

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2026, Том 18, № 2 / 2026, Vol. 18, Iss. 2 <https://esj.today/issue-2-2026.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/52SAVN226.pdf>

2.1.7. Технология и организация строительства (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Красноперова, С. С. Анализ эффективности применения опалубочных систем для возведения монолитного железобетонного каркаса высотного здания / С. С. Красноперова, Е. М. Пугач // Вестник евразийской науки. — 2026. — Т. 18. — № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/52SAVN226.pdf>.

For citation:

Krasnoperova S.S., Pugach E.M. Analysis of the effectiveness of the use of formwork systems for the construction of a monolithic reinforced concrete frame of a high-rise building. *The Eurasian Scientific Journal*. 2026;18(2): 52SAVN226. Available at: <https://esj.today/PDF/52SAVN226.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 69.057.51; 69.057.52

Красноперова Софья Сергеевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
Москва, Россия

E-mail: krasnoperova_0505@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3654-550X>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1335846

Пугач Евгений Михайлович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
Москва, Россия

Доцент кафедры «Технологий и организации строительного производства»

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: tsp-tvz@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2832-1941>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=416367

Анализ эффективности применения опалубочных систем для возведения монолитного железобетонного каркаса высотного здания

Аннотация. В статье рассмотрены способы возведения монолитных железобетонных конструкций высотных зданий с применением скользящей, подъемно-переставной, самоподъемной опалубки. Представлены технические и конструктивные решения, определены способы перемещения, отличительные особенности и факторы, влияющие на выбор системы опалубки. На основании существующих инженерных решений выделены особенности, преимущества и недостатки, направления развития и совершенствования опалубочных систем. Осуществлен сравнительный анализ, построенный на определении характеристик и сопоставлении конструкций. Качественная оценка систем опалубки проводилась по таким укрупненным показателям, как геометрия, возможность изменения формы возводимой конструкции, технические и организационно-технологические особенности. На примере устройства наружных стен и ядра жесткости типового этажа высотного здания определены количественные значения показателей затрат труда, машинного времени, степени механизации, выработки одного рабочего за день. Скользящая опалубка рассматривалась только для возведения ядра жесткости здания, что связано со сложностью в установке проемообразователей при устройстве наружных стен. Результаты анализа показали, что использование скользящей опалубки благодаря существенному снижению трудоемкости является эффективным, но очень узким и специализированным

решением. Самоподъемная и подъемно-переставная системы обладают более широкими возможностями создания сложных геометрических форм, однако в связи с низким уровнем механизации и высокой трудоемкостью, необходимостью использования крана и его возможными простоями из-за непогоды и туманов при работе на высоте, подъемно-переставная опалубка отстает от аналогов. Наиболее применима и эффективна для высотных зданий самоподъемная опалубка. При выборе опалубки следует обращать внимание на показатели эффективности применения системы, факторы, значимые в пределах конкретного объекта.

Ключевые слова: высотное здание; монолитный железобетон; железобетонный каркас; скользящая опалубка; самоподъемная опалубка; подъемно-переставная опалубка; возведение монолитных железобетонных конструкций высотных зданий

Введение

В последние десятилетия в России строят большое количество высотных зданий и сооружений с несущими конструкциями из монолитного железобетона, обладающих повышенной сейсмостойкостью, устойчивостью к влиянию негативных факторов окружающей среды, высокой прочностью и жесткостью, что позволяет возводить небоскребы [1]. Эффективность их возведения определяет выбор опалубочной системы. Тип опалубки следует подбирать рационально, учитывая сроки строительства, влияющие на затраты по возведению объекта. Опалубочные работы на высоте могут затрудняться, что связано с повышенными рисками безопасности, сложностью в доставке материалов, уменьшением количества возможных дней работы крана из-за ветра и тумана [2; 3]. Для решения обозначенной проблемы используют подъемно-переставную и самоподъемную опалубки, применяемые для наружных стен здания и ядер жесткости [4]. Для ускорения высотного строительства в дополнение к применению самоуплотняющейся бетонной смеси, стали в качестве материала настила, рекомендуется использовать систему скользящей опалубки [5]. Ее применяют преимущественно для возведения ядер жесткости, так как при устройстве наружных стен возникают сложности с постоянной установкой проемообразователей. Перечисленные опалубочные системы совершенствуются, автоматизируются, позволяют сокращать сроки строительства, уменьшать материалоемкость и трудоемкость работ, повышать геометрическую точность возводимых конструкций, однако требуют привлечения высококвалифицированных исполнителей [6]. Так как трудоемкость опалубочных работ составляет около 40 % относительно всего комплекса монолитных работ [7], а стоимость опалубки, позволяющей возводить конструкции непрерывно, может быть на 30–35 % выше, чем стоимость монтажного крана [8], для повышения эффективности организации строительного производства возводимого объекта ключевым фактором, влияющим на итоговую стоимость и сроки проведения работ, является правильный выбор типа опалубки, который следует осуществлять, опираясь на такие параметры, как конструкция опалубки, уровень подготовки и квалификации рабочих, погодные условия [9].

Методология исследования

Рассмотрены технические и конструктивные решения самоподъемной, подъемно-переставной и скользящей опалубок, определены способы перемещения, отличительные особенности и факторы, влияющие на выбор системы. Осуществлен сравнительный анализ опалубки, построенный на определении характеристик и сопоставлении конструкций.

Обзор существующих решений

На основании анализа существующих инженерных решений выделены современные тенденции в области совершенствования опалубочных систем, которые заключаются в сокращении трудоемкости и материалоемкости работ, ускорении строительства. Среди ключевых направлений развития технологий — увеличение геометрической точности и конструктивных возможностей опалубки для создания большего разнообразия объемно-планировочных решений, возведение многослойных стен, адаптация к различным климатическим условиям, создание опалубки для бетонирования объектов сложной геометрической формы, в т. ч. стен с переменным сечением. Расширение технологических возможностей особых типов опалубки для высотного строительства позволяет реализовывать сложные технические и инженерные решения.

1. Скользящая опалубка

Типовая конструкция скользящей опалубки состоит из подмостей нескольких уровней, щитов, скрепленных двумя рядами балок, передающими усилия на домкратные рамы, передвигающиеся по домкратным стержням (направляющим) с помощью домкратов. Направляющие закреплены к выпускам из фундамента и наращиваются по ходу увеличения высоты возводимой конструкции. Принцип действия скользящей опалубки заключается в непрерывном передвижении (скольжении) щитов, позволяющем возводить конструкции со скоростью до 5 м в сутки благодаря работе электрических или гидравлических домкратов, подключенных к насосным распределительным станциям с помощью шлангов [10; 11].

На примере существующих инженерных решений рассмотрены скользящие опалубки со специфическими качествами, такими как прогрев бетона в зимних условиях, опалубка с кондукторами повышенной точности выверки, опалубка с возможностью изменения поперечного сечения конструкции, позволяющими повысить эффективность и применимость подобных систем в строительстве.

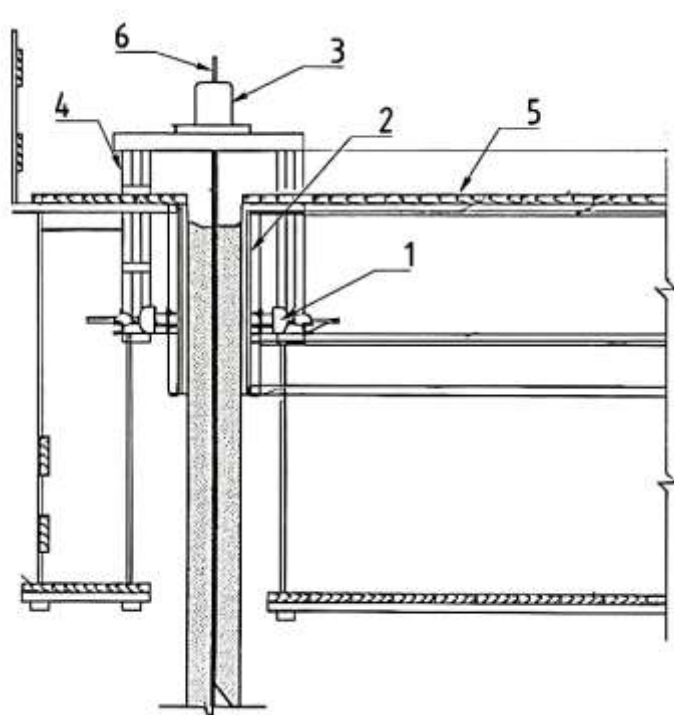
Разработанная А.П. Свинцовым, Ю.В. Николенко, В.В. Мешковым, К.Е. Щесняком скользящая опалубка¹ (рис. 1) позволяет равномерно прогревать бетон *инфракрасными излучателями*, направленными на щиты, что решает проблему ее использования в зимнее время. Непрерывное перемещение опалубки обеспечивают домкраты, установленные на рамах с закрепленными к ним щитами и рабочими площадками, за счет передачи усилия на направляющие стержни.

Скользящая опалубка для возведения *конструкций переменного сечения*² Д.Я. Паршина, О.Д. Паршина (рис. 2) может применяться для устройства сооружений башенного типа, имеющих изменяющееся по высоте круглое поперечное сечение (конические дымовые трубы, градирни и др.). Опалубка функционирует посредством перемещения домкратных рам с прикрепленными щитами по направляющим стержням. Под рабочей площадкой расположены механизмы радиального смещения, опорное кольцо с шахтным подъемником, попарно связанные с домкратными рамами рычаги, позволяющие сдвигать щиты и изменять поперечное сечение возводимой конструкции.

¹ Патент № 2495212 С1 Российская Федерация, МПК E04G 11/22. скользящая опалубка: № 2012116791/03: заявл. 26.04.2012: опубл. 10.10.2013 / А.П. Свинцов, Ю.В. Николенко, В.В. Мешков, К.Е. Щесняк; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Российский университет дружбы народов" (РУДН).

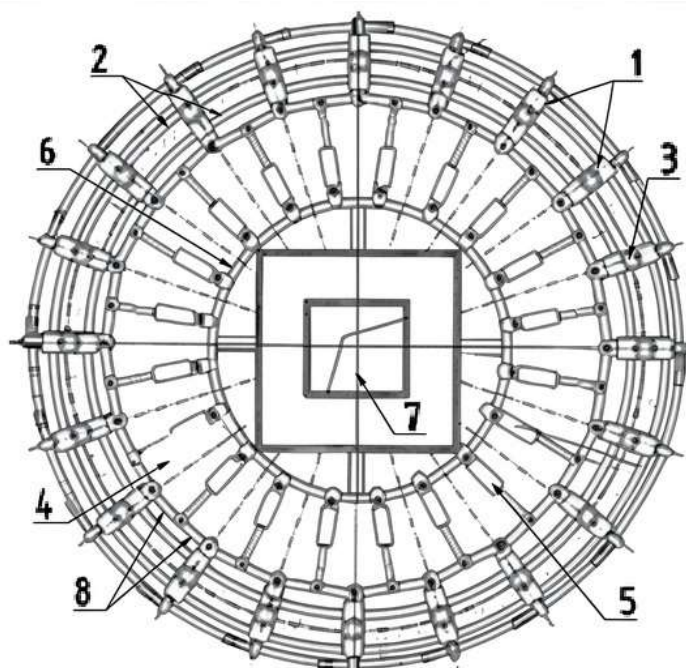
² Патент на полезную модель № 67609 U1 Российская Федерация, МПК E04G 11/22. скользящая опалубка для возведения сооружений переменного сечения: № 2007119412/22: заявл. 24.05.2007: опубл. 27.10.2007 / Д.Я. Паршин, О.Д. Паршин; заявитель Ростовская-на-Дону государственная академия сельскохозяйственного машиностроения (РГАСХМ ГОУ).

При передвижении опалубки с помощью домкратов, благодаря системе рычагов, рамы с щитами перемещаются механизмами радиального смещения одновременно по всему диаметру, что позволяет уменьшать поперечное сечение возводимого сооружения.



1 — инфракрасный излучатель; 2 — щит; 3 — домкрат; 4 — рама; 5 — рабочие площадки; 6 — направляющие стержни

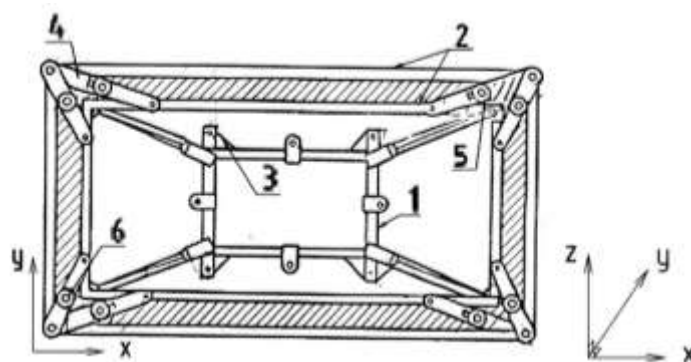
Рисунок 1. Скользящая опалубка с инфракрасными излучателями (патент № 2495212 С1)



1 — домкратные рамы; 2 — щиты; 3 — направляющие стержни; 4 — рабочая площадка; 5 — механизм радиального смещения; 6 — опорное кольцо; 7 — шахтный подъемник; 8 — рычаг

Рисунок 2. Скользящая опалубка для возведения сооружений переменного сечения (патент № 67609 U1)

Разработанная А.Г. Булгаковым, Г.Г. Гудиковым, В.Т. Загороднюком, А.И. Фабриковым скользящая опалубка для возведения монолитных железобетонных сооружений³ (рис. 3) предназначена для возведения прямоугольных в плане стен. Скользящая опалубка представляет собой прямоугольную горизонтальную раму, являющуюся базовой опорой для щитов, к которой прикреплены винтовые оттяжки, позволяющие исправлять деформации, регулировать положение опалубки по осям O_x , O_y и вращать вокруг O_z . Щиты соединяются с помощью V-образных кронштейнов, на которых расположены домкраты и домкратные стержни, с помощью которых опалубка перемещается. Использование данного типа опалубки повышает качество возводимого сооружения за счет увеличения геометрической точности.



1 — прямоугольная горизонтальная рама; 2 — щиты; 3 — винтовые оттяжки; 4 — V-образные кронштейны; 5 — домкраты; 6 — домкратные стержни

Рисунок 3. Скользящая опалубка для возведения монолитных железобетонных сооружений (патент № 1544933 А1)

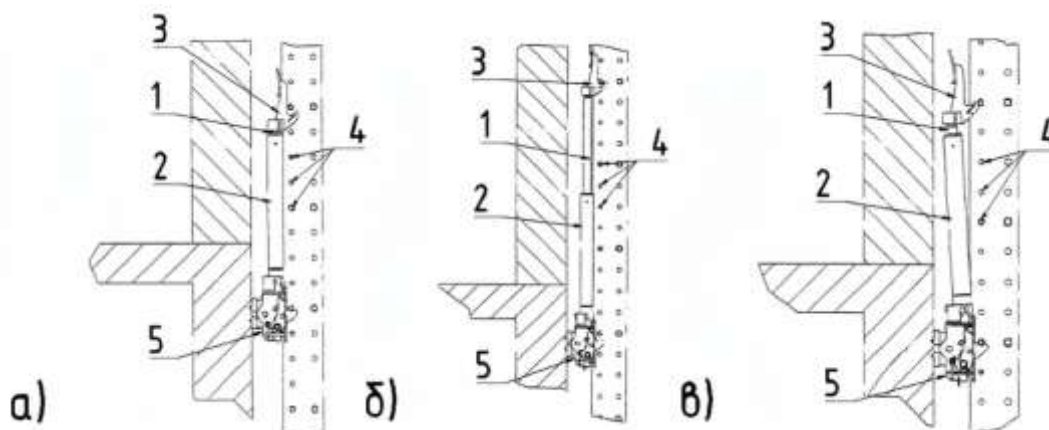
2. Самоподъемная опалубка

Принцип работы самоподъемной опалубочной системы заключается в периодическом подъеме щитов вместе с подмостями и рабочими платформами по направляющим рельсам с помощью гидроцилиндров, подключенных к насосной станции [11]. Щиты навешиваются на подъемные рельсы, прикрепленные к стене с помощью анкерных болтов через башмаки. Эффективной является самоподъемная опалубочная платформа, используемая для возведения ядра жесткости, позволяющая максимально обезопасить рабочих при работе на большой высоте.

Самоподъемная опалубка и/или самоподъемная сборочная единица строительных лесов с подъемным цилиндром⁴ (рис. 4) Артура Шверера на базе разработки компании PERI работает следующим образом: при выдвигании поршня гидроцилиндра фиксатор толкает вверх рельс на высоту шага болтов, башмак фиксируется в новом положении, западая под болт, поршень вытягивается, фиксатор освобождается. При подъеме цилиндр отклоняется в сторону, огибая болты, после чего его можно отсоединить и перенести на следующий этаж. Как и остальные самоподъемные системы, данная опалубка позволяет возводить конструкции без использования крана.

³ Авторское свидетельство № 1544933 А1 СССР, МПК E04G 11/22. Скользящая опалубка для возведения монолитных железобетонных сооружений: № 4433743: заявл. 31.05.1988: опубл. 23.02.1990 / А.Г. Булгаков, Г.Г. Гудиков, В.Т. Загороднюк, А.И. Фабриков; заявитель Новочеркасский Политехнический Институт имени Серго Орджоникидзе.

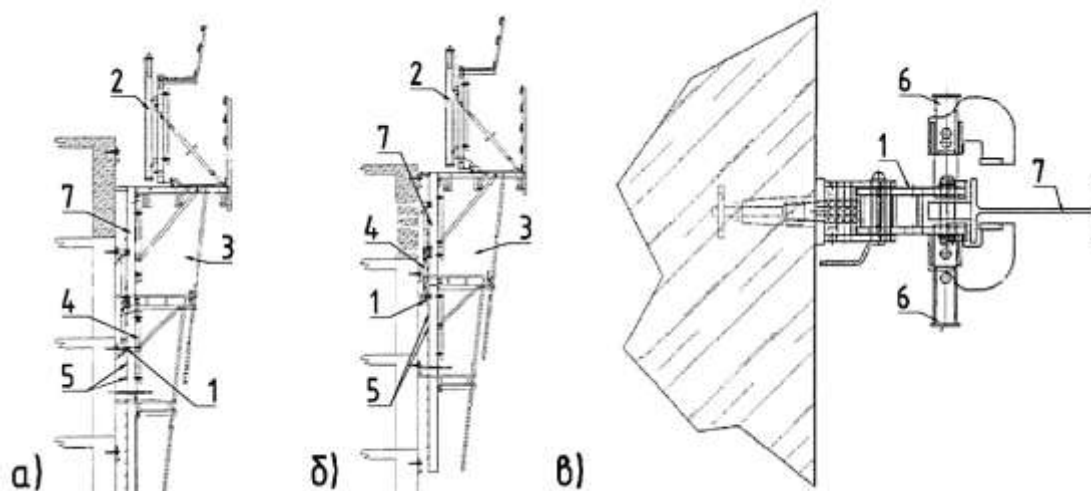
⁴ Патент № 2369705 С1 Российская Федерация, МПК E04G 11/28. Самоподъемная опалубка и/или самоподъемная сборочная единица строительных лесов с подъемным цилиндром: № 2008103264/03: заявл. 20.06.2006: опубл. 10.10.2009 / А. Шверер.



1 — поршень; 2 — гидроцилиндр; 3 — фиксатор; 4 — болт; 5 — башмак

Рисунок 4. Самоподъемная опалубка и/или самоподъемная сборочная единица строительных лесов с подъемным цилиндром (патент № 2369705 С1):
(а) вид подъемного цилиндра сбоку; (б) подъемный цилиндр в вытянутом состоянии;
(в) поворот подъемного цилиндра при втянутом поршне

Направляющий башмак и подъемное устройство⁵ (рис. 5) Хайнца Хобмайера на базе разработки компании ДОКА позволяет передвигать самоподъемную систему без снятия башмака. Настенные башмаки в нескольких местах крепятся к стене и держат опалубку и леса. При поднятии опалубки гидроцилиндром кулачки (часть подъемного башмака) зацепляются за опорные зацепы на рельсах. При снятии башмак сдвигается горизонтально, направляющие захваты освобождаются и проворачиваются вокруг своей оси. Преимуществом данного решения является упрощение процесса монтажа опалубочной системы и облегчение ее перестановки.



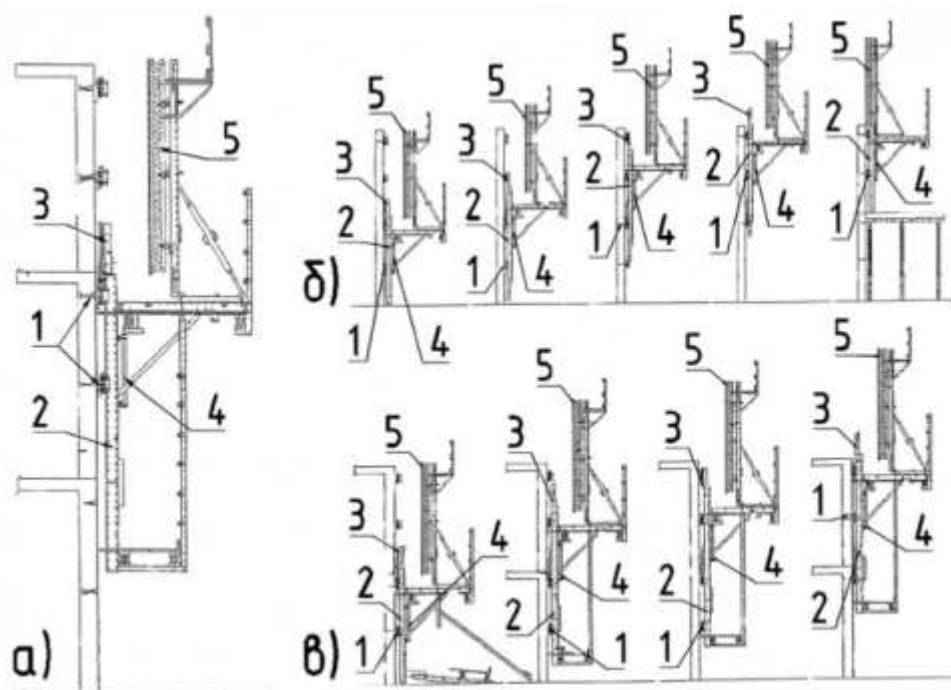
1 — башмак; 2 — опалубочный щит; 3 — леса; 4 — гидроцилиндр; 5 — опорные зацепы; 6 — направляющие захваты; 7 — вертикальный профиль

Рисунок 5. Направляющий башмак и подъемное устройство для использования в строительной отрасли (патент № 2427691 С2): (а) подъем опалубки;
(б) подъем устройства; (в) вид сверху на башмак

⁵ Патент № 2427691 С2 Российская Федерация, МПК E04G 11/28. Направляющий башмак и подъемное устройство для использования в строительной отрасли: № 2008129092/03: заявл. 05.06.2007: опубл. 27.08.2011 / Х. Хобмайер; заявитель ДОКА ИНДУСТРИ ГМБХ.

Рельсовая система самоподъемной опалубки, снабженная элементами удлинения подъемных рельсов⁶ (рис. 6) Артура Шверера на базе разработки компании PERI повышает удобство и безопасность использования системы.

Технология заключается в том, что на забетонированный участок устанавливают башмаки, к рельсу прикрепляют насадку для удлинения, а подъемный цилиндр, установленный на башмак, поднимает систему рельсов и щитов выше. После этого нижний элемент удлинения снимают и повторяют цикл. Такое техническое решение позволяет ускорить установку опалубки, повысить безопасность на строительной площадке, уменьшить материалоемкость.



1 — башмак; 2 — рельс; 3 — насадка для удлинения; 4 — подъемный цилиндр; 5 — опалубочный щит

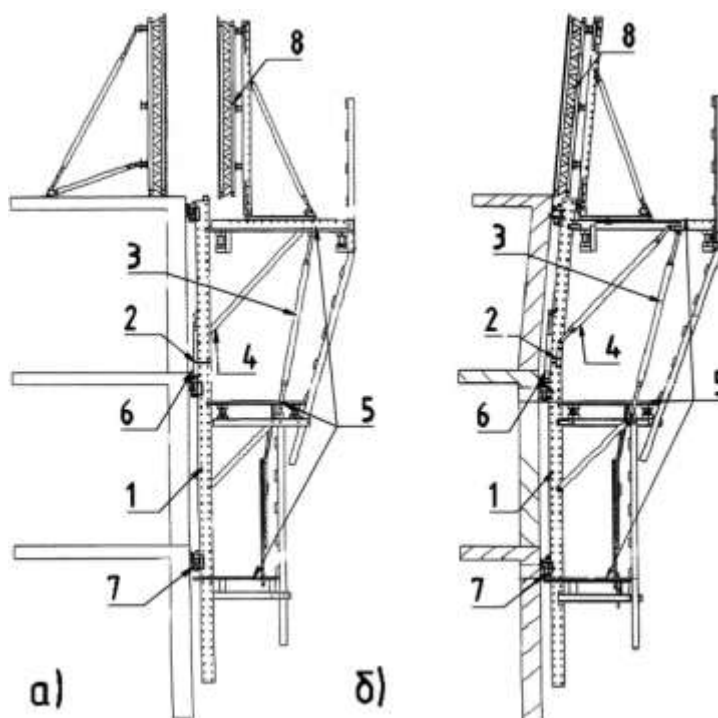
Рисунок 6. Рельсовая система самоподъемной опалубки, снабженная элементами удлинения подъемных рельсов (патент № 2459058 С2): (а) общий вид опалубки; (б) последовательность подъема щитов внутренней опалубки; (в) последовательность подъема щитов наружной опалубки

Подъемная система с направляемыми рельсами⁷ (рис. 7) Артура Шверера как разработка компании PERI позволяет возводить сужающиеся или расширяющиеся конструкции здания. Подъемные рельсы соединены шарниром, положение которого регулируется двумя шпинделями — регулирующим устройством и диагональным раскосом, связывающим подмости и рельс, благодаря которым можно изменять угол наклона опалубочной системы до 5°.

Перемещаться система может как с помощью крана, так и с помощью подъемного цилиндра, закрепленного на втором из трех кронштейнов, прикрепленных к зданию. Конструкция с шарниром требует высокой точности при проведении работ.

⁶ Патент № 2459058 С2 Российская Федерация, МПК E04G 11/28. Рельсовая система самоподъемной опалубки, снабженная элементами удлинения подъемных рельсов: № 2010143426/03: заявл. 21.03.2009; опубл. 20.08.2012 / А. Шверер.

⁷ Патент № 2370606 С1 Российская Федерация, МПК E04G 11/28. Подъемная система с направляемыми рельсами: № 2008103119/03: заявл. 20.06.2006; опубл. 20.10.2009 / А. Шверер.



1 — подъемный рельс; 2 — шарнир; 3 — регулирующее устройство; 4 — диагональный раскос; 5 — подмости;
6 — подъемный цилиндр; 7 — кронштейн; 8 — опалубочный щит

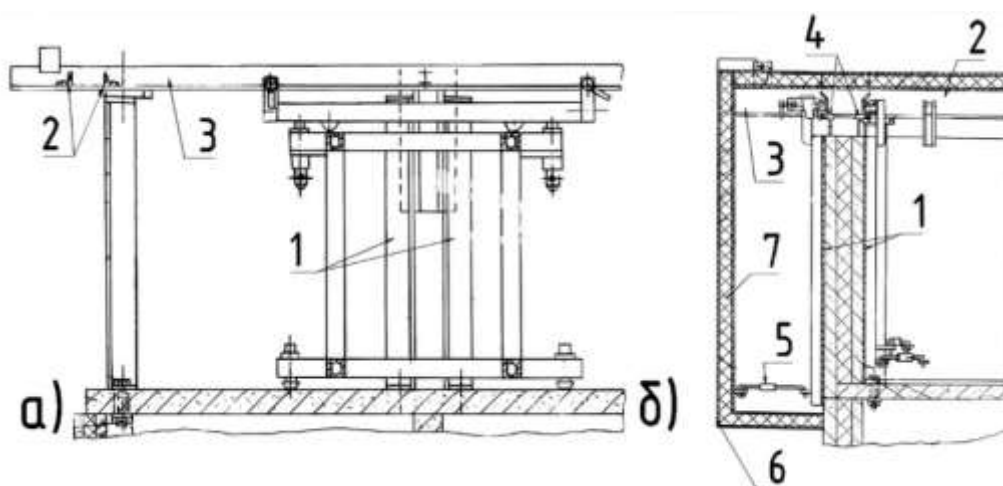
Рисунок 7. Подъемная система с направляемыми рельсами
(патент №2370606 С1): (а) общий вид опалубки; (б) изменение угла
наклона опалубки с помощью шарнира

3. Подъемно-переставная опалубка

Подъемно-переставная опалубка состоит из опалубочных щитов, направляющих балок, элементов крепления, нескольких уровней подмостей. Система требует наличия крана для передвижения щитов по направляющим элементам, предварительно соединенным с подмостями в единые панели (карты), в связи с чем становится неэффективным ее применение на высоте более 100 м, поскольку кран на такой высоте использовать трудно из-за ветра и тумана [12].

Разработанная А.Г. Черных опалубка для возведения монолитных сооружений⁸ (рис. 8) образует «теплозащитный колпак», позволяющий проводить работы в условиях отрицательных температур и возводить многослойные стены. Опалубочные щиты навешиваются на съемный кондуктор, значительно повышающий точность и качество возводимой конструкции, состоящий из поперечных и продольных элементов, и фиксируются с помощью талрепов. На поперечные элементы навешиваются Г-образные рамы, обшитые утеплителем, к которым крепится рабочий настил. Внутри тепляка есть возможность вести сантехнические, столярные и другие работы. После того, как бетон набрал необходимую прочность, теплозащитные панели и опалубочные щиты демонтируются. Далее с помощью опалубки перекрытия устраиваются горизонтальные конструкции и цикл повторяется. Недостатком конструкции опалубки являются большой вес, требующий использования мощного крана, а также ограниченная возможность применения только для прямоугольных стен.

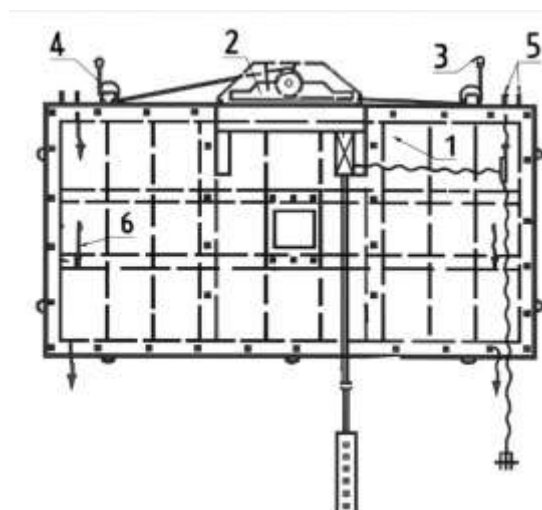
⁸ Патент № 2157878 С2 Российская Федерация, МПК E04G 11/20. опалубка для возведения монолитных сооружений: № 96102537/03; заявл. 13.02.1996; опубл. 20.10.2000 / А.Г. Черных.



1 — щиты; 2 — съемный кондуктор; 3 — поперечный элемент; 4 — продольный элемент; 5 — талреп; 6 — Г-образная рама (рабочий настил); 7 — утеплитель

Рисунок 8. Опалубка для возведения монолитных сооружений (патент № 2157878 С2):
(а) поперечный разрез опалубки; (б) поперечный разрез кондуктора в рабочем положении

Подъемно-переставная опалубка⁹ (рис. 9) Д.С. Аронова позволяет при возведении монолитных стен сокращать материалоемкость и трудоемкость работ. Опалубочная система состоит из стоек, на которых закреплены щиты с прикрепленными лебедками, тросы которых перекинуты через отводные блоки щита и соседних стоек, соединены с щитами через монтажные петли. Для перестановки опалубки на следующий этаж выбивают клинья, отрывают щиты, с помощью лебедки поднимают их на новый ярус и снова забивают клинья, фиксируя щиты в новом положении. Система передвигается с помощью лебедок и не требует использования крана, однако каждый щит нужно переставлять отдельно. Опалубка сложная, с большим количеством элементов, требует более тщательного контроля за работой всей системы.

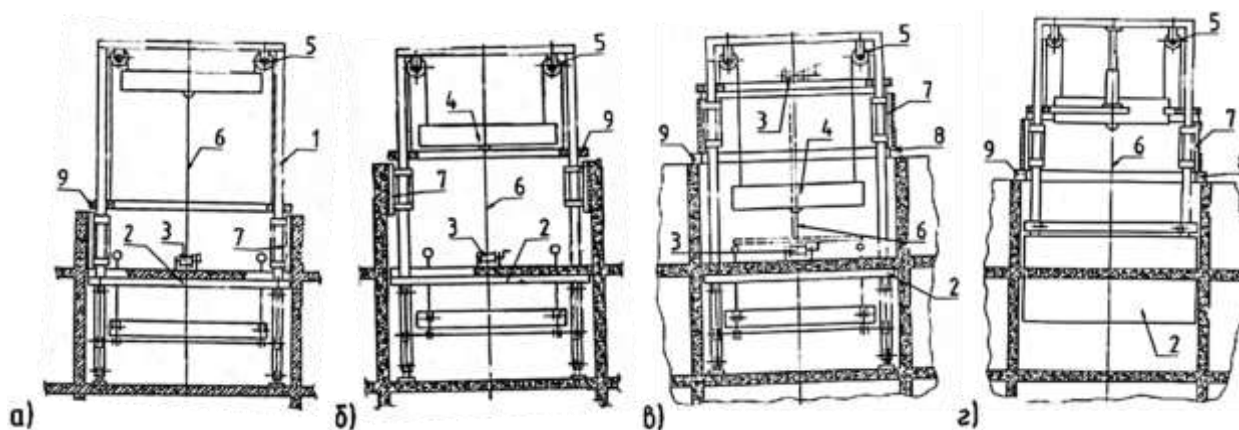


1 — щиты; 2 — лебедка; 3 — тросы; 4 — отводные блоки щита; 5 — монтажные петли; 6 — клинья

Рисунок 9. Подъемно-переставная опалубка (авторское свидетельство № 1601300 А1)

⁹ Авторское свидетельство № 1601300 А1 СССР, МПК Е04Г 11/28. Подъемно-переставная опалубка: № 4194126: заявл. 13.02.1987; опубл. 23.10.1990 / Д.С. Аронов.

*Подъемно-переставное устройство для возведения стен и перекрытий*¹⁰ (рис. 10), разработанное К. Тобокеловым, Б.А. Керцером, позволяет одновременно возводить стены и перекрытия с помощью одной лебедки. При применении данного устройства стены первого этажа возводятся в разборно-переставной опалубке. Конструкция состоит из П-образной рамы и опалубки перекрытия. После возведения перекрытия лебедка или домкрат тянут вниз противовес, который через систему блоков и канатной запасовки поднимает опалубочные щиты для стен сначала на первую половину этажа, далее на вторую. Для распалубки противовес тянут вниз: соединенная с ним через систему блоков траверса с помощью рычажной системы отрывает щиты от бетона. При переходе на следующий этаж опалубку переставляют на опоры, расположенные на возведенных стенах, и цикл повторяется. Данное техническое решение применимо и подходит только для однотипных планировок, конструкция является тяжелой и массивной.



1 — П-образная рама; 2 — опалубка перекрытия; 3 — лебедка; 4 — противовес; 5 — система блоков; 6 — канатная запасовка; 7 — опалубочный щит; 8 — опоры; 9 — траверса

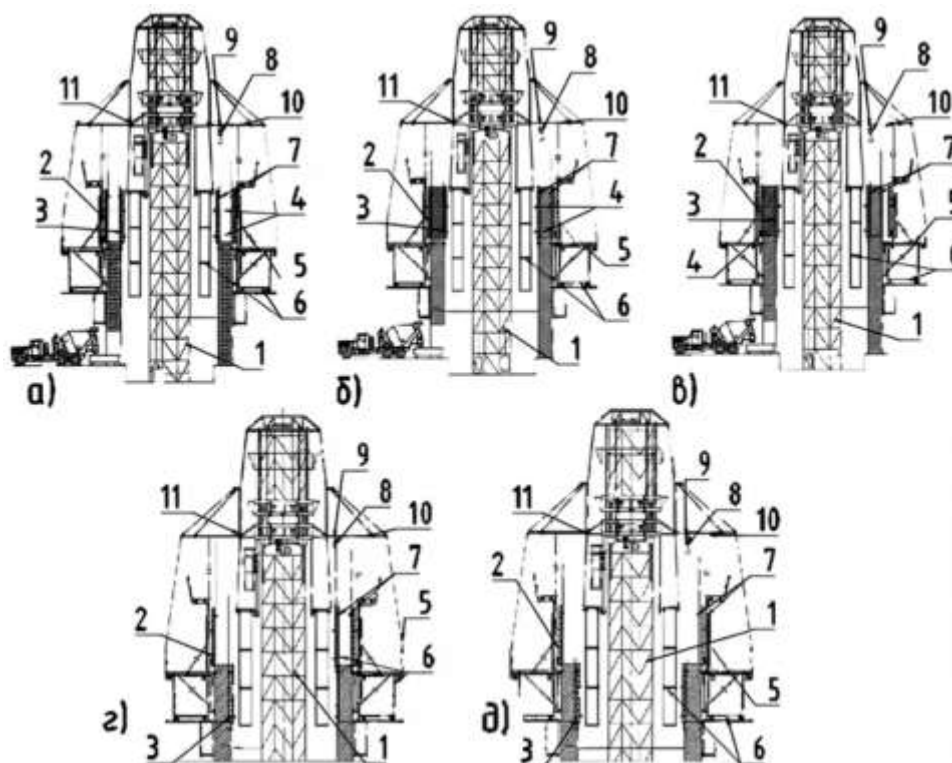
Рисунок 10. *Подъемно-переставное устройство для возведения стен и перекрытий (авторское свидетельство № 1629437 А1): (а) бетонирование плиты перекрытия и половины высоты стены; (б) установка блочной опалубки на вторую половину высота этажа; (в) перевод блочной опалубки на следующий этаж; (г) перевод опалубки для бетонирования плиты перекрытия на следующий этаж*

Способ строительства железобетонных высотных сооружений с малым внутренним диаметром и уклоном ствола, большой толщиной стенки, например, опорных башен и мачт (рис. 11), предложенный Б.М. Шевлягиным, предполагает возведение конструкций с использованием *подъемно-переставной опалубки и многоклеточного шахтного подъемника*¹¹, по которому доставляют арматуру и бетонную смесь. Наружные щиты отрывают от бетона и демонтируют стяжки, после чего совместно с настилом, подмостями и необходимым оборудованием поднимают последовательно по периметру сооружения. Внутренние щиты в это время подвешены на анкерах, поочередно перемещаются с помощью тали по кольцевому монорельсу, закрепленному на монтажной площадке подъемного устройства. Наружные и внутренние щиты скрепляются между собой с помощью расширяющихся компенсаторных полос, позволяющих изменять поперечное сечение возводимого сооружения.

¹⁰ Авторское свидетельство № 1629437 А1 СССР, МПК E04G 11/02, E04G 11/38. Подъемно-переставное устройство для возведения стен и перекрытий: № 4612618: заявл. 05.12.1988: опубл. 23.02.1991 / К. Тобокелов, Б. А. Керцер.

¹¹ Патент № 2658397 C2 Российская Федерация, МПК E04H 12/12, E04G 11/20. Способ строительства железобетонных высотных сооружений с малым внутренним диаметром, с малым уклоном ствола и большой толщиной стенки, например опорных башен и мачт: № 2016147686: заявл. 06.12.2016: опубл. 21.06.2018 / Б.М. Шевлягин.

К подъемному оборудованию крепится тепляк, защищающий от непогоды, позволяющий вести работы в условиях отрицательных температур. Достоинствами метода являются снижение трудоемкости, уменьшение ручного труда, сокращение сроков строительства, повышение качества работ и безопасности труда.



1 — шахтный подъемник; 2 — наружные щиты; 3 — внутренние щиты; 4 — стяжки; 5 — настил; 6 — подмости; 7 — анкеры; 8 — таль; 9 — кольцевой монорельс; 10 — монтажная площадка; 11 — подъемное устройство

Рисунок 11. Способ строительства железобетонных высотных сооружений с малым внутренним диаметром, с малым уклоном ствола и большой толщиной стенки, например опорных башен и мачт (патент № 2658397 С2): (а) положение опалубки перед бетонированием секции; (б) опалубка после укладки бетона; (в) отрыв наружного щита от бетона; г) положение опалубки после поднятия подъемным устройством; (д) перестановка внутреннего щита

Сравнительный анализ эффективности использования опалубочных систем

С целью выделения основных ключевых признаков опалубки для высотного строительства и систематизации существующих решений (табл. 1) проведен сравнительный анализ функциональных, технологических и конструктивных особенностей. Проведена качественная и количественная оценка эффективности опалубочных систем.

Таблица 1

Варианты опалубочных систем

Вариант	Тип опалубки	Авторы
1	<i>Скользкая опалубка</i>	
1.1	С инфракрасными излучателями	А.П. Свинцов, Ю.В. Николенко, В.В. Мешков, К.Е. Щесняк
1.2	Для прямоугольных стен	А.Г. Булгаков, Г.Г. Гудиков, В.Т. Загороднюк, А.И. Фабриков
1.3	Для конструкций переменного сечения	Д.Я. Паршин, О.Д. Паршин

Вариант	Тип опалубки	Авторы
2	Самоподъемная опалубка	
2.1	Самоподъемная сборочная единица строительных лесов с подъемным цилиндром	Артур Шверер
2.2	Рельсовая система, снабженная элементами удлинения подъемных рельсов	Артур Шверер
2.3	Направляющий башмак и подъемное устройство	Хайнц Хобмайер
2.4	Подъемная система с направляемыми рельсами	Артур Шверер
3	Подъемно-переставная опалубка	
3.1	Опалубка для возведения монолитных сооружений	А.Г. Черных
3.2	Подъемно-переставное устройство для возведения стен и перекрытий	К. Тобокелов, Б.А. Керцер
3.3	Подъемно-переставная опалубка с многоклеточным шахтным подъемником	Б.М. Шевлягин
3.4	Подъемно-переставная опалубка	Д.С. Аронов

Составлено авторами

Качественный анализ

Анализ проведен на основании следующих показателей: геометрия, возможность изменения формы возводимой конструкции, технические особенности, организационно-технологические особенности (табл. 2).

Таблица 2

Сводные результаты анализа

Сравниваемые показатели	Опалубочные системы											
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	3.4	
Геометрия, возможность изменения формы возводимой конструкции												
С круглым очертанием стен	+		+	+	+	+	+			+		
С прямоугольным очертанием стен	+	+		+	+	+	+	+	+		+	
Разнообразие планировок				+	+	+	+					
Технические особенности												
Сложность устройства		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Массивность конструкции		+	+				+	+	+	+		
Возможность обогрева бетона	+							+		+		
Изменение угла наклона опалубки			+				+			+		
Обеспечение высокой геометрической точности возводимой конструкции		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Возможность возведения многослойных стен								+				
Организационно-технологические особенности												
Высокая трудоемкость		+						+	+	+	+	
Высокий уровень механизации	+		+	+	+	+	+					
Потребность в кране								+				
Высокий уровень безопасности на участке строительства			+		+			+	+	+		
Высокий уровень квалификации рабочих	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	

Составлено авторами

Количественный анализ

Расчет показателей количественной оценки выполнен для наружных стен и ядра жесткости 58-этажного здания (рис. 9) на уровне 35 этажа (отм. +106,650 м) с использованием подъемно-переставной опалубки DOKA XClimb 60 и самоподъемной опалубки DOKA XClimb 60 с учетом ветрозащиты DOKA XClimb 60, а также скользящей опалубки для ядра жесткости согласно Руководству по конструкциям опалубок и производству опалубочных работ.¹²

¹² Руководство по конструкциям опалубок и производству опалубочных работ / ЦНИИОМТП Госстроя СССР. — М.: Стройиздат, 1983 — 501 с.

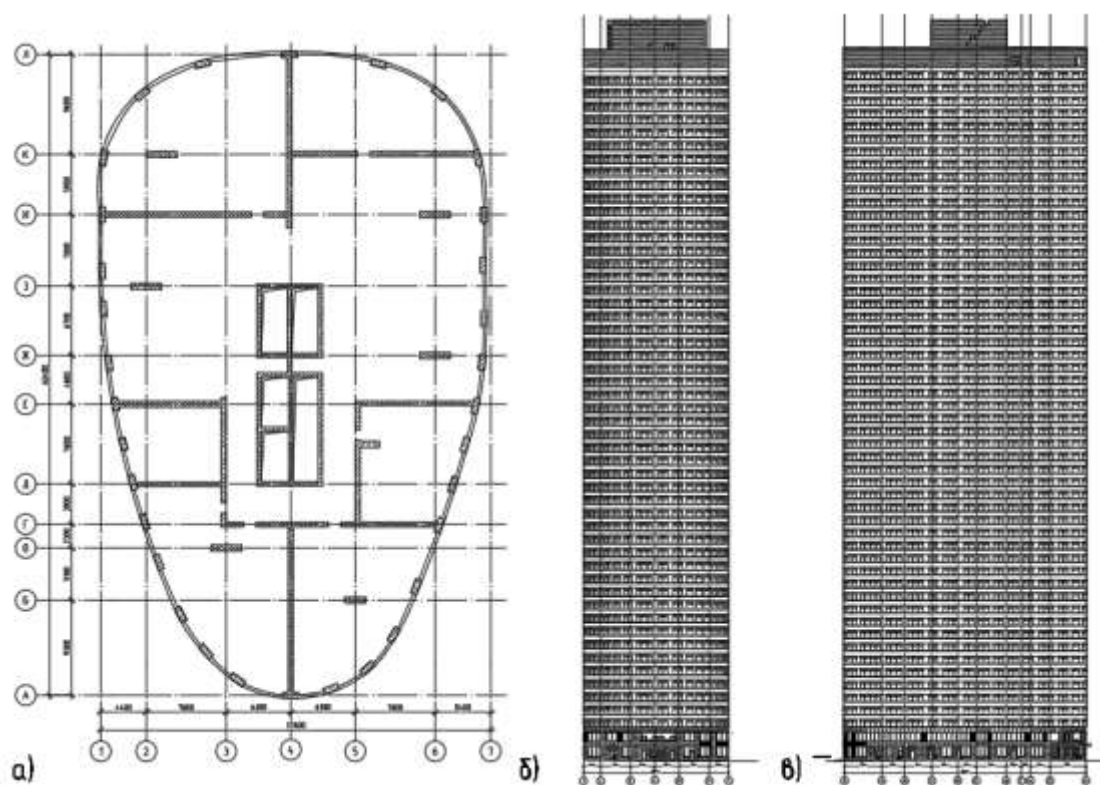


Рисунок 9. Конструктивная схема рассчитываемого здания: (а) план типового этажа; (б) фасад в осях 1–7; (в) фасад в осях Л-А (составлено авторами)

Поскольку скользящая опалубка применима для конструкций простой конфигурации с малым количеством проемов и закладных деталей [13], ее использование рассматривалось только для возведения ядра жесткости высотного здания.

С целью сокращения общей продолжительности работ, обеспечения безопасности и оптимизации взаимодействия производственных потоков была принята следующая организационная модель: ядро жесткости здания устраивается с опережением на 2–4 этажа, что позволяет распределить в пространстве рабочие потоки, раньше приступить к выполнению отделочных работ, обеспечить транспортировку материалов на высоту, использовать инвентарную опалубку в зонах со сложными конструктивными решениями [14]. При этом скорость возведения ядра жесткости строго ограничена скоростью возведения типового этажа [15]. Работы планировались в следующей последовательности: возведение «стартовых» конструкций первого яруса с использованием щитовой опалубки, установка скользящей опалубки для ядра жесткости и его возведение до уровня 3–4 этажей, обстройка вокруг ядра остальных конструкций этажей в крупнощитовой и подъемных опалубках. Дальнейшее наращивание конструкций ядра и догоняющая обстройка этажей следующих ярусов. По мере необходимости монтаж временного подъемника внутри ядра жесткости.

Для ядра жесткости и наружных стен на высоте предусмотрены защитные ограждения от ветра (ветрозащита DOKA Xclimb 60). Ветровая нагрузка принята $2,21 \text{ кН/м}^2$ (наибольшая).

Количественный анализ был проведен на основе таких показателей, как трудоемкость, затраты машинного времени, нормативная выработка 1-го рабочего в день, нормативная трудоёмкость возведения одного кубического метра конструкции, степень механизации (отношение затрат ручного труда к машинному времени) согласно ГЭСН.¹³

¹³ ГЭСН 81-02-06-2022 Бетонные и железобетонные конструкции монолитные.

При определении трудоемкости для скользящей опалубки были учтены такие работы, как подача опалубки для устройства вертикальных конструкций, монтаж и демонтаж опалубки, подача опалубки к месту складирования. Результаты представлены в таблицах 3–6.

Для наружных стен здания:

Таблица 3

Исходные данные для формирования показателей количественной оценки

Тип опалубки	Строительный объем стен типового этажа, м ³	Трудоемкость, чел.-дн.	Затраты машинного времени, маш.-смены
Самоподъемная	95,04	250,13	72,15
Подъемно-переставная		249,03	71,6

Составлено авторами

Таблица 4

Результатирующие показатели количественной оценки

Тип опалубки	Трудоемкость 1 м ³ конструкции, чел.-дн./м ³	Выработка одного рабочего за день, м ³ /чел.-дн.	Степень механизации, %
Самоподъемная	2,6318	0,3800	3,4668
Подъемно-переставная	2,6203	0,3816	3,4781

Составлено авторами

Для ядра здания:

Таблица 5

Исходные данные для формирования показателей количественной оценки

Тип опалубки	Строительный объем ядра типового этажа, м ³	Трудоемкость, чел.-дн.	Затраты машинного времени, маш.-смены
Самоподъемная	105,21	130,44	35,34
Подъемно-переставная		129,69	34,96
Скользкая		22,01	6,30

Составлено авторами

Таблица 6

Результатирующие показатели количественной оценки

Тип опалубки	Трудоемкость 1 м ³ конструкции, чел.-дн./ м ³	Выработка одного рабочего за день, м ³ / чел.-дн.	Степень механизации, %
Самоподъемная	1,2398	0,8066	3,6910
Подъемно-переставная	1,2327	0,8112	3,7097
Скользкая	0,2092	4,7801	3,4937

Составлено авторами

Выводы и заключение

Анализ количественных результатов демонстрирует высокую эффективность и технологичность применения скользящей опалубки при бетонировании ядра жесткости здания. Самоподъемная система чуть более трудоемка по сравнению с подъемно-переставной, однако позволяет обходиться без использования монтажного крана и обеспечивает высокий уровень безопасности при ведении работ. Поскольку подъемно-переставную опалубку эффективно использовать на высоте до 100 м, для возведения ядра жесткости высотных зданий рекомендуется выбирать самоподъемную или скользящую опалубку.

При возведении наружных несущих стен здания из монолитного железобетона самоподъемная и подъемно-переставная системы имеют примерно одинаковые показатели.

Согласно сводному результату анализа качественной оценки опалубочных систем наибольшее преимущество имеют самоподъемная опалубка, а также некоторые решения подъемно-переставных опалубок.

Перспективными направлениями развития технологий для возведения высотных зданий являются устройство конструкций в условиях отрицательных температур, уменьшение материалоемкости и трудоемкости, повышение качества и точности возводимых элементов, создание разнообразия геометрических форм, возможность изменения угла наклона опалубки, повышение безопасности на строительной площадке, а также ускорение процессов и повышение степени механизации работ.

Результаты анализа показывают, что скользящая опалубка является эффективным, но очень узким и специализированным решением для возведения монолитных железобетонных конструкций, поэтому не всегда может быть применима. Подъемно-переставная опалубка отстает от аналогов в связи с необходимостью в работе крана, низким уровнем механизации и высокой трудоемкостью. Наиболее применима и эффективна для высотных зданий самоподъемная опалубка, сочетающая в себе положительные стороны двух других типов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамян С.Г. Развитие монолитного строительства и современные опалубочные системы / С.Г. Абрамян, А.М. Ахмедов, В.С. Халилов, Д.А. Уманцев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. — 2014. — № 36(55). — С. 231–239. — EDN SEMKOB.
2. Афанасьев А.А. Технологические особенности возведения высотных зданий / А.А. Афанасьев, Е.А. Король, П.Б. Каган, С.В. Комиссаров, А.В. Зуева // Вестник МГСУ. — 2011. — № 6. — С. 369–373. EDN: ОВФСНР.
3. Гурлебаус Е.Е. Эффективные опалубочные системы при строительстве высотных зданий / Е.Е. Гурлебаус // Актуальные вопросы науки и практики: Сборник научных статей по материалам XIII Международной научно-практической конференции, Уфа, 08 декабря 2023 года. — Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2023. — С. 149–154. — EDN RAWRBV.
4. Жорник М.А. Высокоскоростное строительство высотных зданий / М.А. Жорник, О.С. Гамаюнова // Высокие технологии в строительном комплексе. — 2021. — № 1. — С. 115–123. — EDN YZHSBT.
5. Khaled M. Heiza. Value methodology of vertical slip form construction system in high rise buildings/ Khaled M. Heiza, Nagwan E. Abo El enen, Ibrahim M. Mahdi // The International Conference on Civil and Architecture Engineering. — 2016. 11. 1–19. DOI: 10.21608/iccae.2016.43437.
6. Пономарева Ю.А. Разновидности опалубочных систем для каркасно-монолитного строительства / Ю.А. Пономарева, В.М. Ляхов, Т.Н. Жильникова // ИВД.2021. № 3(75), 2021, с. 1–9. — EDN EDNGIG.
7. Таран В.В. Пути сокращения продолжительности возведения каркасно-монолитных зданий / В.В. Таран, Д.В. Алейник, А.Р. Шамрилюк // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. — 2021. — № 6(152). — С. 39–44. — EDN VBIPAY.

8. Погодин Д.А. Совершенствование современных технологий и возведение многоэтажных жилых зданий за счет оптимизации опалубочных работ / Д.А. Погодин, Н.Н. Спиридонов, А.А. Халидов // Транспортные сооружения. — 2019. — Т. 6, № 2. — С. 7. — DOI 10.15862/07SATS219. — EDN JNCBLT.
9. Крупенин Ф.Р. Анализ конструкций и параметров самоподъемных платформ и перспективы развития / Ф.Р. Крупенин, Е.В. Куракина // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. — 2024. — Т. 21, № 3(97). — С. 376–387. — DOI 10.26518/2071-7296-2024-21-3-376-387. — EDN PGRDGO.
10. Таран В.В. Выбор опалубочной системы при возведении высотных сооружений / В.В. Таран // Безопасность строительного фонда России проблемы и решения: материалы Международных академических чтений, Курск, 15 ноября 2019 года. — Курск: Курский государственный университет, 2019. — С. 39–45. — EDN YKIVVL.
11. Савенко А.А. Применение универсальной системы гидравлической самоподъемной опалубки при возведении сложных монолитных конструкций / А.А. Савенко, А.Ю. Яицкова, В.А. Комнатный // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". — 2020. — № 8. — С. 336–341. — EDN XEKKYA.
12. Иванов Г.С. Применение подъемно-переставной опалубки для строительства многоэтажных жилых зданий / Г.С. Иванов // Структурные преобразования экономики территорий: в поиске социального и экономического равновесия: Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, Уфа, 24 декабря 2019 года. Том Часть 1. — Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2019. — С. 93–100. — EDN FENSOM.
13. Соргутов, И.В. Технология применение скользящей опалубки при возведении монолитных железобетонных зданий / И.В. Соргутов // Системные технологии. — 2021. — № 3(40). — С. 36–42. — EDN XCFTRV.
14. Krupenin, F.R. Factors influencing the use of self-lifting formwork in the field of high-rise construction / F.R. Krupenin // AlfaBuild. — 2023. — No. 3(28). — P. 2801. — DOI 10.57728/ALF.28.1. — EDN CMZTAC.
15. Хряпченкова, И.Н. Сравнение автоматизированных опалубочных систем, применяемых для возведения ядер жесткости высотных зданий / И.Н. Хряпченкова, Д.С. Зотов // StudNet. — 2021. — Т. 4, № 6. — EDN IESLUD.

Krasnoperova Sofia Sergeevna

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

E-mail: krasnoperova_0505@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3654-550X>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1335846

Pugach Evgeniy Mihailovich

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

E-mail: tsp-tvz@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2832-1941>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=416367

Analysis of the effectiveness of the use of formwork systems for the construction of a monolithic reinforced concrete frame of a high-rise building

Abstract. The article discusses the methods of constructing monolithic reinforced concrete structures of high-rise buildings using sliding, lifting, self-lifting forms. Technical and constructive solutions are presented, methods of movement, distinctive features and factors influencing the choice of the formwork system are determined. Based on the existing engineering solutions, the features, advantages and disadvantages, directions of development and improvement of formwork systems are highlighted. A comparative analysis was carried out based on the definition of characteristics and comparison of structures. A qualitative assessment of the formwork systems was carried out according to such integrated indicators as geometry, the possibility of changing the shape of the structure being erected, technical and organizational and technological features. Using the example of the external walls and the core of rigidity of a typical floor of a high-rise building, quantitative values of labor costs, machine time, degree of mechanization, and the output of one worker per day are determined. Sliding formwork was considered only for the construction of the building's core of rigidity, which is due to the difficulty in installing doorways in the construction of exterior walls. The results of the analysis showed that the use of sliding formwork is an effective, but very narrow and specialized solution due to a significant reduction in labor intensity. Self-lifting and lifting-and-adjusting systems have broader possibilities for creating complex geometric shapes, however, due to the low level of mechanization and high labor intensity, the need to use a crane and its possible downtime due to bad weather and fog when working at height, lifting-and-adjusting formwork lags behind analogues. Self-lifting formwork is most applicable and effective for high-rise buildings. When choosing a formwork, you should pay attention to the performance indicators of the system, factors that are significant within a particular facility.

Keywords: high-rise building; monolithic reinforced concrete; reinforced concrete frame; sliding formwork; self-lifting formwork; lifting and adjusting formwork; construction of monolithic reinforced concrete structures of high-rise buildings