

Технология и организация строительства Technology and organization of construction

Научная статья
УДК 69.059
DOI: 10.14529/build230105

СПОСОБ СОВМЕЩЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПОСРЕДСТВОМ ОПУСКАЮЩЕГОСЯ БЕТОНА

Т.М. Хафизов, *khafizovtm@susu.ru*
А.Х. Байбурун, *baiburinak@susu.ru*
С.Е. Денисов, *denisovse@susu.ru*
А.Д. Овчинников, *ovchinnikovad@susu.ru*
Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Объект исследования – технология совмещенного строительства зданий и сооружений с подземной и надземной частью посредством опускающегося бетона. Решена задача исследования технологических параметров способа опускающегося бетона в данной области. Технологический процесс показан в комплексе при возведении подземной и надземной части на примере плит перекрытия. Определенные узлы, приспособления, механизмы функционально обозначены по-новому, что значительно расширяет возможности процесса. С помощью нового способа внутреннее ядро жесткости и наружные стены здания бетонизируются по захваткам на проектных отметках с высокой скоростью изготовления. Здание собирается из элементов сборного железобетона, которые изготавливаются на месте из композитной бетонной смеси с учетом внутренних и внешних факторов воздействия во время формирования. Статья частично затрагивает аспекты прогнозирования комплексной и объектовой роботизации как направлений ближайшего будущего.

Ключевые слова: строительство, здания и сооружения, технология совмещенного строительства, способ опускающегося бетона, монолитный бетон

Для цитирования. Способ совмещенного строительства зданий и сооружений посредством опускающегося бетона / Т.М. Хафизов, А.Х. Байбурун, С.Е. Денисов, А.Д. Овчинников // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2023. Т. 23, № 1. С. 37–47. DOI: 10.14529/build230105

Original article
DOI: 10.14529/build230105

A METHOD OF COMBINED CONSTRUCTION OF UNDERGROUND AND ABOVEGROUND STRUCTURES BY MEANS OF DESCENDING CONCRETE

T.M. Khafizov, *khafizovtm@susu.ru*
A.Kh. Baiburin, *baiburinak@susu.ru*
S.E. Denisov, *denisovse@susu.ru*
A.D. Ovchinnikov, *ovchinnikovad@susu.ru*
South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. The object of research is the combined construction of structures with underground and aboveground parts by means of descending concrete. The technological parameters of the method in this area has been solved. The technological process is shown during the construction of the underground and aboveground parts using the example of floor slabs. Certain nodes, devices, and mechanisms are functionally designed in a new way which significantly expands the possibilities of the process. With the help of the new method, the inner core of rigidity and the outer walls of the structure are concreted according to grippers at design marks with a high rate of manufacture. The structure is assembled from precast concrete elements, which are made on-site from a composite concrete mixture,

taking into account internal and external factors during molding. The article also touches upon the forecasting of complex and object robotics as directions of future research.

Keywords: construction, structure frame, technology of combined construction, method of descending concrete, mono-cast concrete

For citation. Khafizov T.M., Baiburin A.Kh., Denisov S.E., Ovchinnikov A.D. A method of combined construction of underground and aboveground structures by means of descending concrete. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2023;23(1):37–47. (in Russ.). DOI: 10.14529/build230105

Введение

В рамках нового технологического уклада развиваются малолюдные или безлюдные технологии строительства [1]. Все большее развитие получают процессы автоматизации и роботизации способов и методов выполнения строительных работ. Программный или искусственный интеллект по техническому заданию человека разрабатывает эскиз, проектно-сметную документацию, технологические схемы организации строительства и общую программу работы, а роботизированные мобильные комплексы выполняют определенные виды работ [2–4].

Однако большинство традиционных технологий, рассмотренных далее, слабо адаптированы к инновациям, создающим безлюдный строительный процесс. Поэтому создание способов строительства, подходящих под автоматизированный либо роботизированный процесс, представляется актуальной практической и теоретической задачей.

Строительство жилых домов из объемных блок-комнат

Суть метода заключается в сборке зданий из изготовленных на заводе железобетонных изделий – готового объемного элемента (обычно в размер комнаты) [5, 6]. Блок-комната доставляется трейлерами на строительную площадку и прямо с колес устанавливается на проектное место в здании [6]. Данный способ технологически и экономически эффективен, но имеет недостатки: нужны капитальные вложения около 0,6–1,0 млрд руб. на модернизацию производства, по мере расширения объемов строительства увеличиваются транспортные затраты [7].

Метод скользящей опалубки

По внешним и внутренним основным стенам устанавливаются щиты опалубки, соединенные домкратными рамами, к которым крепятся электрические или гидравлические домкраты, работающие на подъем. Внутри опалубочных щитов производится армирование и укладывается бетонная смесь [8, 9]. Включаются домкраты, поднимая вверх с определенной скоростью опалубочную систему. Таким образом формируются вертикальные стены и колонны, создавая каркас сооружения. Метод эффективен для сооружений с малым периметром или диаметром и с уменьшенным количеством проемов малого размера, таких как баш-

ни, силосы, трубы, опоры путепроводов. Метод не доработан в части обеспечения качества, что сказывается на количестве внутренних и внешних дефектов монолитного бетона [9].

Монтаж зданий методом подъема этажей и перекрытий

Сущность метода заключается в том, что тяжелые и крупногабаритные конструкции массой до нескольких тысяч тонн при площади до тысячи квадратных метров монтируют и укрупняют на уровне земли [10, 11]. Затем поднимают по вертикальным опорным конструкциям с помощью подъемного оборудования, установленного на них. В качестве опорных конструкций используют несущие элементы самого возводимого сооружения либо инвентарные монтажные элементы, которые демонтируют после возведения сооружения.

Практика строительства показывает, что метод подъема этажей эффективен при возведении зданий высотой до 20 этажей, а подъема перекрытий – до 30 этажей [11]. Достоинства метода: возможность возводить объекты без больших капитальных вложений. Метод удобен в стесненных условиях, при строительстве новых объектов на застроенных территориях. Недостатки метода заключаются в его сложности и необходимости синхронной работы дорогостоящего подъемного оборудования [12].

Метод Top-Down

Использование метода предусматривает порусное возведение конструкций сверху вниз. Принцип технологии «сверху вниз» состоит в возведении ограждения котлована, как правило, из буросекущихся свай или методом «стены в грунте» с поверхности земли и поуровневым бетонированием перекрытий [13].

Достоинства метода: позволяет возводить здания в условиях плотной застройки, не оказывая значительного влияния на соседние здания и сооружения; возможно одновременное возведение подземной и надземной частей здания. Недостатки метода: при глубине более 25 м доставка оснастки в большом количестве затрудняет работу и уменьшает рабочее пространство.

Описание способа опускающегося бетона

Последовательность процессов нового способа: подготовка строительной площадки; разбивка свайного поля; ограждение котлована, в том числе

с помощью промежуточных инвентарных свай-колонн, служащих временными опорами будущих конструкций верхнего строения; установка и монтаж инвентарной оснастки; возведение железобетонного каркаса; демонтаж инвентарной оснастки.

На подготовительном этапе строительства производится разбивка рабочих осей, выноска отметок для бурения скважин. Затем в основании бурятся скважины с применением обсадных труб на глубину 31 м, производится устройство свай для сдерживания грунта, которые состоят из 3 типов свай: 1 – буронабивные сваи длиной 31 м; 2 – совмещенные сваи (буронабивная свая длиной 15 м, инвентарная свая оснастки длиной 15 м); 3 – инвентарные сваи оснастки 15 м (рис. 1).

На оголовки устроенных свай согласно расчету крепятся инвентарные затяжки длиной 5 и 18 м.

Затяжка длиной 18 м рассчитана на восприятие растяжения 4500 кН. Затяжка длиной 5 м согласно расчету воспринимает нагрузку на растяжение 1500 кН. На установленные затяжки для их защиты укладываются коврики и производится их засыпка несжимаемым грунтом.

Следующий этап – монтаж надземных инвентарных колонн оснастки с установкой горизонтальных инвентарных связей для обеспечения пространственной жесткости колонн. На уровне земли производится сборка рабочей монтажной площадки с подъемным оборудованием. Монтажная площадка служит для размещения гидродомкратов, используемых в дальнейшем для опускания горизонтальной палубы при бетонировании стен, и полиспастов – для опускания и подъема плит перекрытий (рис. 2).

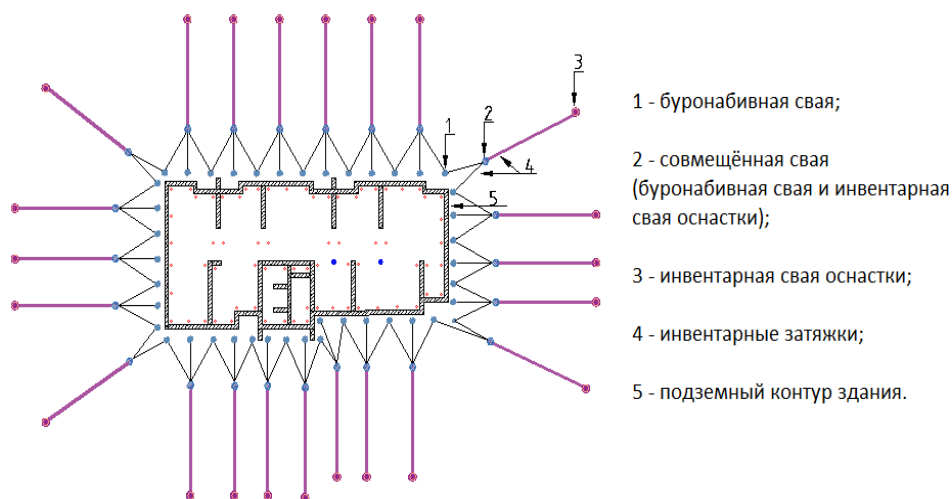


Рис. 1. Схема устройства свай-затяжек для устойчивости грунта

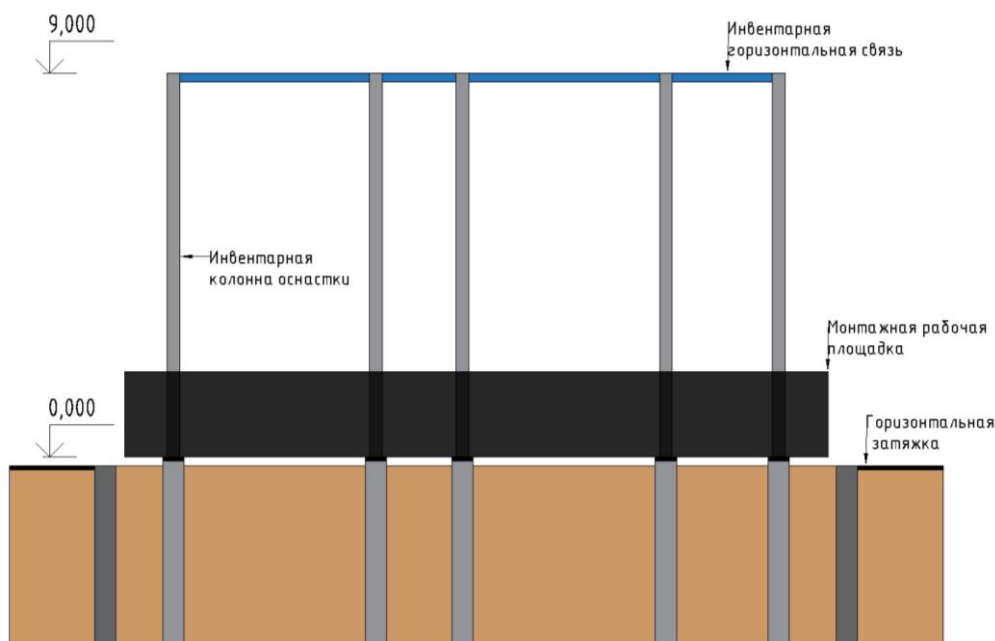


Рис. 2. Установка инвентарных колонн оснастки и монтажной площадки на отм. 0,000

Важно, чтобы закрепление самоподъемного механизма осуществлялось на вертикальные подготовленные поверхности наземных инвентарных колонн. Это обеспечивает возможность дальнейшего перемещения рабочей площадки в вертикальном направлении.

Собранная монтажная площадка с помощью самоподъемных механизмов поднимается на отметку +6,000 по нижней кромке вертикальных опалубочных щитов. По мере самоподъема монтажной площадки под площадкой устанавливаются инвентарные связи для обеспечения устойчивости инвентарных колонн. Далее начинается возведение монолитных железобетонных стен (внутренних и наружных) из бетонной композитной смеси методом «опускаемого бетона». После набора заданной прочности первого слоя в пределах 0,05–0,1 МПа горизонтальная палуба опускается и начинается укладка следующего слоя. Монолитная железобетонная стена по мере изготовления слоями опускается с отметки +6,000 на отметку 0,000.

Стены, находящиеся на отметке 0,000, образуют по периметру замкнутый тепловой контур, работающий совместно с горизонтальной монтажной площадкой (рис. 3). В тепловом контуре на подготовленной поверхности производится бетонирование пяти монолитных плит перекрытия сверху вниз: 15ппв, 14ппв, 13ппв, 4ппн, 5ппн (ппв – плита перекрытия верхняя, ппн – плита перекрытия нижняя). В качестве подготовленной поверхности используется поверхность грунта, на которую уложена фанера и изоляционная пленка.

После набора заданной прочности бетона плит перекрытия под ними осуществляется поэтапная выемка грунта подземной части на глубину до 5 м. Для устойчивости грунта стен котлована на стенки буронабивных свай с металлической

обделкой крепится система из гидроизоляционной пленки, металлической сетки, инвентарных вертикальных и горизонтальных ребер жесткости.

По мере выемки грунта устанавливаются инвентарные связи для обеспечения устойчивости колонн, а также производится изготовление и опускание внутренних и наружных монолитных железобетонных стен методом опускаемого бетона.

Далее вышеописанным методом производят бетонирование наружных, внутренних стен и стен ядра жесткости с отм. –5,000 до отм. –10,000 (ведем для этой части стен обозначение «Захватка 2»). Изготовленные конструкции стен временно закрепляются на трубобетонных сваях-колоннах для выемки грунта следующей захватки. Аналогичным образом выполняется устройство остальных подземных этажей («Захватка 3», «Захватка 4», «Захватка 5»).

Одновременно с устройством подземных этажей выполняется надземная «Захватка 6». После устройства «Захватки 6», с отм. –26,000 бетонировать монолитную фундаментную плиту на отм. –25,000, жестко закрепляя в ней наружные и внутренние стены, образующие замкнутый монолитный контур (рис. 4).

Для устройства и продолжения возведения надземной части наращиваются инвентарные колонны оснастки с отм. +9,000 до отм. +15,000. Оголовки колонн временно закрепляются горизонтальными связями. Производится самоподъем монтажной площадки до отм. +15,000. Отметим, что при изготовлении «Захватка 6» верхняя часть высотой 50 см временно отделена изоляционной формовочной прослойкой. Во время подъема монтажной площадки с опалубкой верхняя часть отделяется от захватки и перемещается вверх вместе с опалубкой на требуемую отметку. Данная верх-

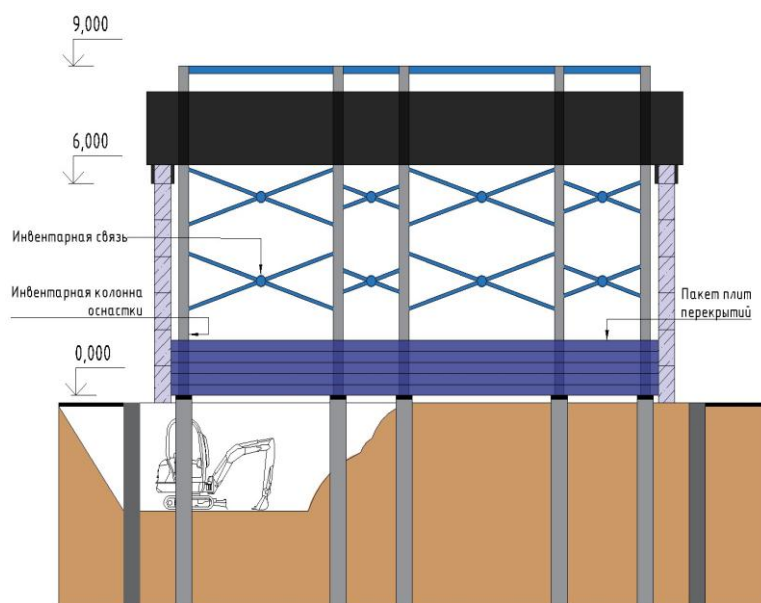


Рис. 3. Подъем монтажной площадки, установка инвентарных связей и выемка грунта

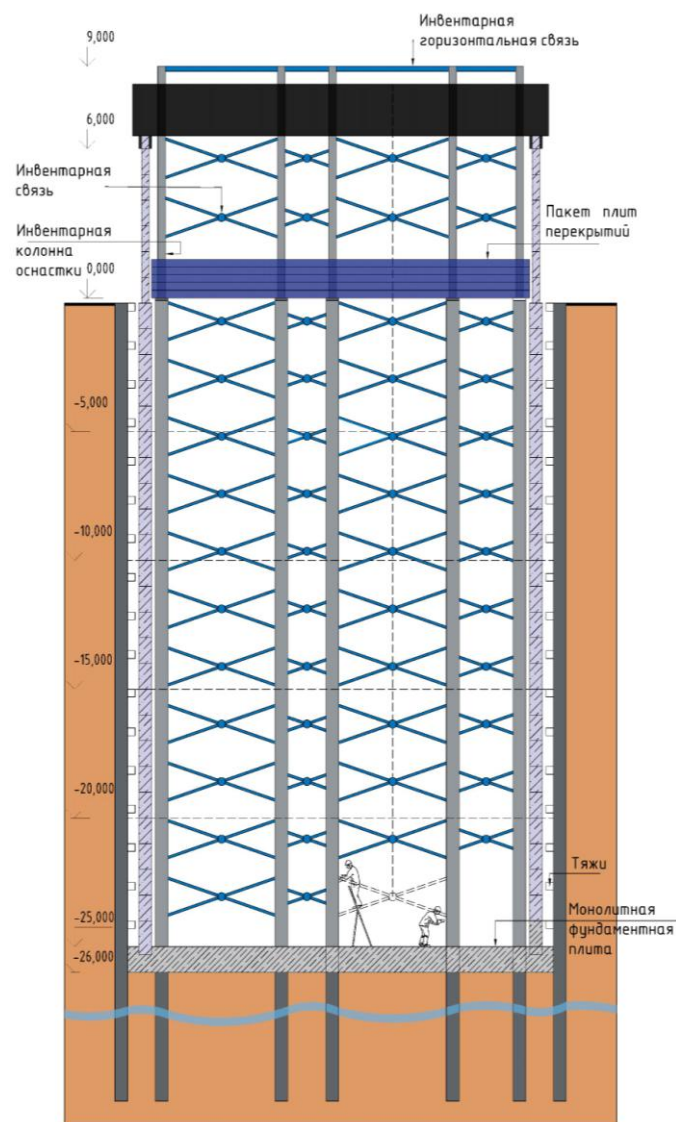


Рис. 4. Возведение несущего каркаса подземной части

няя часть будет выполнять роль горизонтальной опалубки для «Захватки 7» и после её изготовления опустится на свое место на «Захватку 6». Верхние части наземных захваток служат горизонтальными опалубками для выше изготавливаемых захваток.

В процессе самоподъема монтажной площадки устанавливаются временные инвентарные монтажные связи, служащие для обеспечения устойчивости колонн. После бетонирования внутренние и наружные стены методом опускаемого на проектную отметку бетона. В качестве грузоподъемного оборудования при наращивании колонн используется башенный кран. Параллельно выполняются работы по установке инвентарных горизонтальных связей. Возведение стен с 7-й по 13-ю захватку ведется аналогично (рис. 5).

Предпоследним этапом совмещенного устройства подземной и надземной части является подъем и опускание плит перекрытия. Для одно-

временного поднятия трех плит вверх и опускания одной вниз применяются полиспастовые устройства. Движущей силой подъема является сила тяжести плиты, опускаемой вниз, то есть используется метод противовеса (рис. 6).

Плиты, изготовленные и набравшие необходимую прочность еще до начала выемки грунта, на данный момент располагаются на отметке 0,000 в последовательности 5ппн, 4 ппн, 13ппв, 14ппв, 15ппв (снизу вверх). Все плиты временно закреплены на колоннах.

Производятся одновременное опускание плиты 5ппн на отм. -26,000 и подъем плит 15ппв, 14ппв и 13ппв на отм. +45,000, +42,000 и +39,000 соответственно. На проектных отметках выполняется постоянное крепление узла «плита-стена». По завершении операции плита 4ппн опускается до отм. 0,000.

Далее бетонировать плиты 3ппн, 10ппв, 11ппв, 12ппв (снизу-вверх). В качестве основания используется плита 4ппн. Для разграничения плит и пре-

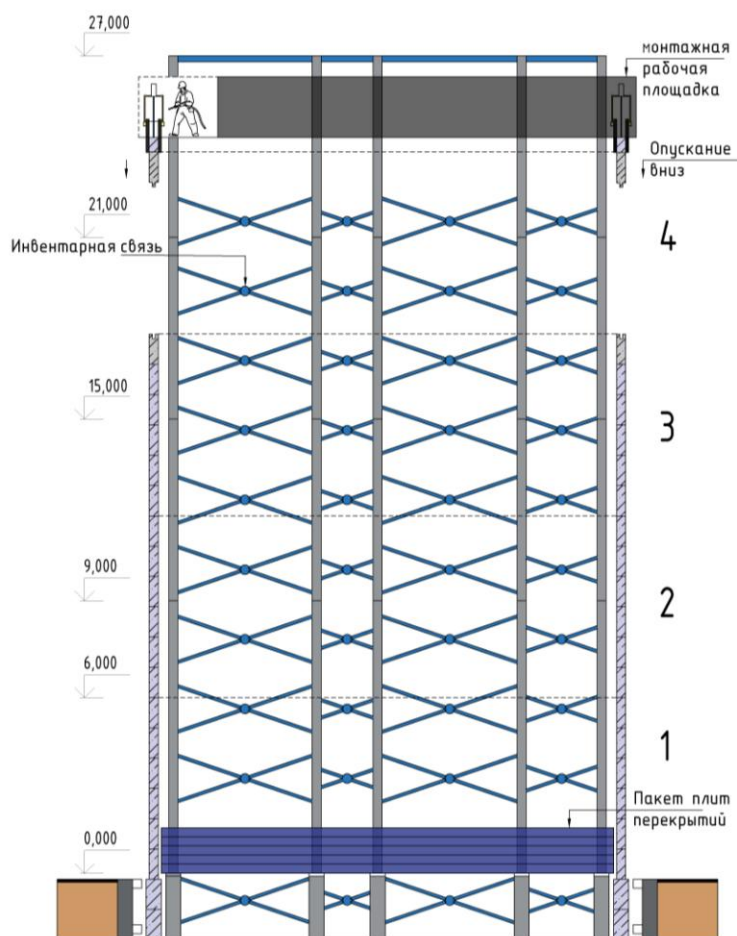


Рис. 5. Возведение надземной части каркаса

дотвращения адгезии используется изоляционная пленка и набрызг эмульсии [14]. Бетон конструкций выдерживается до заданной прочности, после чего выполняется одновременный подъем плит 12ппв, 11ппв и 10ппв до отм. +36,000, +33,000 и +30,000 соответственно, опускание плиты 4ппн до отм. – 20,000. На проектных отметках выполняется постоянное закрепление плит к стенам. По завершении операции плита 3ппн опускается до отм. 0,000.

Дальнейшее бетонирование конструкций плит перекрытий и размещение их в проектных положениях производится по аналогии с вышеописанными процессами. Приводится последовательный список пакетов плит перекрытий для подъема и опускания: 9ппв, 8ппв, 7ппв, 3ппн; 6ппв, 5ппв, 4ппв, 2ппн; 3ппв, 2ппв, 1ппв, 1ппн; 0пп [15].

Завершающий этап строительства – это демонтаж инвентарных наземных колонн, подземных инвентарных свай-колонн оснастки, ранее служивших опорами для возведения каркаса, опускания и подъема плит перекрытий.

Проанализируем и сравним известные методы строительства с новым способом. В табл. 1 приведено сравнение нового способа с методом подъема этажей и перекрытий. Выявлены значительные

недостатки применения метода подъема этажей в надземном строительстве в связи с недостаточной проработкой и приостановкой применения данного метода.

В табл. 2 приведено сравнение способа опускающегося бетона с методом опускного колодца в тиксотропной рубашке.

В результате сведений сравнения выявлен перечень недостатков при эксплуатации метода опускного колодца, характеристика недостатков обусловлена большой трудоемкостью и продолжительностью возведения зданий методом опускного колодца.

В табл. 3 приведено сравнение нового способа с методом возведения в скользящей опалубке.

В табл. 4 приведено сравнение способа опускающегося бетона с методом возведения Top-Down.

Сравнительный анализ рассматриваемого способа и метода Top-Down показывает преимущество способа опускающегося бетона в отношении снижения трудозатрат. У метода Top-Down с глубины 25 м значительно повышаются трудозатраты и появляются нежелательные эффекты.

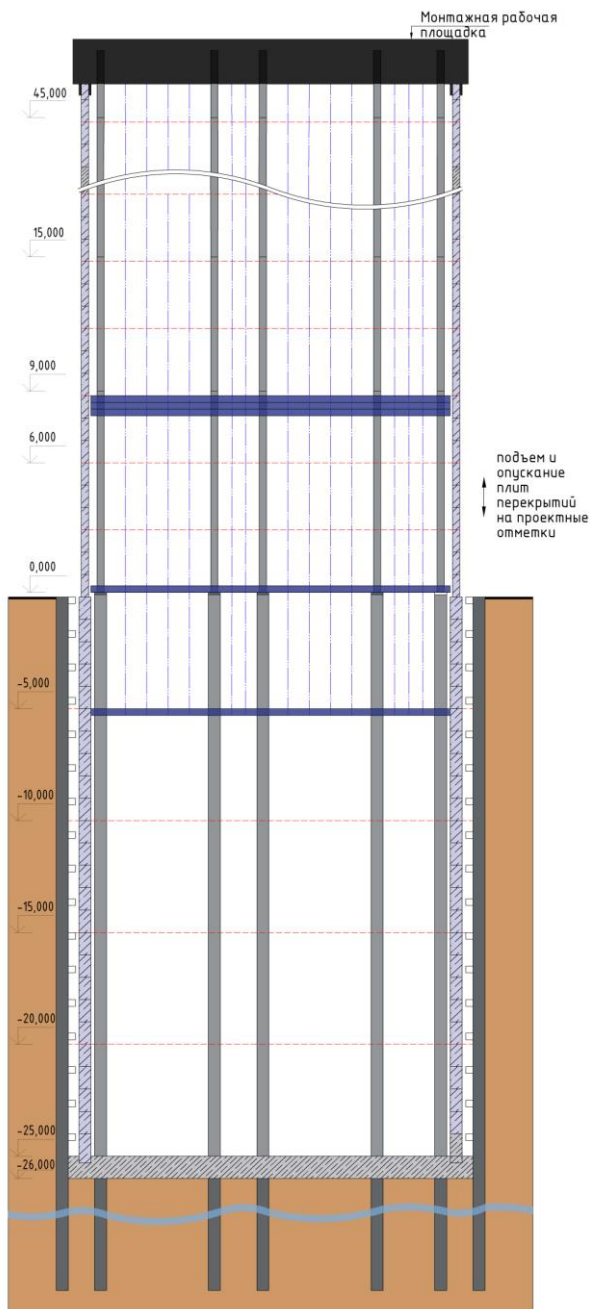


Рис. 6. Опускание-подъем плит перекрытий по принципу противовеса

Сравнение метода подъема этажей и способа опускающегося бетона

Таблица 1

Метод подъема этажей и перекрытий	Способ опускающегося бетона
Метод применяется для наземных сооружений	Способ применяется не только для наземных, но и для подземных сооружений
В данное время не применяется, уникален, стоимость квадратного метра в настоящее время не определена	Более универсален для применения, оснастка повторного применения, низкая расчетная стоимость квадратного метра
Подъемное оборудование специальное, для многократного применения	Оборудование для подъема и опускания применяется специальное, для многократного использования (полиспасты, электрические и гидравлические домкраты)
Плиты поднимаются с большим усилием	Плиты поднимаются и опускаются с помощью метода противовеса плит

Метод подъема этажей и перекрытий	Способ опускающегося бетона
Этажи поднимаются с земли на проектную отметку	Стены изготавливаются и опускаются с нулевой отметки в подземную часть либо с проектной отметки верха захватки до проектной отметки низа захватки
По мере увеличения высоты сооружения процесс усложняется из-за перестановки перекрытий либо этажей	По мере увеличения высоты сооружения происходит процесс наращивания стен этажей. Сооружение более устойчивое в процессе строительства
Этажи устанавливаются сверху вниз	Стены этажей возводятся по захваткам снизу вверх
Плиты устанавливаются на проектную отметку с промежуточными остановками до подъема и монтажа этажей	Плиты устанавливаются на проектную отметку без остановок после завершения этапа бетонирования наружных и внутренних стен
Работы ведутся в открытом контуре	Работы ведутся в закрытом контуре, что позволяет работать в сложных погодных условиях
Применяемый материал: монолитный железобетон и сборный железобетон заводского изготовления	Необходим только композитный монолитный железобетон и инвентарная оснастка
Недоработан, единичные варианты применения (1959 г. Ленинград; 1961–1967 гг. Армянская ССР; 1973–1976 гг. Москва)	Нет опытного применения. По предварительным расчетам экономически и технологически эффективен. Стоимость квадратного метра прогнозируется ниже в секторе монолитного строительства

Таблица 2

Сравнение метода опускного колодца и способа опускающегося бетона

Метод опускного колодца	Способ опускающегося бетона
Для диаметров до 25 м (сложность возведения из-за перекосов)	Для диаметров до 100 м
Для глубины не более 25 метров, глубже – экономически затратно	Для глубины не более 100 м
Необходима тиксотропная рубашка	Использование инвентарных свай с затяжками
Стены сразу воспринимают нагрузку от грунта, что увеличивает толщину стен	Стены во время опускания не воспринимают нагрузку от грунта, нагрузка воспринимается после установки горизонтальных ребер жесткости (плит перекрытий)
Технология опускания колодца является механизированной	Технология является автоматизированной, а в дальнейшем – роботизированной
Скорость опускания зависит от времени бетонирования стен (прочность бетона 75–100 %) и использования тиксотропной рубашки	Скорость опускания зависит от времени выемки внутреннего грунта
Технология эффективна при большой водонасыщенности грунтов	Эффективна в любых условиях, кроме плавунцов (водонасыщенных грунтов)
Экономически более затратно и технологически менее эффективно	Экономически менее затратно и технологически более эффективно (перспективная технология)

Описанные преимущества метода обуславливают возможные области применения новой технологии:

- подземные хранилища для отходов (госкорпорация «Росатом»);
- объекты противокосмической защиты (Министерство обороны);
- жилые и служебные помещения при экстремальных условиях (Роскосмос);
- заглубленные гражданские здания и сооружения: многоэтажные парковки; многофункциональные центры, транспортные узлы и т. д. [16].

Заключение

Представленная технология строительства зданий и сооружений показывает направление развития технологии подземного и совмещенного строительства «вверх и вниз» [15–17]. Новый способ позволяет возводить подземные сооружения в сложных инже-

нерно-геологических условиях [18–20], объекты многоярусного типа и большой площади в стесненных городских условиях [21–24], а также спецсооружения типа подземных АЭС [25, 26].

Прогнозируемый способ строительства решает проблему возведения зданий и сооружений в холодных или экстремальных условиях, так как процесс ведется в закрытом тепловом контуре. Это позволяет сокращать сроки строительства, применяя методы интенсивного набора прочности бетонной композитной смеси. Предложенная технология востребована для строительства в крупных мегаполисах, в освоении подземного и наземного пространства в стесненных условиях в быстрые сроки с минимальными нарушениями инфраструктуры города.

Экономическая эффективность данного способа обусловлена тем, что практически все строительные изделия производятся на площадке во время технологического процесса, что снижает

Таблица 3

Сравнение метода скользящей опалубки и способа опускающегося бетона

Метод скользящей опалубки	Способ опускающегося бетона
Вертикальные палубы поднимаются вверх со скоростью 0,1–0,5 см/мин	Горизонтальная палуба опускается вниз со скоростью 0,5–1,0 см/мин
Вертикальные стержни работают на сжатие, что требует увеличенного диаметра (по устойчивости) и проемов узкой формы	Вертикальные стержни работают на растяжение, поэтому возможны меньшие диаметры и проемы любой формы
В процессе движения вертикальной опалубки присутствует сцепление (адгезия, когезия, усадка) и удельное трение	В процессе движения бетона отсутствует сцепление с неподвижной опалубкой, присутствует только удельное трение
В процессе бетонирования вертикальные палубы нуждаются в постоянной очистке от налипшего бетона	Вертикальные палубы не нуждаются в очистке
Из-за особенностей технологии и конструкции палубы возникают многочисленные дефекты: срывы, задиры, сколы, шероховатости	Между бетоном и опалубкой находится пленка, поэтому дефекты бетонных поверхностей будут исключены
Уровень укладки бетона меняется через каждые 20–30 см	Горизонт укладки бетона находится на одном уровне или меняется через 6 или 12 м
Применяется только для надземных сооружений с малым диаметром: дымовые трубы, элеваторы, силосы, башни, опоры. При более сложных объектах с устройством перекрытий технология становится более трудоемкой и менее эффективной	Применяется для подземных и надземных сооружений любой сложности. При увеличении скорости бетонирования, снижении дефектности, уменьшении количества операций процесс является менее трудоемким и более экономически и технологически эффективным

Таблица 4

Сравнение метода Top-Down и способа опускающегося бетона

Метод Top-Down	Способ опускающегося бетона
Оснастка постоянно перемещается. Оболочку и плиты перекрытий изготавливают по месту	Оболочку и плиты перекрытия изготавливают на поверхности и автоматически опускают вниз
Плита находится на материнском грунте, выемка грунта начинается с нуля	Выемка грунта в постоянно открытом пространстве глубиной 3–6 м
Доставка оснастки и материалов в большом количестве уменьшает рабочее пространство и затрудняет работу при глубине более 25 м	Возможная глубина сооружения до 100 м, процесс непрерывный, часть недостатков метода Top-Down сохраняется
Процесс сложно автоматизировать и тем более роботизировать	Автоматизированный процесс может быть роботизирован и выполняться меньшим количеством рабочих

транспортные издержки и зависимость от заводского производства. При сравнении новой технологии с известными аналогами выявлен ряд

существенных преимуществ как по превышению основных параметров сооружения, так и по показателям эффективности технологии.

Список литературы

1. Головнев С.Г. Современные строительные технологии. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2010. 268 с.
2. Патент № RU2566540. Способ формования железобетонных конструкций посредством опускающегося бетона / Т.М. Хафизов, С.Г. Головнев, С.Д. Денисов; заявл. 30.09.14; опубл. 27.10.2015, Бюл. № 30.
3. Патент № RU2604098. Способ строительства подземного многоэтажного сооружения / Т.М. Хафизов, А.Х. Байбурин, С.Е. Денисов, Г.Т. Хафизов; заявл. 02.11.2015; опубл. 10.12.2016, Бюл. № 34.
4. Патент № RU2510088. Подземный ядерно-энергетический комплекс / Т.М. Хафизов, С.Е. Денисов, Г.Т. Хафизов; заявл. 08.10.2012; опубл. 20.03.2014, Бюл. № 8.
5. Building. Construction methods: modular [Электронный ресурс]. URL: <https://www.building.co.uk/data/construction-methods-modular/5094760.article> (дата обращения: 06.10.2022).
6. Сауков Д.А., Гинзбург Д.А. Современное модульное строительство // IV Междунар. конф. «Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур» Safety-2018: сб. ст., Екатеринбург, 2018. С. 69–82.
7. Тешев И.Д., Коростылева Г.К., Попова М.А. Объемно-блочное домостроение // Жилищное строительство. 2016. № 3. С. 26–33.
8. Мацкевич А.Ф. Проектирование и применение скользящей опалубки: учебное пособие. Горький: ГИСИ им. В.П. Чкалова, 1984. 72 с.
9. ГОСТ 52085-2003. Опалубка. Общие технические условия. М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. 32 с.

10. Байбури́н А.Х. Обеспечение качества и безопасности возводимых гражданских зданий. М.: Изд-во АСВ. 2015. 336 с.
11. Саакян А.О., Саакян Р.А., Шахназарян С.Х. Возведение зданий и сооружений методом подъема: исследование, проектирование, строительство. М.: Стройиздат, 1982. 552 с.
12. Рекомендации по возведению многоэтажных зданий методом подъема этажей и перекрытий / ЦНИИОМТП. М.: Стройиздат, 1971. 60 с.
13. Хафизов Т.М., Байбури́н А.Х. Строительство подземного многоэтажного сооружения методом опускающегося бетона (в порядке обсуждения) // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 6. С. 57–63. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.06.57-63
14. Соколов С.В. Монтаж зданий методом подъема этажей и конструкций. М.: Высш. шк., 1988. 64 с.
15. Патент № RU2657565. Способ совмещенного строительства подземной и надземной части каркаса сооружения / Т.М. Хафизов, А.Х. Байбури́н, С.Е. Денисов, Р.М. Сулейманов, Г.Т. Хафизов; заявл. 27.04.2017; опубл. 14.06.2018; Бюл. № 17.
16. Хафизов Т.М., Байбури́н А.Х. Сравнительный анализ способа опускающегося бетона и метода скользящей опалубки // IV Междунар. конф. «Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур» Safety-2018: сб. ст. Екатеринбург, 2018. С. 222–228. DOI: 10.14529/build220208.
17. Атаев С.С. Технология и механизация строительного производства. В 2 т. М.: Высшая школа. 315 с. (Т. 1), 359 с. (Т. 2).
18. Тетиор А.Н., Логинов В.Ф. Проектирование и строительство подземных зданий и сооружений. Киев: Будивэльник, 1990. 168 с.
19. Байцур А.И. Заглубленные сооружения промышленных предприятий. Киев: Будивэльник, 1990. 81 с.
20. Банин Л.А. Специальные методы строительства заглубленных помещений в сложных инженерно-геологических условиях. М.: ЦБНТИ, 1983. 40 с.
21. Коваль В.С. Многопролетные многоярусные подземные сооружения в крупном городе в городской застройке. М.: МГЦНТИ, 1985. 23 с.
22. Мостков В.М. Подземные сооружения большого сечения. М.: Недра, 1974. 320 с.
23. Оглоблин В.Ф., Ильинский К.Н. Подземные этажи. Донецк: Донбасс, 1978. 143 с.
24. Лернер В.Г. Организация подземных пространств крупных городов. М.: ГОСЦНТИ, 1975. 33 с.
25. Сапачева Л.В. Подземная урбанизация – необходимое условие устойчивого развития городов (Информация) // Жилищное строительство. 2016. № 11. С. 12–13.
26. Горбулин А.Н. Подземные атомные электростанции // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2017. № 2(18). С. 37–44.

References

1. Golovnev S.G. *Sovremennye stroitel'nye tekhnologii* [Modern construction technologies]. Chelyabinsk: SUSU Publ., 2010. 268 p. (In Russ)
2. Khafizov T.M., Golovnev S.G., Denisov S.D. *Sposob formovaniya zhelezobetonnykh konstruksiy posredstvom opuskayushchegosya betona* [Method of forming reinforced concrete structures by means of collapsible concrete]. Patent RF no RU2566540, 2015.
3. Khafizov T.M., Bayburin A.Kh., Denisov S.E., Khafizov G.T. *Sposob stroitel'stva podzemnogo mnogoe-tazhnogo sooruzheniya* [Method of construction of underground multi-storey structures]. Patent RF no RU2604098, 2016.
4. Khafizov T.M., Denisov S.E., Khafizov G.T. *Podzemnyy yaderno-energeticheskiy kompleks* [Underground nuclear power complex]. Patent RF no RU2510088, 2014.
5. *Building. Construction methods: modular* [Electronic resource]. Available at: <https://www.building.co.uk/data/construction-methods-modular/5094760.article> (accessed 06.10.2022).
6. Saukov D.A., Ginzburg D.A. Modern modular building. In: *IV International Conference Safety Problems of Civil Engineering Critical Infrastructures SAFETY2018: collected papers*. Ekaterinburg, 2018. P. 69–82. (In Russ)
7. Teshev I.D., Korostyleva G.K., Popova M.A. Space block house prefabrication. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo*. 2016;3:26–33. (In Russ)
8. Matskevich A.F. *Proektirovanie i primeneniye skol'zyashchey opalubki: uchebnoe posobie* [Design and application of sliding formwork: a textbook]. Gor'kiy: V.P. Chkalov GISI Publ., 1984. 72 p. (In Russ)
9. *GOST 52085–2003. Opalubka. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [State Standard 52085–2003 The formwork. General technical conditions]. Moscow: Gosstroy Rossii, GUP TsPP, 2003. 32 p.
10. Bayburin A.Kh. *Obespechenie kachestva i bezopasnosti vozvodimykh grazhdanskikh zdaniy* [Ensuring the quality and safety of civil buildings under construction]. Moscow: ASV Publ., 2015. 336 p. (In Russ)
11. Saakyan A.O., Saakyan R.A., Shakhnazaryan S.Kh. *Vozvedeniye zdaniy i sooruzheniy metodom pod"ema: issledovaniye, proektirovaniye, stroitel'stvo* [Erecting buildings and structures by lifting: research, design, construction]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1982. 552 p. (In Russ)

12. *Rekomendatsii po vozvedeniyu mnogoetazhnykh zdaniy metodom pod"ema etazhey i perekrytiy* [Recommendations for the construction of multi-storey buildings by lifting floors and ceilings]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1971. 60 p. (In Russ)
13. Khafizov T.M., Bayburin A.Kh. Innovative way of constructing an underground multi-storey building (in order of discussion). *Industrial and Civil Engineering*. 2020;6:57–63. (In Russ) DOI: 10.33622/0869-7019.2020.06.57-63
14. Sokolov S.V. *Montazh zdaniy metodom pod"ema etazhey i konstruksiy* [Installation of buildings by lifting floors and constructions]. Moscow: Higher School Publ., 1988. 64 p. (In Russ)
15. Khafizov T.M., Bayburin A.Kh., Denisov S.E., Suleymanov R.M., Khafizov G.T. *Sposob sovmeshchennogo stroitel'stva podzemnoy i nadzemnoy chasti karkasa sooruzheniya* [Method of combined construction of the underground and aboveground part of the frame of the structure] Patent RF no RU2657565, 2018. (In Russ)
16. Khafizov T.M., Bayburin A.Kh. The method of forming reinforced concrete structures by means of descending concrete In: *IV International Conference Safety Problems of Civil Engineering Critical Infrastructures SAFETY2018: collected papers*. Ekaterinburg, 2018. P. 222–228. (In Russ) DOI: 10.14529/build220208.
17. Ataev S.S. *Tekhnologiya i mekhanizatsiya stroitel'nogo proizvodstva. V 2 tomakh* [Technology and mechanization of construction production. In 2 volumes]. Moscow: Higher School Publ.; 315 p. (vol. 1), 359 p. (vol. 2). (In Russ)
18. Tetior A.N., Loginov V.F. *Proektirovanie i stroitel'stvo podzemnykh zdaniy i sooruzheniy* [Design and construction of underground buildings and structures]. Kiev: Budivel'nik Publ., 1990. 168 p. (In Russ)
19. Baytsur A.I. *Zaglublennye sooruzheniya promyshlennykh predpriyatiy* [Buried structures of industrial enterprises]. Kiev: Budivel'nik Publ., 1990. 81 p. (In Russ)
20. Banin L.A. *Spetsial'nye metody stroitel'stva zaglublennykh pomeshcheniy v slozhnykh inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh* [Special methods for the construction of buried structures in difficult engineering and geological conditions]. Moscow: TsBNTI, 1983. 40 p. (In Russ)
21. Koval V.S. *Mnogoproletnye mnogoyarusnye podzemnye sooruzheniya v krupnom gorode v gorodskoy zastroyke* [Multi-span multi-tiered underground structures in a large city in urban development]. Moscow: MGTsNTI, 1985. 23 p. (In Russ)
22. Mostkov V.M. *Podzemnye sooruzheniya bol'shogo secheniya* [Underground structures of large cross-section]. Moscow: Nedra Publ., 1974. 320 p. (In Russ)
23. Ogloblin V.F., Il'inskiy K.N. *Podzemnye etazhi* [Underground floors]. Donetsk: Donbass, 1978. 143 p. (In Russ)
24. Lerner V.G. *Organizatsiya podzemnykh prostranstv krupnykh gorodov* [Organization of underground spaces of large cities]. Moscow: GOSTsNTI; 1975. 33 p. (In Russ)
25. Sapacheva L.V. [Underground urbanization – a necessary condition for sustainable urban development]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2016;11:12–13. (In Russ)
26. Gorbulin A.N. Underground nuclear power plant. *Biospheric compatibility: human, region, technologies*. 2017;2(18):37–44. (In Russ)

Информация об авторах:

Хафизов Тагир Мавлитович, заведующий лабораторией кафедры «Строительное производство и теория сооружений», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; khafizovtm@susu.ru.

Байбурун Альберт Халитович, доктор технических наук, советник РААСН, профессор, профессор кафедры «Строительное производство и теория сооружений», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; baiburinak@susu.ru.

Денисов Сергей Егорович, доктор технических наук, профессор кафедры «Градостроительство, инженерные сети и системы», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; denisovse@susu.ru.

Овчинников Андрей Дмитриевич, магистрант, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; ovchinnikovad@susu.ru.

About the authors:

Tagir M. Khafizov, Head of the Laboratory of the Department of Construction Production and Theory of Structures, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; khafizovtm@susu.ru

Albert Kh. Bayburin, Doctor of Technical Sciences, Advisor to the RAASN, Professor of the Department of Construction Production and Theory of Structures, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; baiburinak@susu.ru

Sergey E. Denisov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Urban Planning, Engineering Networks and Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; denisovse@susu.ru

Andrey D. Ovchinnikov, undergraduate, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; ovchinnikovad@susu.ru

Статья поступила в редакцию 27.09.2022, принята к публикации 01.11.2022.

The article was submitted 27.09.2022; approved after reviewing 01.11.2022.