

Research Article


Received: March 16, 2023

Accepted: April 14, 2023

Published: April 21, 2023

ISSN 2658–5553

# Economic efficiency of the use of self-lifting formwork and inventory formwork in high-rise construction

Kirsanova, Tatiana Aleksandrovna<sup>1\*</sup> Krupenin, Fedor Romanovich<sup>2</sup> Shinkareva, Maria Konstantinovna<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russian Federation; [89094001052@mail.ru](mailto:89094001052@mail.ru) (K.T.A.); [shinkareva\\_mk@spbstu.ru](mailto:shinkareva_mk@spbstu.ru) (S.M.K.)

<sup>2</sup> LLC «Doka Rus», Saint Petersburg, Russian Federation; [theocharicot@yandex.ru](mailto:theocharicot@yandex.ru) (K.F.R.)

Correspondence:\* email [89094001052@mail.ru](mailto:89094001052@mail.ru); contact phone [+79094001052](tel:+79094001052)

## Keywords:

Economic justification; Economics in construction; Formwork; Self–lifting formwork; Construction; Load–bearing structure; High–rise construction

## Abstract:

**The object of research** is the building of the National Space Center in Moscow. **Method.** During research, the provisions of system analysis, methods of expert assessments, risk theory, methods of economic and mathematical modeling, simulation modeling, comparative method, method of generalization, abstraction, induction, and deduction were used. **Results.** The analysis of theoretical sources and calculated data based on the project of a high–rise construction object was carried out, because of which the criteria for the characteristics of the object were established, providing conditions for the economically profitable use of self–lifting formwork, and a financial and economic model for justifying investments in this project was built. The benefit of building high-rise buildings in a specific example using self-lifting formwork was approximately 1.3 times. This circumstance justifies the economic benefit of using self-lifting formwork for the construction of the core of a high-rise building.

## 1 Introduction / Введение

Любой строительный проект оценивается с точки зрения целесообразности. Так исследователи [1] в своей работе говорят о том, что экономическая эффективность инвестиционного проекта может заключаться в его экономической выгоде, финансовой окупаемости и приемлемом уровне риска.

Авторы исследования [2] пришли к выводу, что определение эффективности заключается в корректном сопоставлении осуществленных затрат с экономическим эффектом, получаемым в результате вложения затрат. При этом под экономическим эффектом понимается категория, характеризующая превышение результатов проекта над затратами за определенный период. В общем случае под результатами проекта понимаются последствия его реализации. На различных этапах расчета экономического эффекта виды результатов могут изменяться и выражаться в различных показателях.

В исследовании [3] описан процесс определения экономической выгоды строительного проекта, который принято определять в два этапа, первый из которых заключается в расчёте эффективности проекта в целом, с целью обеспечения условий для поиска инвесторов и комплексной экономической оценки проектных решений. После выработки схемы финансирования определяется финансовая реализуемость и эффективность участия в проекте каждого из инвесторов.



В исследовании [4] авторы определили экономическую эффективность строительного проекта, которая определяется количественными характеристиками; показателями эффективности, отражающими соотношение затрат и эффекта от них, а также показывает соответствие результатов интересам участников, в том или ином аспекте.

Авторы исследования [5] рассматривают расчет показателей эффективности, который основан на авторитетных международных методах оценки эффективности инвестиций. Для признания инвестиционного строительного проекта эффективным, необходимо выполнение какого-нибудь из следующих условий:

1. Показатель абсолютной эффективности инвестиций больше нуля;
2. Интегральный экономический эффект (ИЭЭ) положителен
3. Значение валового национального продукта (ВНД), при котором проект можно считать эффективным, должно превышать проектное значение ставки приведения или, по крайней мере, быть равным этому значению;
4. Срок окупаемости меньше расчетного периода;
5. Индекс доходности дисконтированных затрат больше единицы; индекс доходности дисконтированных инвестиций больше единицы.

Примечателен тот факт, что если хотя бы одно из вышеперечисленных условий выполняется, то и остальные условия выполняются.

Исследователи в работе [6] считают, что достижение экономической эффективности имеет смысл в том случае, если проект финансово реализуем. Финансовая реализуемость проекта означает наличие достаточного количества денежных средств на всех шагах его реализации для погашения обязательств.

В исследованиях [7]–[8] авторы рассматривают рынок высотного строительства, как перспективное направление развития строительной отрасли.

В работах [9], [10], [11] авторы рассматривают одно из главных качеств, определяющих эффективное развитие строительной отрасли, которое заключается в наличии опалубок, выполняющих функции формообразования.

Авторы исследования [12] считают, что применение несъемной самоподъемной опалубки является следующим шагом к развитию строительства.

Исследователи в работе [13] рассматривают опалубку, как совокупность элементов и деталей, предназначенных для образования формы монолитных бетонных или железобетонных конструкций и сооружений, возводимых на строительной площадке

В исследовании [14] авторы рассматривают опалубку, которая должна обеспечивать заданные размеры и форму возводимой конструкции; быть прочной, жесткой и неизменяемой в рабочем положении и при воздействии всех производственных нагрузок; иметь минимальную адгезию (сцепление) поверхности с бетоном; быть индустриальной и многооборачиваемой, экономичной и технологичной при сборке и разборке, а также не создавать затруднений при установке арматуры и укладке бетонной смеси.

В работе [15] рассмотрено применение опалубки, которое особенно эффективно при строительстве высотных сооружений. К ним относятся хранилища различных материалов, дымовые трубы высотой до 400 м, градирни, ядра жесткости высотных зданий, резервуары для воды, радио- и телевизионные башни.

Авторы статьи [16] рассматривают систему самоподъемной опалубки, которая открыла новый этап в области самоподъемной техники в строительстве.

Исследователи в работе [17] рассматривают самоподъемную опалубку, которая состоит из двух равновысотных внутренних и наружных щитов неизменяемой конструкции.

Исследователи в работе [18] рассматривают геометрическую неизменяемость щитов обеспечивается опалубочными балками, располагаемыми в два яруса по высоте щитов по всему их контуру с наружной и внутренней стороны.

Авторы работы [19] исследуют выбор опалубочной системы для каждого конкретного объекта, который должен быть согласован проектной и подрядной организацией на начальном этапе проектирования.

С помощью вероятностного анализа необходимо оценить количественный предел выгоды использования самоподъемной опалубки в высотном строительстве. Обзор литературы необходим для выявления не учтенного ряда факторов, таких как высота здания, количества задействованной рабочей силы и сезон, во время которого осуществляется строительство.



Выявить последствия фактора ограниченности расчетов в области применения самоподъемной опалубки в высотном строительстве.

Из проведенных исследований видно, что оценка строительных проектов с точки зрения их целесообразности играет ключевую роль. Экономическая эффективность инвестиционного проекта определяется его экономической выгодой, финансовой окупаемостью и приемлемым уровнем риска. Авторы исследований показывают, что корректное сопоставление затрат с экономическим эффектом проекта является основой определения его эффективности. Различные методы расчета и показатели помогают определить степень эффективности проекта и предоставляют информацию для принятия инвестиционных решений.

Условия, определяющие эффективность инвестиционного строительного проекта, включают в себя несколько критериев, такие как абсолютная эффективность инвестиций, интегральный экономический эффект, финансовая реализуемость, срок окупаемости, индекс доходности и другие. Выполнение хотя бы одного из этих условий считается достаточным для признания проекта эффективным.

Исследователи также выделяют важность финансовой реализуемости проекта, подчеркивая необходимость наличия достаточного финансирования на всех этапах реализации проекта. Определение экономической выгоды строительного проекта происходит на разных этапах, начиная с расчета общей эффективности проекта и заканчивая оценкой финансовой реализуемости для каждого инвестора. Понимание и учет всех аспектов и критериев, определяющих эффективность строительных проектов, позволяют инвесторам и разработчикам принимать обоснованные решения и обеспечивать успешное развитие строительной отрасли.

Обозреваемые источники литературы направлены на создание усовершенствованной системы расчета опалубки, учитывающей масштабы строительного объекта.

Объектом исследования является высотное здание, возводимое при помощи использования самоподъемной и инвентарной рамной опалубки

Предметом настоящего исследования является самоподъемная опалубка.

Исследование включает в себя несколько задач:

1. Экспериментально-теоретическое исследование строительства высотного здания при помощи рамной инвентарной опалубки и самоподъемной опалубки в сравнении;
2. Аналитическое исследование предельных показателей выгоды осуществляемого строительства высотного здания при помощи использованных самоподъемной и рамной инвентарной опалубок;
3. Путём вероятностного анализа оценить количественный предел выгоды использования в высотном строительстве инвентарной и самоподъемной опалубки.

## 2 Materials and Methods / Материалы и Методы

Система опалубки представляет собой временную или постоянную строительную форму, которая включает в себя опалубку и элементы, обеспечивающие ее жесткость и устойчивость, такие как несущие конструкции, строительные леса и крепежные элементы. Существует большое разнообразие систем опалубки [20].

Самоходные опалубки с гидравлическим приводом используются при возведении наружных стен зданий, высота которых превышает 30 этажей [21]. Они представляют собой модуль опалубки, состоящий из наружных и внутренних панелей, рабочих лесов и анкеров. Следует отметить, что иногда использовать краны на высоте, превышающей 100 м невозможно из-за ветров и туманов [22]. Их можно использовать 4 или 5 дней в неделю, и этого времени достаточно, чтобы построить, как минимум, 1 этаж.

Самоподъемные опалубки решают проблемы механического демонтажа, перемещения по высоте, обеспечения безопасных условий труда и максимальной защиты от ветра [23]. Опалубочные конструкции различаются по своей природе; они разрабатываются и изготавливаются для конкретного проекта [24]. Специальные проекты, предусматривающие перемещение опалубки по высоте, гидравлический распределительный рычаг и размещение отдельных кранов на строящемся каркасе разрабатываются для чрезвычайно сложных высотных зданий [25].

Количество выполняемых операций по бетонированию на месте, а также их последовательность, в которой используются эти типы опалубочных систем, изменяются в



процессе разработки организационных и технологических решений по совершенствованию опалубки.

В процессе исследований были использованы положения системного анализа, методы экспертных оценок, теория рисков, методы экономико-математического моделирования, имитационного моделирования, сравнительный метод, метод обобщения, абстракции, индукции и дедукции.

### 3 Results and Discussion / Результаты и Обсуждение

Для определения выгоды использования самоподъёмной опалубки необходимо произвести расчеты затрат на разнящиеся виды работ по строительству ядра высотного здания в сравнении двух способов возведения ядра с разными видами опалубок. При прочих равных условиях, экономически устойчивым будет считаться тот проект, в котором затраты на возведение ядра будут ниже, так как его окупаемость наступит раньше.

Ведомость затрат по использованию самоподъёмной опалубки в строительстве ядра высотного здания показывает нам, что в данном процессе работ практически отсутствуют крановые работы.

Для наглядного представления произведения необходимого объёма работ при строительстве ядра высотного здания с помощью самоподъёмной и стальной инвентарной рамной опалубок необходимо составить ведомости.

Ведомость объёмов работ по возведению ядра высотного здания при помощи самоподъёмной опалубки заключена в таблице 1. Расчеты произведены на основании документа ФЕР 81-02-06-2001 «Сборные и железобетонные конструкции монолитные.»

**Table 1. Statement of the scope of work for the installation and dismantling of formwork for the construction of the core of a high-rise building using steel inventory frame formwork**  
**Таблица 1. Ведомость объёмов работ на монтаж и демонтаж опалубки для строительства ядра высотного здания при помощи стальной инвентарной рамной опалубки**

№ п/п	Наименование работ и затрат, ед. изм.	Кол-во	Стоимость ед. руб.			Общая стоимость руб.			
			Всего	Эксплуатации машин	Материалы	Всего	Опл. труда	Эксплуатация машин	Материалы
								В т.ч. оплаты труда	
Монтаж инвентарной опалубки									
Устройство опалубки									
1	Подача краном щитов опалубки, 100 т	0.3	18907	4032	0.8	399041	134937	90165	50.4
			6394	10666				225102	
2	Подача краном универсальных контейнеров с подкосами, ограждающими	0.06	2122	480	0.15	133677	8096	30205	9.45



	устройствам и соединительными элементами для производства бетонных работ, 100 т		129	214				13506	
3	Разметка мест установки опалубки по разбивочным осям, 100 м <sup>2</sup>	7.3	9376	2062		474340	161349	15049	
			3189	5251				38332	
4	Установка щитов, 100 м <sup>2</sup>	7.3	11252	2062		991803	404838	18059	
			3827	5251				45998	
5	Крепление щитов болтами, 100 м <sup>2</sup>	7.3	13127	2886		905559	30829	21069	
			44652	7351				53664	
6	Выверка опалубки, 100 м <sup>2</sup>	7.3	15002	3298		1103920	375502	24078	
			5103	8401				61331	
7	Крепление опалубки подкосами, схватками, распорками и растяжками, 100 м <sup>2</sup>	7.3	16877	3711		1940484	660062	27088	
			5741	9452				68997	
Демонтаж инвентарной опалубки									
1	Подача краном щитов опалубки, 100 т	0.3	18907	4032	0.8	399041	134937	90165	50.4
			6394	10666				225102	
2	Подача краном универсальных контейнеров с подкосами, ограждающими устройствами и соединительными элементами для производств	0.06	2122	479	0.15	133677	8096	30205	9.45
			129	214				13506	





	а бетонных работ, 100 т								
3	Снятие подкосов, 1 м <sup>2</sup>	7.3	15126	3410		952924	322237	214841	
			5115	8525				537079	
4	Ослабление болтовых соединений, 1 м <sup>2</sup>	7.3	9454	2131		595577	201398	134276	
			3197	5328				335674	
5	Отделение опалубки от поверхности бетона, 1 м <sup>2</sup>	7.3	35924	8099		2263194	765314	510248	
			12148	20247				1275562	
6	Снятие щитов и креплений и укладка их на место складирования, 1 м <sup>2</sup>	7.3	56722	12788		3573465	1208390	806654	
			19181	31969				2014044	
7	Очистка опалубки, 1 м <sup>2</sup>	7.3	17017	3836	0.9	1072039	362517	241696	56.7
			5754	9591				604213	
8	Смазка опалубки, 1 м <sup>2</sup>	7.3	5672	1279	0.3	357346	120839	80565	18.9
			1918	3197				201404	
Итого:								15 296 088	

Объёмы работ при возведении ядра здания при помощи самоподъёмной опалубки разнообразны, но несмотря на данный фактор сам объём значительно ниже в сравнении со строительством ядра здания при помощи рамной опалубки. Объём работ снижается за счет производства основной доли от всего объёма только на первом и последнем этаже. Устройство самоподъёмной опалубки сконструировано таким способом, который позволяет самой перемещаться между этажами за счёт гидравлических цилиндров, которых в данном случае всего восемь. По завершению опалубочных работ на одном этаже, при возникшей необходимости перемещения опалубки между уровнями, устройство подымается по вертикали вверх за счет задействования на вертикальном бетонировании.

В таблице 2 описаны объёмы работ по возведению ядра высотного здания при помощи стальной инвентарной рамной опалубки. Расчеты произведены на основании документа ФЕР 81-02-06-2001 «Сборные и железобетонные конструкции монолитные.»

**Table 2. Statement of the scope of work for the installation and dismantling of formwork for the construction of the core of a high-rise building using self-lifting formwork**  
**Таблица 2. Ведомость объёмов работ на монтаж и демонтаж опалубки для строительства ядра высотного здания при помощи самоподъёмной опалубки**

№ п/п	Наименование работ и затрат, ед. изм.	Кол-во	Стоимость ед. руб.			Общая стоимость руб.			
			всего	Эксплуатации машин	Материалы	Всего	Опл. труда	Эксплуатация машин	Материалы



Монтаж самоподъемной опалубки									
Устройство опалубки									
1	Подача краном щитов опалубки, 100 т	0.3	15126	3225	0.8	15126	5114	3225	0.8
			5114	8533				8533	
2	Подача краном универсальных контейнеров с подкосами, ограждающим и устройствами и соединительными элементами для производства бетонных работ, 100 т	0.06	2122	479	0.15	2122	129	479	0.15
			129	214				214	
Установка опалубки стен									
3	Разметка мест установки опалубки по разбивочным осям, 100 м <sup>2</sup>	7.3	9376	2062		9376	3189	2062	
			3189	5251				5251	
4	Установка щитов, 100 м <sup>2</sup>	7.3	11252	2062		11252	3827	2062	
			3827	5251				5251	
5	Крепление щитов болтами, 100 м <sup>2</sup>	7.3	13127	2886		13127	44652	2886	
			44652	7351				7351	
6	Выверка опалубки, 100 м <sup>2</sup>	7.3	15002	3298		15002	5103	3298	
			5103	8401				8401	
7	Крепление опалубки подкосами, схватками, распорками и растяжками, 100 м <sup>2</sup>	7.3	16877	3711		16877	5741	3711	
			5741	9452				9452	
8	Установка закладных деталей до 4 кг на каждый этаж без вырезки и заделки	32	5626	1327		348800	118646	82268	
			1914	3151				195333	



	отверстий в опалубке, 1 шт.								
9	Перестановка опалубки на следующий этаж на гидравлических цилиндрах, 1 м <sup>2</sup>	7.3	1125	265	0.3	69760	23729	16454	18.6
			383	630				39067	
10	Установка опалубки стен при использовании самоподъёмной системы, 1 м <sup>2</sup>	7.3	2625	929	0.7	162773	83053	57587	43.4
			1340	2520				156267	
11	Крепление щитов болтами, 1 м <sup>2</sup>	7.3	13127	2886		13127	44652	2886	
			44652	7351				7351	
12	Выверка опалубки, 1 м <sup>2</sup>	7.3	15002	3298		15002	5103	3298	
			5103	8401				8401	
13	Крепление опалубки распорками и стяжками, 1 м <sup>2</sup>	7.3	16877	3711		16877	5741	3711	
			5741	9452				9452	
Укрупнение конструктивных элементов в блоки независимо от видов конструкций									
14	Конструкции весом до 1 т, 1 шт.	40	1875	412		75011	25515	16492	
			638	1050				42007	
15	Конструкции весом до 2 т, 1 шт.	14	3751	825		52508	17861	11544	
			1276	2100				29405	
16	Конструкции весом до 6 т, 1 шт.	6	5626	1237		33755	11482	7421	
			1914	3150				18903	
Монтаж укрупненными блоками									
17	Конструкции весом до 1 т, 1 шт.	45	1875	412		84387	28705	18554	
			638	1050				47257	
18	Конструкции весом до 2 т, 1 шт.	15	3751	825		56258	19136	12369	
			1276	2100				31505	
19	Конструкции весом до 6 т, 1 шт.	6	5626	1237		33755	11482	7421	
			1914	3150				18903	
20	Монтаж ограждения, 100 м. п.	0.7	7501	1649		5101	1734	1121	
			2551	4201				2856	
21	Монтаж деревянного	2.7	9376	2062		24847	8449	5463	





	настила толщиной 50 мм, 100 м <sup>2</sup>		3188	5251				13914	
Демонтаж самоподъемной опалубки									
1	Подача краном щитов опалубки, 11 т	0.3	15126	3225	0.8	15126	5114	3225	0.8
			5114	8533				8533	
2	Подача краном универсальны х контейнеров с подкосами, ограждающим и устройствами и соединительн ыми элементами для производства бетонных работ, 100 т	0.06	2122	479	0.15	2122	129	479	0.15
			129	214				214	
Разборка опалубки стен									
3	Снятие подкосов, 1 м <sup>2</sup>	7.3	15126	3410		15126	5115	3410	
			5115	8525				8525	
4	Ослабление болтовых соединений, 1 м <sup>2</sup>	7.3	9454	2131		9454	3197	2131	
			3197	5328				5328	
5	Отделение опалубки от поверхности бетона, 1 м <sup>2</sup>	7.3	35924	8099		35924	12148	8099	
			12148	20247				20247	
6	Снятие щитов и креплений и укладка их н место складировани я, 1 м <sup>2</sup>	7.3	56722	12788		56722	19181	12788	
			19181	31969				31969	
7	Очистка опалубки, 1 м <sup>2</sup>	7.3	17017	3836		17017	5754	3836	
			5754	9591				9591	
8	Смазка опалубки, 1 м <sup>2</sup>	7.3	5672	1279		5672	1918	1279	
			1918	3197				3197	
Разборка конструктивных элементов независимо от видов конструкций									
9	Конструкции весом до 1 т, 1 шт.	40	1875	412		1875	638	412	
			638	1050				1050	
10		14	3751	825		3751	1276	825	



	Конструкции весом до 2 т, 1 шт.		1276	2100				2100	
11	Конструкции весом до 6 т, 1 шт.	6	5626	1237		5626	1914	1237	
			1914	3150				3150	
Демонтаж укрупненными блоками									
12	Конструкции весом до 1 т, 1 шт.	45	1875	412		1875	638	412	
			638	1050				1050	
13	Конструкции весом до 2 т, 1 шт.	15	3751	825		3751	1276	825	
			1276	2100				2100	
14	Конструкции весом до 6 т, 1 шт.	6	5626	1237		5626	1914	1237	
			1914	3150				3150	
15	Демонтаж ограждения, 100 м. п.	68	7501	1649		7501	2551	1649	
			2551	4201				4201	
16	Демонтаж деревянного настила толщиной 50 мм, 1 м <sup>2</sup>	2.7	9376	2062		9376	3188	2062	
			3188	5251				5251	
Итого:						1 271 384			

Таблица 2 наглядно демонстрирует отсутствие разнообразия работ в сравнении со способом возведения ядра высотного здания при помощи самоподъёмной опалубки, но за счет цикличности действий, которые возникают от уровня к уровню, данный способ строительства подразумевает выполнение большего объема работ за счёт периодически возникающего монтажа и демонтажа опалубки, необходимых к выполнению на каждом этаже здания.

Следующим шагом является формирование ведомости затрат на возведение ядра высотного здания при помощи стальной инвентарной рамной и самоподъёмной опалубок в таблицах 3 и 4.

Для определения срока окупаемости самоподъёмной опалубки необходимо установить объем производимых работ в строительстве высотного здания с использованием самоподъёмной опалубки и объёма работ строительства с использованием инвентарной опалубки.

Таблица 4 демонстрирует наименьший объём работ на монтаж и демонтаж самоподъёмной опалубки, а именно:

$$15\,296\,088 / 1\,271\,384 \approx 12$$

Затраты на работы по монтажу и демонтажу в строительстве ядра высотного здания при помощи стальной инвентарной рамной опалубки превышают более, чем в 12 раз в сравнении с затратами на монтаж и демонтаж самоподъёмной опалубки.

Экономическая эффективность использования самоподъёмной опалубки в строительстве высотного здания в сравнении с инвентарной опалубкой будет устанавливаться с учетом объёмов поставки, Дока–услуг, шефмонтажа, инженерных услуг и условий договора при прочих равных условиях.

В ходе работ строительства объекта высотного здания с использованием инвентарной опалубки необходима помощь мастеров–наладчиков фирмы Дока, квалифицированных в сфере реализации хода опалубочных работ на практике. Стоимость дополнительных инженерных услуг по условиям договора за час составила 3 325 рублей с НДС.

Для проведения сравнительного анализа определим сметную стоимость объекта строительства ядра высотного здания с использованием инвентарной опалубки

Срок строительства ядра высотного здания при помощи самоподъёмной опалубки снижается более чем в 2 раза, в связи с чем аренду стальной инвентарной рамной опалубки стоит учитывать в двойном коэффициенте.

Kirsanova, T.; Krupenin, F.; Shinkareva M.

Economic efficiency of the use of self-lifting formwork and inventory formwork in high-rise construction; 2023; AlfaBuild; 27 Article No 2704. doi: 10.57728/ALF.27.4



В таблице 3 наглядно представлены цифры, отражающие затраты на строительство ядра здания при помощи самоподъёмной и стальной инвентарной рамной опалубок в сравнении.

**Table 3. Comparison of costs for the construction of the core of the building using self-lifting and steel inventory frame formwork**

**Таблица 3. Сравнение затрат на строительство ядра здания при помощи самоподъёмной и стальной инвентарной рамной опалубок**

№ п/п	Вид затрат	Стоимость, руб. (аренда) самоподъёмная	Стоимость, руб. (аренда) стальная инвентарная рамная
1	Затраты на опалубку	22 600 000	16 632 000
3	Объём работ строительства ядра высотного здания	1 271 384	15 296 088
5	Проектирование (с НДС)	2 094 750	2 094 750
6	Шеф–монтаж (с НДС)	997 500	742 500
	итого	26 963 634	34 765 338

Таблица 3 демонстрирует выгоду строительства ядра высотного здания при помощи самоподъёмной опалубки в сравнении со стальной инвентарной рамной опалубкой. Преимущество составляет:

$$34\,765\,338 / 26\,963\,634 \approx 1.3$$

Выгода строительства высотных зданий на конкретном примере при помощи самоподъёмной опалубки составила, примерно, в 1.3 раза. Данное обстоятельство обосновывает экономическую выгоду при использовании самоподъёмной опалубки для строительства ядра высотного здания.

## 4 Conclusions / Заключение

Одним из самых важных условий в реализации строительства является обоснованность инвестирования в проект.

В процессе достижения цели по установке экономической эффективности строительного проекта при использовании самоподъёмной опалубки и стальной инвентарной рамной опалубки были решены следующие задачи:

1. Рассчитана величина капиталовложений и объём работ на возведение ядра высотного здания с использованием самоподъёмной опалубки.

Величина капиталовложений на возведение ядра высотного здания с использованием инвентарной рамной опалубки составила 1 271 384 рубля. За счёт цикличности действий, которые возникают от уровня к уровню, данный способ строительства подразумевает выполнение большего объёма работ за счёт периодически возникающего монтажа и демонтажа опалубки, необходимых к выполнению на каждом этаже здания.

2. Рассчитана величина капиталовложений и объём работ на возведение ядра высотного здания с использованием стальной инвентарной рамной опалубки.

Величина капиталовложений на возведение ядра высотного здания с использованием инвентарной рамной опалубки составила 5 296 088 рублей. Объёмы работ при возведении ядра здания при помощи самоподъёмной опалубки разнообразны, но несмотря на данный фактор, устройство самоподъёмной опалубки сконструировано таким способом, который позволяет опалубке самой перемещаться между этажами за счёт гидравлических цилиндров, которых в данном случае всего восемь. По завершению опалубочных работ на одном этаже, при возникшей необходимости перемещения опалубки между уровнями, устройство подымается по вертикали вверх за счет задействования на вертикальном бетонировании. Объём работ снижается за счет производства основной доли от всего объёма только на первом и последнем этаже.

3. Сформированы результаты финансовых расчётов строительства ядра высотного здания с использованием самоподъёмной опалубки и при помощи стальной инвентарной рамной опалубки, сформированы результаты финансовых расчётов строительства ядра высотного здания с использованием стальной инвентарной рамной опалубки;

Рассмотрены путём сравнения результаты финансовых расчётов по проекту строительства ядра высотного здания с использованием самоподъёмной опалубки и результаты расчётов строительства ядра здания с использованием инвентарной опалубки. Затраты на



строительство ядра здания при помощи самоподъёмной опалубки составили 26 963 634 рубля, а при помощи стальной инверторной опалубки затраты составили 34 765 338 рублей. Выгода строительства высотных зданий на конкретном примере при помощи самоподъёмной опалубки составила, примерно, в 1.3 раза. Данное обстоятельство обосновывает экономическую выгоду при использовании самоподъёмной опалубки для строительства ядра высотного здания.

В процессе исследований были использованы положения системного анализа, методы экспертных оценок, теория рисков, методы экономико-математического моделирования, имитационного моделирования, сравнительный метод, метод обобщения, абстракции, индукции и дедукции.

Данное исследование позволит:

1. распространить опыт реализации подобных строительных проектов во всем мире;
2. продемонстрировать возможность реализации проекта строительства высотного здания с использованием самоподъёмной опалубки, что будет являться значимым для застройщика–инвестора и подрядчика;
3. получит инвестору функционирующее уникальное здание, приносящее экономическую и социальную пользу;
4. использовать на практике в качестве примера при выборе того или иного вида строительной опалубки.

Проведен анализ теоретических источников и расчётных данных на основе проекта объекта высотного строительства, вследствие чего установлены критерии характеристик объекта, обеспечивающих условия экономически выгодного использования самоподъёмной опалубки, а также построена финансово–экономическая модель обоснования вложений инвестиций в данный проект.

## References

1. Burger, J., Huber, T., Lloret–Fritschi, E., Mata–Falcón, J., Gramazio, F., & Kohler, M. (2022). Design and fabrication of optimised ribbed concrete floor slabs using large scale 3D printed formwork. *Automation in Construction*, 144. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104599>
2. Burger, J., Lloret–Fritschi, E., Scotto, F., Demoulin, T., Gebhard, L., Mata–Falcón, J., Gramazio, F., Kohler, M., & Flatt, R. J. (2020). Eggshell: Ultra–thin three–dimensional printed formwork for concrete structures. *3D Printing and Additive Manufacturing*, 7(2). <https://doi.org/10.1089/3dp.2019.0197>
3. Cavero, P., Arribas, D., Carnero, D., & Jiménez, P. (2016). Almonte viaduct. Construction process. *Fib Symposium*. <https://doi.org/10.2749/stockholm.2016.2282>
4. Hamooni, M., Maghrebi, M., Sardroud, J. M., & Kim, S. (2020). Extending BIM interoperability for real–time concrete formwork process monitoring. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/app10031085>
5. Hansen, S., Siregar, P. H. R., & Jevica. (2020). Analytic Hierarchy Process–Based Decision–Making Framework for Formwork System Selection by Contractors. *Journal of Construction in Developing Countries*, 25(2). <https://doi.org/10.21315/JCDC2020.25.2.10>
6. Hoornahad, H., Koenders, Eduardus. A. B., & van Breugel, K. (2015). Towards the development of self–compacting no–slump concrete mixtures. *Epitoanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials*, 67(4). <https://doi.org/10.14382/epitoanyag–jsbcm.2015.22>
7. Huijben, F., Herwijnen, F. Van, & Nijssse, R. (2012). Structural Morphology of VACUUMATICS 3D Formwork Systems: Constructing Thin Concrete Shells with “Nothing.” *International Conference of Flexible Formwork*. <https://research.tue.nl/en/publications/structural-morphology-of-vacuomatics-3d-formwork-systems-constructing-thin-concrete-shells-with-nothing>
8. Ko, C. H., & Kuo, J. De. (2015). Making formwork construction lean. *Journal of Civil Engineering and Management*, 21(4). <https://doi.org/10.3846/13923730.2014.890655>
9. Lee, B., Choi, H., Min, B., & Lee, D. E. (2020). Applicability of formwork automation design software for aluminum formwork. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(24). <https://doi.org/10.3390/app10249029>
10. Lee, D., Lim, H., Kim, T., Cho, H., & Kang, K. I. (2018). Advanced planning model of formwork layout for productivity improvement in high–rise building construction. *Automation in Construction*, 85. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.019>



11. Li, W., Lin, X., Bao, D. W., & Min Xie, Y. (2022). A review of formwork systems for modern concrete construction. In *Structures* (Vol. 38). <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.01.089>
12. Mei, Z., Xu, M., Luo, S., Tan, Y., & Li, H. (2022). Concrete formwork reuse in a supply chain with dynamic changes using ABMS and discrete events. *Journal of Cleaner Production*, 332. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130038>
13. Nam, K. Y., & Lim, M. K. (2023). Life Cycle Environmental Impact Assessment and Applicability of Synthetic Resin Formwork. *Materials*, 16(2). <https://doi.org/10.3390/ma16020696>
14. Popescu, M., Rippmann, M., Liew, A., Reiter, L., Flatt, R. J., Van Mele, T., & Block, P. (2021). Structural design, digital fabrication and construction of the cable–net and knitted formwork of the KnitCandela concrete shell. *Structures*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.02.013>
15. Rajeshkumar, V., & Sreevidya, V. (2019). Performance Evaluation on Selection of Formwork Systems in High Rise Buildings Using Regression Analysis and Their Impacts on Project Success. *Archives of Civil Engineering*, 65(2). <https://doi.org/10.2478/ace–2019–0029>
16. Russell, H., Ralls, M., & Tang, B. (2005). Part 3: Concrete Bridges: Prefabricated Bridge Elements and Systems in Japan and Europe. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1928. <https://doi.org/10.3141/1928–11>
17. Singh, M. M., Sawhney, A., & Sharma, V. (2017). Utilising building component data from BIM for formwork planning. *Construction Economics and Building*, 17(4). <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v17i4.5546>
18. Terzioglu, T., Polat, G., & Turkoglu, H. (2022). Analysis of Industrial Formwork Systems Supply Chain Using Value Stream Mapping. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 12(1). <https://doi.org/10.32738/JEPPM–2022–0005>
19. Travush, V., Erofeev, V., Bulgakov, A., & Buzalo, N. (2020). Mechatronic complex based on sliding formwork for the construction of monolithic high–rise buildings and tower–type structures made of reinforced concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 913(2). <https://doi.org/10.1088/1757–899X/913/2/022009>
20. Wang, L., Yang, Y., Yao, L., & Ma, G. (2022). Interfacial bonding properties of 3D printed permanent formwork with the post–casted concrete. *Cement and Concrete Composites*, 128. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104457>
21. Wicaksono, I., & Singgih, M. (2011). Manajemen Risiko K3 (Keselamatan dan Kesehatan Kerja) Pada Proyek Pembangunan Apartemen Puncak Permai Surabaya. *ITS Cokroaminoto Surabaya*. <https://www.moseslsinggih.org/wp-content/uploads/2013/04/2011-Wicaksono-I.K-and-M.L.-Singgih-Manajemen-Risiko-K3.pdf>
22. Wu, C., Su, Y., Zhang, P., Zhu, H., Gao, D., & Sheikh, S. A. (2022). Experimental Study of GFRP Reinforced Concrete Beams With U–Shaped CFRP Grid–Reinforced ECC Stay–in–Place Formwork. *Frontiers in Materials*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmats.2022.872232>
23. Zhou, J. Z., Lin, Q., Liao, M. P., Zhuang, J. P., & Cai, X. F. (2013). Application of modularized low–position jacking formwork system in core–tube building. *Applied Mechanics and Materials*, 405–408. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.405–408.3103>
24. Zhu, B., Nematollahi, B., Pan, J., Zhang, Y., Zhou, Z., & Zhang, Y. (2021). 3D concrete printing of permanent formwork for concrete column construction. *Cement and Concrete Composites*, 121. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104039>
25. Zinevich, N. I., Tolkachev, L. A., Shagin, V. S., Tatarov, G. G., & Nikolaev, A. S. (1973). Self–lifting cantilever formwork for dam construction at the Toktogul'sk hydroelectric plant. *Hydrotechnical Construction*, 7(11). <https://doi.org/10.1007/BF02383333>