит документ «Спецификация



Activities | Projects | WBS

Layout: WBS-EPC

WBS Code	WBS Name	BL Project Duration	Start	Finish	Total Float
L-3-FC_EPC	EPC-contract Level-3	324	01-Jan-23	20-Nov-23	0
L-3-FC_EPC.PM	Project Management / Управление проектом	324	01-Jan-23	20-Nov-23	0
L-3-FC_EPC.E	Engineering / Проектирование	120	01-Jan-23	30-Apr-23	0
L-3-FC_EPC.E.PRE	Предпроектные работы / PREFEED activites	30	01-Jan-23	30-Jan-23	0
L-3-FC_EPC.E.FEED	Разработка проектной документации / FEED acti	45	31-Jan-23	16-Mar-23	0
L-3-FC_EPC.E.WORK	Разработка рабочей документации / Development	45	17-Mar-23	30-Apr-23	0
L-3-FC_EPC.E.WORK.1	Подготовка площадки / Site Preparation	4	17-Mar-23	20-Mar-23	0
L-3-FC_EPC.E.WORK.1.1	Пакет работ1.1/ Work package 1.1	2	17-Mar-23	18-Mar-23	0
L-3-FC_EPC.E.WORK.1.2	Пакет работ1.2/ Work package 1.2	2	19-Mar-23	20-Mar-23	0
L-3-FC_EPC.E.WORK.2	Котлован / Excavation	4	21-Mar-23	24-Mar-23	0
L-3-FC_EPC.E.WORK.2.1	Пакет работ2.1/ Work package 2.1	2	21-Mar-23	22-Mar-23	0
L-3-FC_EPC.E.WORK.2.2	Пакет работ2.2/ Work package 2.2	2	23-Mar-23	24-Mar-23	0
L-3-FC_EPC.E.WORK.3	Фундамент / Basement	8	25-Mar-23	01-Apr-23	0
L-3-FC_EPC.E.WORK.3.1	Пакет работ3.1/ Work package 3.1	4	25-Mar-23	28-Mar-23	0
L-3-FC_EPC.E.WORK.3.2	Пакет работ3.2/ Work package 3.2	4	29-Mar-23	01-Apr-23	0
L-3-FC_EPC.E.WORK.4	Строительный каркас, стены и перекрытия / Builc	8	02-Apr-23	09-Apr-23	0
L-3-FC_EPC.E.WORK.4.1	Пакет работ4.1/ Work package4.1	4	02-Apr-23	05-Apr-23	0
L-3-FC_EPC.E.WORK.4.2	Пакет работ4.2/ Work package 4.2	4	06-Apr-23	09-Apr-23	0
L-3-FC_EPC.E.WORK.5	Кровля / Roof	8	10-Apr-23	17-Apr-23	0
L-3-FC_EPC.E.WORK.5.1	Пакет работ5.1/ Work package 5.1	4	10-Apr-23	13-Apr-23	0
L-3-FC_EPC.E.WORK.5.2	Пакет работ5.2/ Work package 5.2	4	14-Apr-23	17-Apr-23	0
L-3-FC_EPC.E.WORK.6	Фасад / Facade	5	18-Apr-23	22-Apr-23	0
L-3-FC_EPC.E.WORK.6.1	Пакет работ6.1/ Work package 6.1	2	18-Apr-23	19-Apr-23	0
L-3-FC_EPC.E.WORK.6.2	Пакет работ6.2/ Work package 6.2	3	20-Apr-23	22-Apr-23	0
L-3-FC_EPC.E.WORK.7	Внутренняя отделка / Interior finish	8	23-Apr-23	30-Apr-23	0
L-3-FC_EPC.E.WORK.7.1	Пакет работ7.1/ Work package 7.1	4	23-Apr-23	26-Apr-23	0
L-3-FC_EPC.E.WORK.7.2	Пакет работ7.2/ Work package 7.2	4	27-Apr-23	30-Apr-23	0
L-3-FC_EPC.P	Procurement / Поставки МТР	188	30-Apr-23	03-Nov-23	17
L-3-FC_EPC.P.1	Подготовка площадки / Site Preparation	6	30-Apr-23	05-May-23	0
L-3-FC_EPC.P.1.1	Пакет работ1.1/ Work package 1.1	3	30-Apr-23	02-May-23	0
L-3-FC_EPC.P.1.2	Пакет работ1.2/ Work package 1.2	2	04-May-23	05-May-23	0
L-3-FC_EPC.P.2	Котлован / Excavation	7	06-May-23	12-May-23	0
L-3-FC_EPC.P.2.1	Пакет работ2.1/ Work package 2.1	5	06-May-23	10-May-23	0
L-3-FC_EPC.P.2.2	Пакет работ2.2/ Work package 2.2	3	10-May-23	12-May-23	0
L-3-FC_EPC.P.3	Фундамент / Basement	17	13-May-23	29-May-23	0
L-3-FC_EPC.P.3.1	Пакет работ3.1/ Work package 3.1	7	13-May-23	19-May-23	0
L-3-FC_EPC.P.3.2	Пакет работ3.2/ Work package 3.2	6	24-May-23	29-May-23	0
L-3-FC_EPC.P.4	Строительный каркас, стены и перекрытия / Builc	48	03-Jun-23	20-Jul-23	0
L-3-FC_EPC.P.4.1	Пакет работ4.1/ Work package4.1	17	03-Jun-23	19-Jun-23	0
L-3-FC_EPC.P.4.2	Пакет работ4.2/ Work package 4.2	16	05-Jul-23	20-Jul-23	0
L-3-FC_EPC.P.5	Кровля / Roof	8	04-Aug-23	11-Aug-23	0
L-3-FC_EPC.P.5.1	Пакет работ5.1/ Work package 5.1	3	04-Aug-23	06-Aug-23	0
L-3-FC_EPC.P.5.2	Пакет работ5.2/ Work package 5.2	4	08-Aug-23	11-Aug-23	0

Рис. 5. Фрагмент WBS Проекта EPC-contract Level-3 — табличный вариант

Fig. 5. Fragment of WBS Project EPC-contract Level-3 — tabular version

Вестник МГСУ • ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) • Том 19. Выпуск 5, 2024
Vestnik MGSU • Monthly Journal on Construction and Architecture • Volume 19. Issue 5, 2024

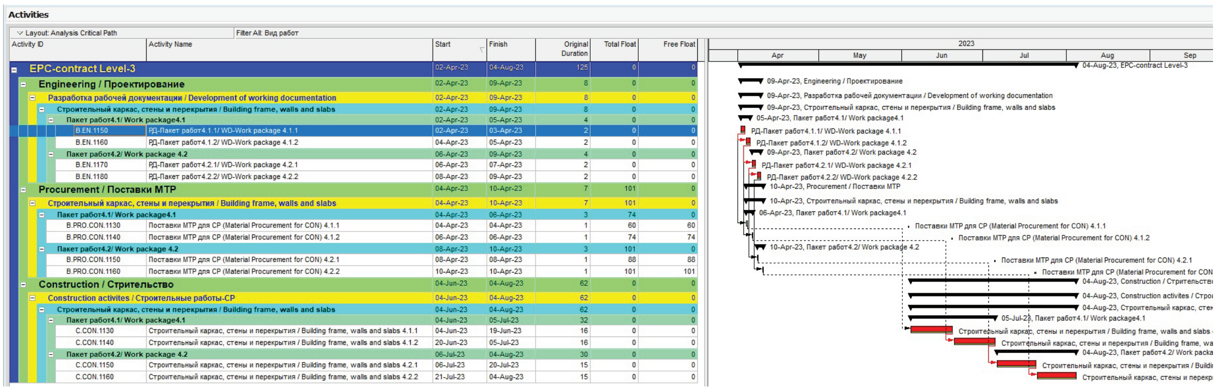


Рис. 6. Фрагмент КСГ Проекта EPC-contract Level-3 — пакет работ Строительный каркас

Fig. 6. Fragment of schedule Project EPC-contract Level-3 — work package Building frame, walls and slabs

на строительные материалы» для каждого детализированного пакета строительных работ[5].

При анализе значений Полного резерва пакетов работ в структуре WBS после использования логики пакетирования ПУМ было определено, что работы по поставке МТР перестали принадлежать критическому пути, так как значение их Полного резерва значительно увеличилось и стало выше нуля. Данный вывод говорит о снижении уровня неопределенности за счет использования прогрессивного метода планирования пакетов работ проекта.

Теперь рассмотрим логику построения работ КСГ 3-го уровня для одного из пакета работ (рис. 6).

На рис. 6 из диаграммы Ганта видно, что работы пакетов по поставке МТР начинаются сразу после завершения работ пакетов по разработке рабочей документации для пакетов работ по возведению строительного каркаса. При этом, до начала строительных работ, работы по поставке МТР имеют значительный Свободный резерв в диапазоне от 60 до 101 дня.

[5] О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию : Постановление Правительства Российской Федерации от 16.02.2008 № 87 (ред. от 15.09.2023).

Следующим шагом исследования было изучение аспектов практического использования инструмента Just In Time и устранения значений Свободного резерва для работ по поставке МТР. Было определено, что для применения инструмента Just In Time в существующем КСГ необходимо установить ограничения типа «как можно позже» на работы по поставке МТР (рис. 7).

В рассматриваемом фрагменте КСГ после установки ограничений работы пакетов по поставке МТР сместились к работам пакетов Строительный каркас на величину Свободного резерва и стали принадлежать критическому пути, так как значение Полного и Свободного резервов стало равно нулю. Подобное явление наблюдалось для всех работ по поставке МТР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Концепция бережливого производства представляет собой подход к управлению организацией/отдельным проектом, направленный на повышение качества работы за счет сокращения потерь при реализации того или иного процесса [19]. Исследование вопросов и решение научно-практических задач

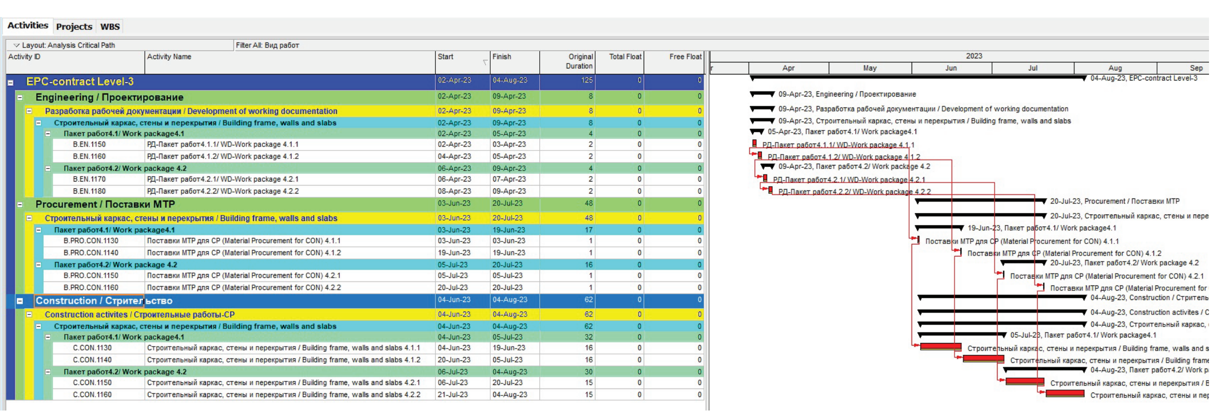


Рис. 7. Фрагмент КСГ Проекта EPC-contract Level-3 — пакет работ строительный каркас с использованием инструмента Just In Time

Fig. 7. Fragment of schedule Project EPC-contract Level-3 — work package Building frame, walls and slabs

применимости инструмента бережливого производства Just In Time для формирования календарно-сетевого графика поставок строительных материалов было доказано практическим путем. Однако необходимо понимать, что техническое «обнуление» свободного и полного резервов за счет использования ограничений для работ КСГ не означает фактическое отсутствие этих резервов для работ по поставке МТР и их предшественников — работ по разработке рабочей документации. Скрытые резервы времени возможно использовать для планирования работ по организации торгов или экспертизе рабочей документации, а также увеличения длительности и эффективного планирования ресурсов для уже спланированных работ.

Для планирования поставок некоторых видов строительных материалов, таких как бетон, необходимо уделять большее внимание детализации пакетов работ и при необходимости устанавливать положительные задержки времени для работ по поставке МТР для увеличения степени точности планирования сроков поставок МТР.

В свою очередь, следует учитывать тот факт, что высокая степень точности планирования подвержена рискам, связанным с изменениями текущего выполнения строительных работ, что связано с необходимостью регулярной актуализации КСГ и внесения изменений в контрактные обязательства участников проекта.

При актуализации фактического выполнения работ проекта необходимо понимать зависимость и направление изменений текущего состояния КСГ, поскольку при определении причин отклонений от базового плана, прежде всего, следует учитывать зависимости между технологически связанными меду собой строительными работами, а не только зависимости от поставок МТР. Несмотря на тот факт, что работы по поставке МТР являются «работами-предшественниками» для строительных работ, не каждая фактическая задержка поставок МТР является причиной задержки выполнения строительных работ при использовании инструмента Just In Time, поскольку планирование работ МТР по отношению к выполнению строительных работ является вторичным.

Учитывая неоднократно подтвержденную эффективность использования технологии бережливого производства в международной и отечественной практиках промышленного производства, использование инструмента Just In Time в календарно-сетевом планировании при осуществлении поставок МТР позволит повысить эффективность реализации инвестиционно-строительных проектов, а в дальнейшем интегрироваться с современными технологиями информационного моделирования [20, 21].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Кудреватых В.В.* Особенности управления требованиями в сфере управления проектами в инжиниринговой компании полного цикла // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 8. С. 1175–1190. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.8.1175-1190

2. *Лапидус А.А., Чапидзе О.Д.* Совершенствование анализа факторов технических рисков с использованием комплексной модели FLDS на примере строительства многоэтажных жилых зданий // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. Вып. 12. С. 1608–1619. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1608-1619

3. *Wang Y., Chen X.* Risk management for construction material supply chain : a review // Journal of Construction Engineering and Management Eng. 2020.

4. *Щербанин Ю.А., Шиков В.О.* Рисковые события и их характеристики // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2019. Т. 17. С. 54–74. DOI: 10.29003/m811.sp_ief_ras2019/54-74

5. *Оно Т.* Производственная система Тойоты. Уходя от массового производства. М. : Институт комплексных стратегических исследований, 2008. С. 121–125.

6. *Hammad Al-Nasseri, Kristian Widén, Radhlinah Aulin.* A taxonomy of planning and scheduling methods to support their more efficient use in construction project management // Journal of Engineering Design and Technology. 2016. Vol. 14. Issue 1. Pp. 580–601. DOI: 10.1108/JEDT-11-2013-0078

7. *Поляков А.Н.* Американские технократы. Генри Лоуренс Гантт // Management: журнал. 2021. № 1 (57). С. 58–63.

8. *Morris P.W.G., Pinto J.H.* The Gantt chart: A century of evolution // Project Management Journal Eng. 2019.

9. Practice Standard for Work Breakdown Structure. 3rd ed. Project Management Institute Eng. Newtown Square, PA. USA. 2019.

10. *Zein M.A., Al-Salman A.M.* A review of hierarchical structures in project management // International Journal of Project Management Eng. 2021.

11. *Supriyono, Nur Chasanah.* Software development project management based on work breakdown structure and ODOO ERP // Jurnal Teknik Informatika (JUTIF). 2023. Vol. 4. Issue 4. Pp. 893–898. DOI: 10.52436/1.jutif.2023.4.4.1077.

12. *Srivastava R.K., Jain S.K.* A multi-level approach to project planning and control // International Journal of Project Management Eng. 2020.

13. *Ali J.H., Al-Suliman S.A.* A comparative study of network scheduling techniques for construction projects // Journal of Construction Engineering and Management, 2021.

Вестник МГСУ • ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) • Том 19. Выпуск 5, 2024
Vestnik MGSU • Monthly Journal on Construction and Architecture • Volume 19. Issue 5, 2024

14. *Ryan G.* Even more schedule for sale. Advanced work packaging for construction projects. AuthorHouse Eng. Bloomington, Indiana USA. 2017. P. 135.

15. *Al-Hussein M.R., Odeh M.T.* Advanced work packaging: An innovative approach to construction planning and execution // Journal of Construction Engineering and Management Eng. 2017.

16. *Bradley Copeland.* Digital advanced work packaging — a case study in construction-led delivery // The APPEA Journal. 2023. Vol. 63. Issue 2. Pp. S169-S172. DOI: 10.1071/AJ22046.

17. *Кулаков К.Ю., Орлов А.К., Канхва В.С.* Цепочки создания ценности в строительстве на основе концепции бережливого производства в условиях цифровой трансформации // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 10. С. 1647–1660. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.10.1647-1660

18. *Zhang X., Azhar S., Nadeem A., Khalfan M.* Using Building Information Modelling to achieve Lean principles by improving efficiency of work teams // International Journal of Construction Management. 2018. Vol. 18. Issue 4. Pp. 293–300. DOI: 10.1080/15623599.2017.1382083

19. *Porter M.E., Heppelmann J.E.* How smart, connected products are transforming competition // Harvard Business Review. November 2014. URL: https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competition

Поступила в редакцию 24 октября 2023 г.
Принята в доработанном виде 17 января 2024 г.
Одобрена для публикации 20 января 2024 г.

Об авторах: **Людмила Анатольевна Опарина** — доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой организации производства и городского хозяйства, советник РААСН; **Ивановский государственный политехнический университет (ИВГПУ)**; 153000, г. Иваново, Шереметевский пр-т, д. 21; РИНЦ ID: 558560, Scopus: 57128068100, ResearcherID: V-5060-2017, ORCID: 0000-0001-5534-727X; L.A. Oparina@gmail.com;

Евгений Александрович Барзыгин — доцент кафедры организации производства и городского хозяйства; **Ивановский государственный политехнический университет (ИВГПУ)**; 153000, г. Иваново, Шереметевский пр-т, д. 21; barzygin@mail.ru;

Ярослава Александровна Гриднева — доцент кафедры организации производства и городского хозяйства; **Ивановский государственный политехнический университет (ИВГПУ)**; 153000, г. Иваново, Шереметевский пр-т, д. 21; SPIN-код: 8504-1658, ORCID: 0000-0003-1570-7087; yaroslava.l.a1@gmail.com;

Наталья Сергеевна Касьяненко — кандидат технических наук, доцент кафедры естественных наук и техносферной безопасности; **Ивановский государственный политехнический университет (ИВГПУ)**; 153000, г. Иваново, Шереметевский пр-т, д. 21; РИНЦ ID: 558560, Scopus: 58567398000, ORCID: 0000-0002-4046-9300; kasiyanenko@gmail.com.

Вклад авторов:
Опарина Л.А. — научное руководство, концепция исследования.
Барзыгин Е.А. — проведение расчетов, участие в выборе методологии и методов исследования, написание исходного текста, итоговые выводы.
Гриднева Я.А. — формирование ключевых слов и введения
Касьяненко Н.С. — участие в формировании выводов и заключении, доработка текста, формирование списка литературы.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Kudrevatykh V.V. Research of requirement management features in the field of project management in a full-cycle engineering company. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2020; 15(8):1175-1190. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.8.1175-1190 (rus.).

2. Lapidus A.A., Chapidze O. D Improving the analysis of technical risk factors using the integrated FLDS model on the example of the construction of multi-storey residential buildings. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2021; 16(12):1608-1619. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.12.1608-1619. (rus.).

3. Wang Y., Chen X. Risk management for construction material supply chain : a review. *Journal of Construction Engineering and Management.* 2020.

4. Shcherbanin Yu.A., Shikov V.O. Risk events and their characteristics. *Scientific Proceedings of INP RAS.* 2019; 17:54-74. DOI: 10.29003/m811.sp_ief_ras2019/54-74 (rus.).

5. Ono T. The Toyota production system. *Moving away from mass production.* Moscow, Institute for Complex Strategic Research, 2008; 121-125. (rus.).

6. Hammad Al-Nasseri, Kristian Widén, Radhlinah Aulin. A taxonomy of planning and scheduling methods to support their more efficient use in construction project management. *Journal of Engineering Design and Technology.* 2016; 14(1):580-601. DOI: 10.1108/JEDT-11-2013-0078

7. Polyakov A.N. American technocrats. *Henry Lawrence Gantt. Management: journal.* 2021; 1(57):58-63. (rus.).

8. Morris P.W.G., Pinto J.H. The Gantt chart: A century of evolution. *Project Management Journal.* 2019.

9. *Practice Standard for Work Breakdown Structure.* 3rd ed. Project Management Institute. Newtown Square, PA. 2019. USA.

10. Zein M.A., Al-Salman A.M. A review of hierarchical structures in project management. *International Journal of Project Management.* 2021.

11. Supriyono, Nur Chasanah. Software development project management based on work breakdown structure and ODOO ERP. *Jurnal Teknik Informatika (JUTIF)*. 2023; 4(4):893-898. DOI: 10.52436/1.jutif.2023.4.4.1077

12. Srivastava R.K., Jain S.K. A multi-level approach to project planning and control. *International Journal of Project Management.* 2020.

13. Ali J.H., Al-Suliman S.A. A comparative study of network scheduling techniques for construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management.* 2020.

14. Ryan G. Even more schedule for sale. Advanced work packaging for construction projects. *AuthorHouse.* Bloomington, Indiana, USA. 2017; 135.

15. Al-Hussein M.R., Odeh M.T. Advanced work packaging: An innovative approach to construction planning and execution. *Journal of Construction Engineering and Management.* 2017.

16. Bradley Copeland. Digital advanced work packaging — a case study in construction-led delivery. *The APPEA Journal.* 2023; 63(2):S169-S172. DOI: 10.1071/AJ22046

17. Kulakov K.Yu., Orlov A.K., Kanhwa V.S. Value chains in construction based on the concept of lean manufacturing in the conditions of digital transformation. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2023; 18(10):1647-1660. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.10.1647-1660

18. Zhang X., Azhar S., Nadeem A., Khalfan M. Using Building Information Modelling to achieve Lean principles by improving efficiency of work teams. *International Journal of Construction Management.* 2018; 18(4):293-300. DOI: 10.1080/15623599.2017.1382083

19. Porter M.E., Heppelmann J.E. How smart, connected products are transforming competition. *Harvard Business Review.* November 2014. URL: https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competitio

Received October 24, 2023.
Adopted in revised form on January 17, 2024.
Approved for publication on January 20, 2024.

Bionotes: **Lyudmila A. Oparina** — Assistant professor, Doctor of Technical Sciences, head of Department of organization of production and urban economy, advisor RAACS; **Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU)**; 21 Sheremetevsky ave., Ivanovo, 153000, Russian Federation; ID RSCI: 558560, Scopus: 57128068100, ResearcherID: V-5060-2017, ORCID: 0000-0001-5534-727X; L.A. Oparina@gmail.com;

Evgenii A. Barzygin — Associate Professor of the Department of Production Organization and Urban Economy; Doctor of Technical Sciences, head of Department of organization of production and urban economy; **Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU)**; 21 Sheremetevsky ave., Ivanovo, 153000, Russian Federation; barzygin@mail.ru;

Yaroslava A. Gridneva — Associate Professor of the Department of Production Organization and Urban Economy; **Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU)**; 21 Sheremetevsky ave., Ivanovo, 153000, Russian Federation; SPIN-code: 8504-1658, ORCID: 0000-0003-1570-7087; yaroslava.l.a1@gmail.com;

Natalya S. Kasyanenko — Candidate of Technical Sciences, Assistant professor of Department of Natural Sciences and Technosphere Safety; **Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU)**; 21 Sheremetevsky ave., Ivanovo, 153000, Russian Federation; ID RSCI: 558560, Scopus: 58567398000, ORCID: 0000-0002-4046-9300; kasiyanenko@gmail.com.

Contribution of the authors:
Lyudmila A. Oparina — scientific guidance, research concept.
Evgenii A. Barzygin — carrying out calculations, participation in the selection of methodology and research methods, writing the source text, final conclusions.
Yaroslava A. Gridneva — formation of keywords and introduction.
Natalya S. Kasyanenko — participation in the formation of conclusions and conclusions, revision of the text, creation of a list of references.
The authors declare no conflict of interest.