

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

2022, №2, Том 14 / 2022, No 2, Vol 14 <https://esj.today/issue-2-2022.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/16SAVN222.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Абрамян, С. Г. Цифровизация строительства на основе структуризации основных технологических решений на примере сооружения вертикальных стальных резервуаров / С. Г. Абрамян, О. В. Бурлаченко, О. В. Оганесян, А. О. Бурлаченко, В. В. Плешаков // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/16SAVN222.pdf>

For citation:

Abramyan S.G., Burlachenko O.V., Oganesyanyan O.V., Burlachenko A.O., Pleshakov V.V. Construction digitization based on structuring of main technological solutions exemplified by vertical steel tanks. *The Eurasian Scientific Journal*, 14(2): 16SAVN222. Available at: <https://esj.today/PDF/16SAVN222.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

Абрамян Сусанна Грантовна

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Россия
Профессор

Кандидат технических наук, доцент
E-mail: susannagrانت@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3938-1096>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=589709

Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/C-7099-2016>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=6508040964>

Бурлаченко Олег Васильевич

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Россия
Институт архитектуры и строительства

Заместитель директора по научной работе, заведующий кафедрой «Технологии строительного производства»
Доктор технических наук, профессор
E-mail: oburlachenko@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7923-6742>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=282520

Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/ABF-4172-2020>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=41761032900>

Оганесян Оганес Валерьевич

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Россия
Аспирант

E-mail: ogoganesyanyan@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2050-2302>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=853422

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57196038412>

Бурлаченко Александр Олегович

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Россия
Аспирант

E-mail: a.o.burlachenko@gmail.com

Плешаков Владимир Владимирович

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Россия
Магистрант

E-mail: vladimir.pl81@mail.ru

Цифровизация строительства на основе структуризации основных технологических решений на примере сооружения вертикальных стальных резервуаров

Аннотация. В статье на основе анализа ряда научных публикаций и действующих нормативных документов представлен обзор наиболее распространенных технологических решений применительно к строительству вертикальных стальных цилиндрических резервуаров с целью выявления основных преимуществ и недостатков и, что самое важное, рассмотрения возможности применения цифровых технологий при решении оптимизационных управленческих задач на всех стадиях жизненного цикла таких опасных инженерных объектов, как резервуары для хранения жидких углеводородных продуктов. В частности, рассмотрены методы листовой сборки подрачиванием и наращиванием поясов, рулонированием с описанием отдельных технологических процессов. Особое внимание уделено технологическим процессам по устройству монолитного фундамента на свайном основании. Приведены основные виды крыш резервуаров вертикальных стальных (РВС) и технология их устройства. Отмечено, что по сравнению с другими методами сооружения РВС листовая сборка способом наращивания малоэффективна, так как для выполнения строительно-монтажных работ применяется большое количество механизмов, машин и оборудования, практически по всем видам работ имеют место большие трудозатраты. Подчеркнуто, что из рассмотренных технологий самой эффективной является подрачивание отдельных поясов. Рассмотрены технологии листовой сборки РВС способом подрачивания поясов, разработанные шведской и испанской компаниями, инновационность которых в основном зависит от применяемых технологических оборудования. Представлены некоторые виды домкратных систем, применяемые при подрачивании поясов. Авторами отмечено, что существующее в настоящее время мнение об эффективности способа рулонирования не соответствует реальности, поскольку при транспортировке и сборке применяются крупногабаритные машины и механизмы. Подчеркнута важность структуризации всех технологических процессов с целью создания отдельных информационных блоков (блокчейнов), на основе которых будут созданы базы данных.

Ключевые слова: резервуаростроение; подрачивание; наращивание; рулонирование; цифровые технологии; блокчейны; эффективность

Введение

Информационная модель здания (Building Information Model, BIM) — цифровая информация о существующем либо проектируемом здании или сооружении, используемая для принятия решений по управлению строительным объектом, создания необходимой проектной документации, предсказания технических и эксплуатационных качеств (свойств) объекта, составления строительных планов, смет, обеспечения оборудованием, материалами, управления возведением, эксплуатацией, оснащением техническими средствами объекта в течение всего жизненного цикла [1–3]. В работах [4; 5] отмечается, что на современном этапе развития управления жизненным циклом строительных объектов различного функционального назначения информационное моделирование зданий (BIM) должно стать рабочей платформой для современных методов строительства, исключаяющей «неэффективное руководство, укоренившееся в культуре на строительной площадке, устаревшие строительные технологии и слабую строительную логистику» [4].

Ресурсы для внедрения информационного моделирования на этапе проектирования различных строительных систем неоднократно становились предметом пристального изучения многих отечественных исследователей [6–8].

Применение BIM-технологий при решении оптимизационных управленческих задач жизненным циклом резервуаров вертикальных стальных (РВС) является актуальной задачей, прежде всего вследствие ответственности и повышенной опасности эксплуатации подобного рода объектов [9–11].

Методы исследования

Основными методами исследования являются анализ, сравнение, обобщение, аналогия и абстрагирование. Рассмотрены наиболее распространенные отечественные и зарубежные технологии резервуаростроения. Детальный анализ приведенных способов цельнолистовой сборки РВС подращиванием позволил выдвинуть гипотезу о модификации способа рулонирования для достижения технологичности выполнения работ.

Существующие организационно-технологические решения сооружения вертикальных стальных резервуаров

Технологии монтажа РВС зависят от вида, конструктивных особенностей и вместимости РВС. В данной статье рассмотрим технологии монтажа вертикальных цилиндрических стальных резервуаров.

Согласно нормативным документам¹, наиболее распространенные в России технологии монтажа стальных вертикальных цилиндрических резервуаров включают следующие способы:

- полистовой сборки подращиванием поясов;
- полистовой сборки наращиванием;
- рулонирования;
- комбинированный (сочетание наращивания и подращивания).

Для всех способов производства устройство подземной части включает определенное количество характерных работ, которые, в свою очередь, состоят из отдельных технологических процессов. В зависимости от условий производства работ некоторые процессы могут быть сокращены. Например, в стесненных условиях днище могут собрать непосредственно на бетонном фундаменте.

Для строительства этого цикла сооружения РВС особое значение имеет цифровая информационная модель (ЦИМ) «Модель: инженерные изыскания»², так как следует определиться, нужно ли искусственное закрепление грунтов и др., например, фундаменты могут быть на свайном основании (рис. 1) и т. д.

¹ СП 365.1325800.2017. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для хранения нефтепродуктов. Дата введения 2018-06-14. URL: <https://docs.cntd.ru/document/550965736> (дата обращения: 12.10.2021).

² СП 333.1325800.2020. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. Свод правил от 31.12.2020 № 333.1325800.2020. Применяется с 01.07.2021. Заменяет СП 333.1325800.2017. URL: https://www.sskural.ru/bim/docs/СП_333.1325800.2020.pdf (дата обращения: 12.10.2021).

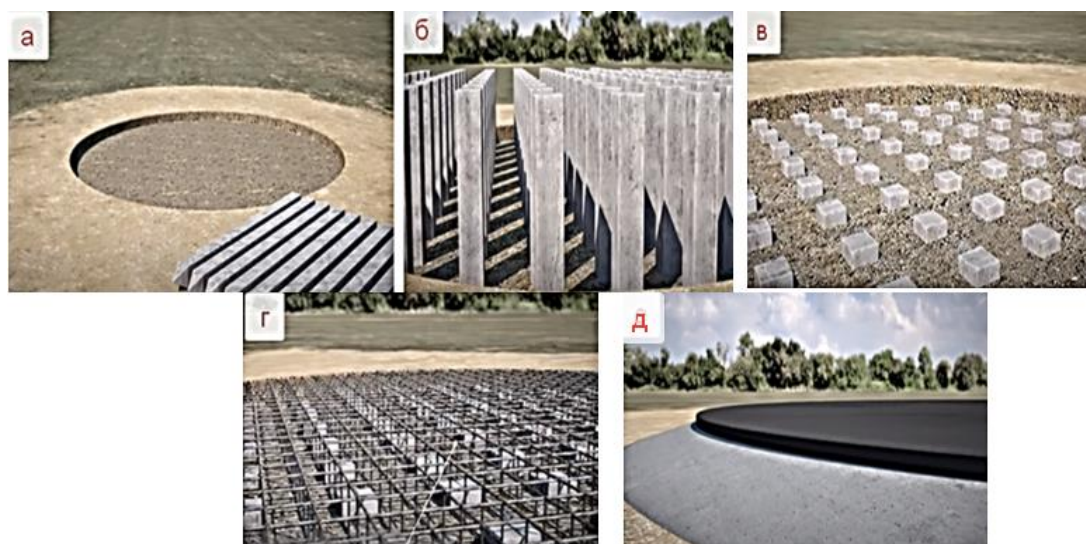


Рисунок 1. Последовательность устройства монолитного фундамента на свайном основании: а — разработка котлована; б, в — погружение готовых железобетонных свай; г — устройство арматурного каркаса фундамента; д — монолитный железобетонный фундамент (<https://yandex.ru/video/preview/?filmId=10239757162125418555&from=tabbar&parent-reqid=1647766969131568-6746194138223389736-sas3-0749-7ac-sas-l7-balancer-8080-BAL-4229&>)

Отметим, что эксплуатационная надежность РВС во многом зависит не только от качества устройства фундамента, но и принятых проектных решений [12; 13].

Что касается надземного этапа, то при разработке ЦИМ «Модель проектирования» необходимо учитывать, какая технология будет применена, поскольку все организационные и управленческие решения напрямую зависят от принятой технологии производства работ, но об этом несправедливо умалчивается.

Даже перечисленные выше способы монтажа для строительства надземной части одного конструктивного вида РВС (одинаковый объем, толщина материалы и т. д.) могут иметь разную последовательность и продолжительность. Например, для способа подращивания все зависит от того, какое будет применено технологическое оборудование, будут ли листовые конструкции на пояс рулонными или из отдельных элементов, где будут собраны листовые конструкции на пояс — в заводских условиях или на строительной площадке.

Итак, рассмотрим наиболее распространенные отечественные и зарубежные **технологии полистовой сборки РВС способом подращивания поясов.**

Согласно действующему в настоящее время нормативному документу СП 365.1325800.2017, метод подращивания — это «технологический процесс, при котором на первом этапе производится установка, сборка и сварка листов верхнего пояса стенки резервуара, конструкций опорного кольца и крыши резервуара с последующим, на втором этапе, подъемом смонтированных конструкций специальными подъемными устройствами для установки, сборки и сварки нижележащих поясов стенки резервуара»¹.

Синхронизация выполнения работ полистовой или цельнолистовой сборки обеспечивается благодаря контролю за ходом штока каждого гидроцилиндра посредством лазерных радаров, установленных на корпусах грузоподъемных механизмов, а также гидрораспределителей на насосной гидравлической станции с использованием метода сравнения поступающих с датчиков сигналов и следующей после этого автокоррекции положения штока гидроцилиндров.

Производительность, продолжительность и особенно безопасность [14] выполнения работ во многом зависят от применяемой системы подъемных механизмов. На рисунке 2 представлены домкратные системы для монтажа РВС при полистовой сборке методом подрачивания, разработанные компанией «Энерпром» [15] (Россия) (рис. 2а) и Bygging-Uddemann AB шведского производства (рис. 2б).



Рисунок 2. Домкратные устройства для вертикального подъема секций РВС методом подрачивания: а — домкратная система разработки компании «Энерпром» (Россия) (<https://www.enerprom.net/catalog/sistema-montazha-rezervuara-metodom-polistovoy-sborki-i-podrashchivaniya/>); б — домкратная система разработки компании Bygging-Uddemann AB (Швеция) (<https://www.enerprom.ru/qa/116.html>)

На рисунке 3 представлены некоторые технологические процессы полистовой сборки поясов (секций) РВС с применением домкратных стоек «Энерпром».

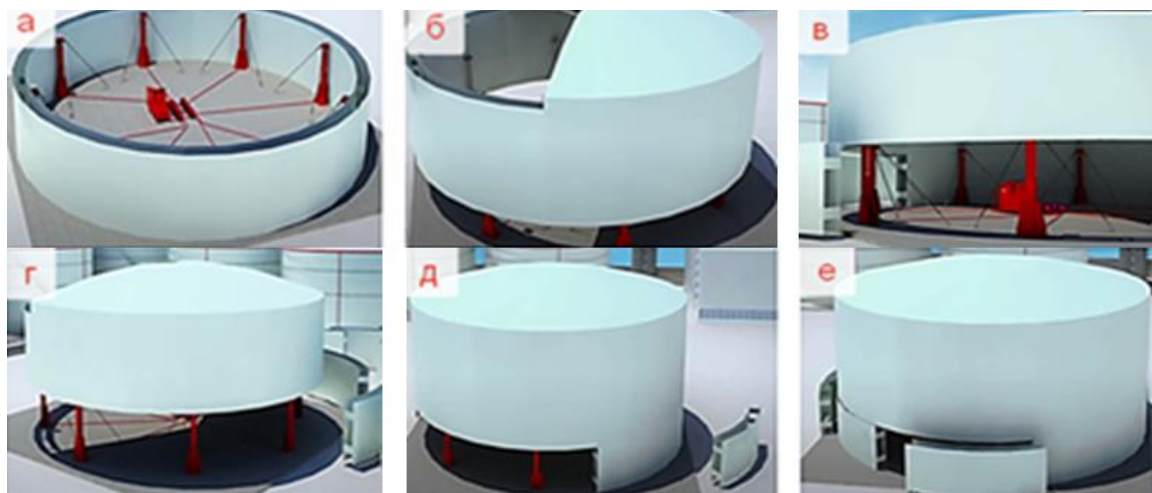


Рисунок 3. Некоторые технологические процессы полистовой сборки вертикальных стен с применением домкратных стоек «Энерпром»: а — расстановка домкратного оборудования и сборка верхнего (первого) пояса РВС; б — сборка элементов крыши и начало подъема верхнего пояса (секции); в — полный подъем верхнего пояса (секции); г — подрачивание последующего (второго сверху) пояса; д — подъем второго сверху пояса и подрачивание последнего пояса; е — окончание подрачивания последнего (самого нижнего) пояса (<https://yandex.ru/video/preview/?filmId=8148012172766982881&from=tabbar&parent-reqid=1647770713672580-11176783386919465441-sas3-0749-7ac-sas-l7-balancer-8080-BAL-5078&>)

Для сравнения на рисунке 4 представлены некоторые технологические процессы полистовой сборки секций РВС с применением домкратной системы Bygging-Uddemann AB.

Анализ технологии полистовой сборки вертикальных стен подрачиванием с применением домкратных систем «Энерпром» и Bygging-Uddemann AB показывает, что технологическая последовательность выполнения работ одинакова и, если применять ее для РВС с одинаковыми конструктивными особенностями и организационными условиями производства работ, продолжительность выполнения работ в основном будет зависеть от времени сборки и скорости подъема домкратных устройств.

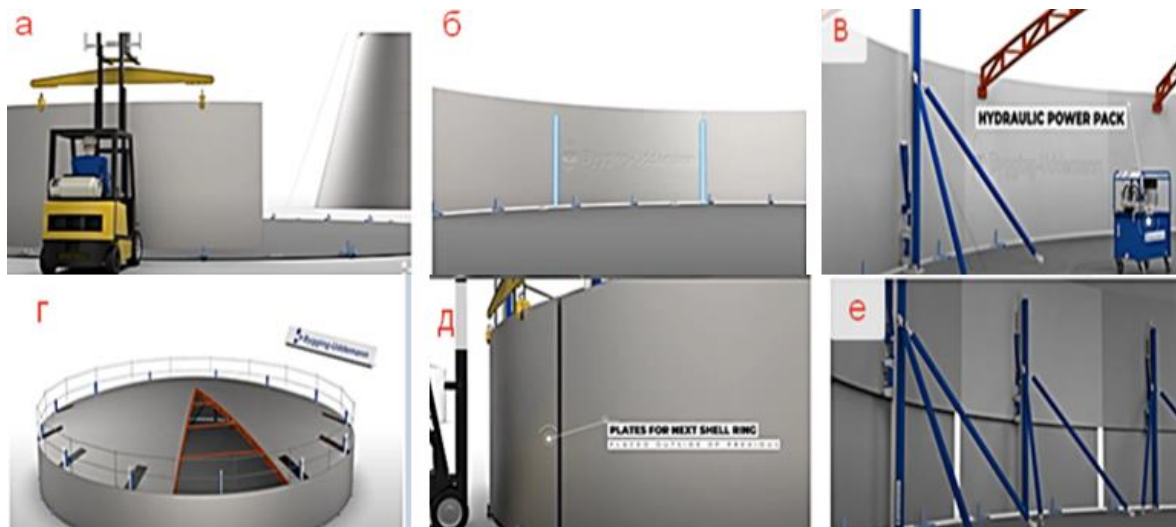


Рисунок 4. Некоторые технологические процессы полистовой сборки вертикальных стен с применением шагающих домкратных устройств: а — подача листов грузоподъемным механизмом и сборка верхнего (первого) пояса; б — сварка вертикальных листовых конструкций верхнего (первого) пояса; в — монтаж шагающих домкратов и ферменных конструкций крыши; г — окончание монтажа конструктивных элементов крыши и ограждения на крыше; д — подача листов грузоподъемным механизмом и подрачивание последующего (второго с верха) пояса; е — процесс подъема верхнего (первого) пояса с помощью шагающих домкратов (<https://yandex.ru/video/preview/?filmId=12259737609334286614&from=tabbar&parent-reqid=1647782772204519-12567657400026876364-sas3-0749-7ac-sas-17-balancer-8080-BAL-197&>)

Инновационной технологией монтажа РВС является технология подрачивания, разработанная другой шведской компанией, с применением подъемных домкратов Lift Jack (рис. 5).



Рисунок 5. Внешний вид домкратов Lift Jack (<https://www.youtube.com/watch?v=Mp4AeMoFviA>)

Домкраты Lift Jack оснащены колесной тележкой, что позволяет строить резервуары как из рулонов, так и из отдельных стальных листов.

На рисунках 6 и 7 представлены основные технологические процессы строительства РВС из стальных рулонов высотой на один пояс способом подрачивания с помощью подъемной системы Lift Jack.

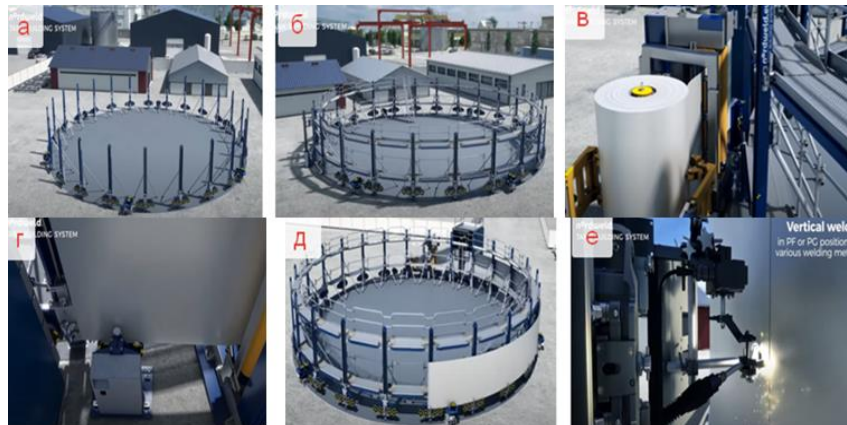


Рисунок 6. Основные технологические процессы (монтаж домкратов — подъем верхнего (первого) пояса) сборки вертикальных стен из рулонной стали высотой на один пояс с помощью подъемной системы Lift Jack: а — монтаж подъемной системы; б — устройство подмостей на вертикальных опорах подъемной системы; в — завальцевание рулонной цельнолистовой стали; г — перекатка завальцованной рулонной стали верхнего (первого) пояса по периметру РВС; д — сборка верхнего (первого) пояса РВС из рулонной цельнолистовой стали; е — сварка вертикального стыка верхнего (первого) пояса РВС (<https://www.youtube.com/watch?v=Mp4AeMoFviA>)

В комплект подъемной системы Lift Jack, кроме самих домкратов, входят сварочное оборудование, оборудование для завальцевания рулонной цельнолистовой стали по периметру резервуара, главная насосная станция, устройство для разравнивания кромок листовой стали, столики с колесами для пережатки развернутого стального рулона высотой на один пояс, пульт управления и др. Столики снабжены вертикальными опорами, поддерживающими стальной рулон в вертикальном положении (рис. 8).



Рисунок 7. Основные технологические процессы (монтаж второго пояса — монтаж элементов крыши — монтаж последнего (нижнего) пояса) сборки вертикальных стен из рулонной стали высотой на один пояс с применением подъемной системы Lift Jack: а — подъем верхнего (первого) пояса; б, в — пережатка завальцованной рулонной стали последующего (второго сверху) пояса по периметру РВС; г, д — сборка конструкций крыши РВС; е, ё — подъем собранных двух поясов и крыши; ж — завершение подрачивания последнего пояса РВС (<https://www.youtube.com/watch?v=Mp4AeMoFviA>)



Рисунок 8. Процесс перекатки рулонной листовой стали (на пояс) для подращивания очередного пояса: а, б — процесс перекатки развернутого стального рулона высотой на один пояс с помощью столиков с колесами; в — процесс подращивания пояса (<https://www.youtube.com/watch?v=Mp4AeMoFviA>)

Аналогом шведской технологии строительства РВС способом подращивания является способ, разработанный испанской фирмой MASA. Единственное отличие заключается в том, что на строительной площадке на стендах в горизонтальном положении из отдельных листов сваривают рулон, далее с помощью пульта управления с горизонтального положения стенд приводят в вертикальное положение. Устраивают ролики под стенд и передвигают (перекатывают) в необходимое место раскрытый рулон стали для дальнейшего подращивания в проектное положение.

Технология цельнолистовой сборки более универсальна, технологична и безопасна, чем вышеописанные технологии полистовой сборки РВС с помощью домкратных систем «Энерпром» и Bygging-Uddemann AB.

Универсальность заключается в том, данная технология позволяет сооружать вертикальные цилиндрические резервуары любого функционального назначения и практически любой вместимости с необходимой толщиной стенки как в стесненных условиях производства работ, так и в труднодоступных районах.

Технологичность данного способа обусловлена сокращением технологических процессов по подаче листовых конструкций подъемными кранами на место подращивания, на их строповку и расстроповку, снижением трудозатрат на сварочные работы, на месте подращивания на одну секцию выполняют один (иногда два) вертикальный сварочный шов и т. д.

К другим факторам, обеспечивающим эффективность применения способа подращивания, относятся:

- выполнение основных технологических процессов на уровне земли, что повышает не только безопасность выполнения работ, но и производительность и качество выполнения работ, улучшает условия труда;
- завальцование по проектному радиусу при цельнолистовой сборке осуществляется непосредственно на строительной площадке перед подращиванием, что позволяет транспортировать на строительную площадку пакет горизонтально расположенных листовых конструкций с одинаковыми размерами автотранспортными средствами общего назначения соответствующих габаритных размеров;
- подращивание секций выполняется без применения мощных грузоподъемных механизмов.

В интернет-ресурсах представлены другие инновационные технологии резервуаростроения подращиванием, разработанными различными компаниями из таких стран, как Китай, Мексика, Индия, Португалия и др., что еще раз подтверждает эффективность данного способа цельнолистовой и листовой сборки РВС.

Рассмотрим технологию полистовой сборки РВС *способом наращивания*.

Итак, метод наращивания — это «технологический процесс, при котором установка, сборка и сварка листов стенки резервуара начинается с первого пояса и заканчивается установкой, сборкой и сваркой листов верхнего пояса, конструкций опорного кольца и крыши резервуара»¹.

Основные технологические процессы сооружения надземной части РВС с применением способа наращивания представлены на рисунке 9.

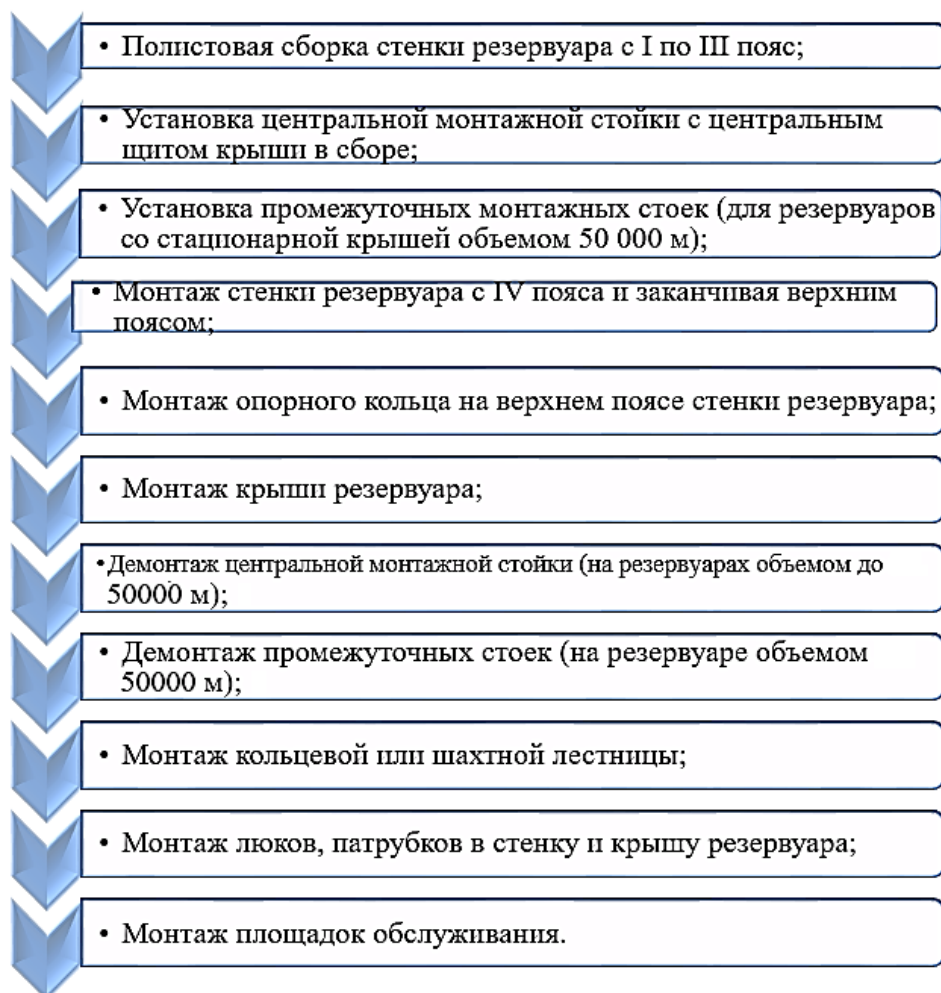


Рисунок 9. Технологическая последовательность сооружения надземной части РВС способом наращивания, составлена авторами по данным [16]

По сравнению с другими способами сооружения РВС полистовая сборка способом наращивания малоэффективна. Обусловлено это применением большого количества механизмов, машин и оборудования: нужны краны на гусеничном или пневмоколесном ходу с необходимыми техническими параметрами, большой объем сварочных работ; кроме того, практически по всем видам работ имеют место большие трудозатраты и т. д.

Некоторые основные технологические процессы полистовой сборки РВС способом наращивания представлены на рисунке 10.



Рисунок 10. Основные технологические процессы полистовой сборки вертикальных стен PVC способом наращивания: а — начало наращивания первого снизу пояса; б — полностью собранный первый пояс; в — установка подмостей внутри резервуара для безопасного обеспечения рабочего места; г, д — процессы сборки второго пояса с помощью крана, находящегося внутри резервуара; е, ё — процессы очистки и сварки стыков; ж — наращивание последнего пояса; з — установка опорного кольца и сборка конструкций крыши PVC (<https://yandex.ru/video/preview/?filmId=646472541554631616&from=tabbar&parent-reqid=1647769243472157-15662584466549460596-sas3-0749-7ac-sas-l7-balancer-8080-BAL-1850&>)

Монтаж вертикальных резервуаров способом рулонирования. Данный способ считается индустриальным, так как на заводе производят отдельно рулоны для днища, корпуса и щиты крыши. Сварку листов выполняют на специально предназначенном для этого стенде, регулируя размеры полотнища в соответствии с запросом. Далее осуществляют контроль качества сварных соединений, после чего получившиеся полотнища объединяют сваркой в рулон. Стоит обратить внимание на то, что диаметр рулона должен быть таким, чтобы при разворачивании рулона не возникали остаточные деформации.

На строительной площадке раскатывают рулон днища и укладывают его на подготовленный фундамент.

Существует несколько вариантов устройства крыши при сооружении PVC способом рулонирования. Рассмотрим два варианта.

Вариант 1. Тракторами раскатывают рулон по периметру днища и укрепляют прихватами к днищу. Затем выверяют положение корпуса, сваривают вертикальный шов на корпусе и кольцевой между корпусом и днищем. После этого монтируют стойку, делают ферменное перекрытие и кровлю (рис. 11).



Рисунок 11. Основные технологические процессы сооружения РВС способом рулонирования: а — установка рулона корпуса (вертикальной части) на готовое днище с помощью гусеничного крана; б, в, г — процесс развертывания рулона (<http://www.мск-юг.рф/portfolio/montazh-rvs-10000m3.html>)

Вариант 2. Устройство крыши производят параллельно с разворачиванием рулона (рис. 12).



Рисунок 12. Некоторые процессы сборки резервуара из рулонных заготовок: а — установка главной (центральной) несущей стойки, монтаж первого (нечетного) радиального элемента крыши; б — монтаж последующих нечетных радиальных элементов крыши; в, г, д, е — продолжение процесса развертывания рулона вертикальной стенки РВС с одновременным монтажом остальных радиальных элементов крыши; ё, ж — начало и окончание развертывания второго рулона вертикальной стенки РВС; з — внешний вид РВС с полностью собранной стенкой и частично собранной крышей; и — внешний вид полностью собранной крыши с внутренней стороны резервуара (<http://www.мск-юг.рф/portfolio/montazh-rvs-10000m3.html>)

Специалисты сходятся во мнении, что сооружение РВС способом рулонирования обеспечивает сокращение затрат на монтаж каждого из резервуаров примерно на 30...40 % и

способствует уменьшению в несколько раз объема работ по сборке и сварке на монтажной площадке.

Однако в целом способ рулонирования нельзя считать эффективным, так как размеры полотнищ (днища, стенки, крыши) должны соответствовать транспортировочным габаритам, позволяющим доставлять полотнища на железнодорожных платформах или крупногабаритными тралами. Для разгрузки, развертывания полотнищ, монтажа главной (центральной) несущей стойки, элементов крыши нужны крупногабаритные монтажные механизмы, тракторы и т. д. Другими словами, на общую стоимость значительно влияет эксплуатация машин и механизмов. Монтаж стенки РВС, поступившей на стройплощадку в виде рулона, производится в четыре этапа: (1) подъем рулона стенки в проектное положение; (2) развертывание полотнища стенки; (3) формообразование концевых участков полотнища стенки; (4) сварка монтажного стыка стенки.

Считаем, что эффективность применения способа рулонирования может быть достигнута путем оборудования крупногабаритных тралов необходимыми механизмами, позволяющими выполнять не только транспортировку, но и монтаж полотнища стенки. При этом необходимо частично модифицировать разработанную испанской фирмой MASA технологию. В частности, можно использовать гидравлические «разматыватели» вертикальных рулонов и ролики, которые будут передвигать полотнища стенки по периметру вновь сооружаемого РВС и др.

Крыши РВС могут быть коническими, сферическими из отдельных прямоугольных элементов из листовой стали и из радиальных элементов, которые монтируются на ферменные или решетчатые конструкции либо на главную (центральную) несущую стойку РВС. Конические крыши собираются на строительной площадке на отдельно отведенном месте вблизи проектного положения РВС. После полного монтажа вертикальных стен (корпуса) с помощью крана монтируется крыша (рис. 13а). Сферические крыши (рис. 13б–г) монтируются также после монтажа вертикальных стен. Полностью собранный на стенде (на поверхности земли) верхний элемент крыши с необходимой кривизной (рис. 13б) также монтируется краном. В остальных случаях (рис. 13в,г) краном подаются отдельные элементы крыши на проектную отметку, где они окончательно закрепляются.



Рисунок 13. Основные виды крыши РВС: а — коническая; б — сферическая из отдельных элементов листовой стали; в — сферическая из отдельных радиальных элементов, опирающихся на решетчатые конструкции; г — сферическая из отдельных радиальных элементов, опирающихся на главную (центральную) стойку
(<https://yandex.ru/video/preview/?filmId=10239757162125418555&from=tabbar&parent-reqid=1647766969131568-6746194138223389736-sas3-0749-7ac-sas-l7-balancer-8080-BAL-4229&>)

Приведенные виды крыш полноценно используют как при способе наращивания, так и при способе рулонирования. При подрачивании крышу устраивают после сборки первого пояса.

Заключение

В настоящее время существует множество технологий, применяемых в резервуаростроении, выбор оптимальной технологии должен быть максимально обоснованным с экономической и экологической точек зрения. Считаем, что структуризация существующих технологий сооружения РВС по всем параметрам позволит создать отдельные информационные блоки (строительные блокчейн-технологии), на основе которых будут созданы базы данных. Подобная база данных позволит выбрать максимально подходящую технологию сооружения РВС на стадии проектирования; определить экономическую и экологическую эффективность ее использования для конкретного РВС с учетом конструктивных особенностей, местности строительства и логистики на стадии строительства; предвидеть, какие могут возникнуть препятствия для надежного функционирования РВС на стадии эксплуатации и т. д. Структуризация также позволяет выполнять надлежащий контроль качества практически на всех стадиях жизненного цикла строительной продукции с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [17–19].

По отношению к сооружению РВС технологии блокчейна, формирующие базы данных, представлены отдельными информационными блоками по каждой применяемой строительной технологии, в рамках которых все виды работ должны быть структурированы, с выделением отдельных технологических процессов, которые, в свою очередь, разделяются на рабочие операции и т. д. В каждом блоке должна содержаться информация о профессионально-квалификационном составе персонала, об используемых механизмах, оборудовании, инструментах и их количестве, а также о трудозатратах и затратах на работу машин и пр.

Как отмечается в публикации [20], «теоретически BIM-технологии можно применять, например, начиная со стадии возведения объекта, если BIM-модель проектировщиками не создавалась». Для этого необходимо данные из электронной версии проектной документации экспортировать в программный комплекс, обеспечивающий проектирование на основе BIM-моделей, выбрать экономически эффективную технологию, разработать календарный план строительства, график движения рабочей силы, график поступления материалов, деталей и изделий, а также график движения машин, используя при этом необходимое программное обеспечение. На этой стадии, к сожалению, невозможно принимать эффективную эколого-экономическую технологию, поэтому использование и внедрение BIM-моделей нужно начинать со стадии проектирования.

В целом авторский подход к цифровизации строительства основан не только на структуризации основных организационно-технологических решений, но и на интеграции BIM-, блокчейн- и дрон-технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комплексная модель технико-экономического обоснования инвестиционно-строительного проекта / И.П. Авилова, И.С. Жариков, А.В. Шарапова, А.В. Желевский // Вестник Белгор. гос. технол. ун-та имени В.Г. Шухова. — 2016. — № 5. — С. 174–178.

2. Бурлаченко О.В., Бурлаченко А.О., Оганесян О.В. Выбор оптимальных технологических решений в условиях плотной городской застройки на основе BIM-технологий // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архитектура. — 2020. — № 1(78). — С. 329–335.
3. Наумов А.Е., Зобова А.Г. Преимущества, инструменты и эффективность внедрения технологий информационного моделирования в строительстве // Вестник Белгор. гос. технол. ун-та имени В.Г. Шухова. — 2017. — № 5. — С. 171–181.
4. Alwan Z., Jones P., Holgate P. Strategic sustainable development in the UK construction industry, through the framework for strategic sustainable development, using Building Information Modeling // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 140 (part 1). SI. Pp. 349–358. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.12.085.
5. Ильинова В.В., Мицевич В. Д. Международный опыт использования BIM-технологий в строительстве // Российский внешнеэкономический вестник. — 2021. — № 6. — С. 79–93.
6. Боркова Е.А., Изотова А.Г., Литвинова Н.А. Цифровая трансформация строительной отрасли в условиях макроэкономического шока COVID-19 // Вопросы инновационной экономики. — 2020. — Т. 10. № 4. — С. 2129–2140. DOI: 10.18334/vines.10.4.111191.
7. Абрамян С.Г., Бурлаченко О.В., Оганесян О.В., Бурлаченко А.О. Система управления жизненным циклом объектов капитального строительства с использованием цифровых технологий // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архитектура. — 2021. — Вып. 4(85). — С. 305–314.
8. Dmitrieva A.S., Samigullin G.H., Lyagova A.A. Evaluation of stress-strain state of steel cylindrical tank with crack defect using ANSYS software // International Forum on Contest of Young Researchers. Topical Issues of Rational Use of Natural Resources. 2019. Pp. 97–103.
9. Васильева Н.В., Бачуринская И.А. Проблемные аспекты цифровизации строительной отрасли // Вестник Алтайской академии экономики и права. — 2018. — № 7. — С. 39–46.
10. Управление жизненным циклом листовых металлических конструкций (резервуаров) на основе BIM-технологий / О.В. Бурлаченко, В.В. Плешаков, А.О. Бурлаченко, О.В. Оганесян // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф., 1–2 дек. 2020 г., Волгоград: в 2-х ч. / Волгогр. гос. техн. ун-т. — Волгоград, — 2020. — Ч. 2. — С. 15–21.
11. Гайсин Э.Ш., Фролов Ю.А. Оценка надежности резервуаров вертикальных стальных по критерию вероятности безаварийной работы // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. — 2014. — № 4. — С. 11–15.
12. Андронов И.Н., Беляев Н.С., Сальников А.В., Майорова Н.С., Терентьева М.В. Разработка надежной преднапряженной конструкции фундамента резервуара для нефти и нефтепродуктов в сложных инженерно-геологических // Нефтегазовое дело. — 2016. — № 1. — С. 123–129.

13. Belostotsky A.M., Akimov P.A., Afansyeva I.N. Multilevel methodology of numerical seismic analysis of coupled systems "foundation — shell — pontoon (floating roof) column(s) — fluid". XXV Polish — Russian — Slovak Seminar-Theoretical Foundation of Civil Engineering. Procedia Engineering. 2016. Vol. 153. Pp. 89–94. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.085.
14. Gorski J., Mikulski T., Sorn P. Safety of Erection and Repair of Steel Tanks with Geometric Imperfections Using Heavylift Jack-Up System. Shell Structures: Theory and Applications, Vol. 3. 2014. Pp. 507–510.
15. Корнюшенко С.И., Фоменко А.А., Яблочков Г.В. Гидрооборудование для технологий монтажа цилиндрических резервуаров // СТТ: Строительная техника и технологии. — 2015. — № 8(116). — С. 54–57.
16. Монтаж резервуаров. URL: <https://enrz.ru/stroitelstvo/montazh-rezervuarov> (дата обращения: 12.10.2021).
17. Носков И.В., Носков К.И., Тиненская С.В., Ананьев С.А. Дрон-технологии в строительстве — современные решения и возможности // Вестник Евразийской науки. 2020. № 5. URL: <https://esj.today/PDF/37SAVN520.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
18. Долгополов Д.В. Возможности использования беспилотных авиационных систем для контроля соответствия результатов строительства площадных объектов трубопроводного транспорта проектным решениям // Вестник СГУГиТ. — 2020. — Т. 25. № 4. — С. 85–95.
19. Семенов А.С., Слонич К.А. Обследования зданий и сооружений с применением беспилотных летательных аппаратов // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. — 2017. — № 9. — С. 160–163.
20. Гинзбург А.В. BIM-технологии на протяжении жизненного цикла строительного объекта // Информационные ресурсы России. — 2016. — № 5. — С. 28–31.

Abramyan Susanna Grantovna

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

E-mail: susannagrانت@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3938-1096>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=589709

Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/C-7099-2016>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=6508040964>

Burlachenko Oleg Vasil'evich

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

E-mail: oburlachenko@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7923-6742>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=282520

Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/ABF-4172-2020>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=41761032900>

Oganesyan Oganess Valer'evich

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

E-mail: ogoganesyan@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2050-2302>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=853422

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57196038412>

Burlachenko Alexander Olegovich

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

E-mail: a.o.burlachenko@gmail.com

Pleshakov Vladimir Vladimirovich

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

E-mail: vladimir.pl81@mail.ru

Construction digitization based on structuring of main technological solutions exemplified by vertical steel tanks

Abstract. The paper based on the analysis of a number of scientific publications and effective normative documents provides an overview of the most common technological solutions for construction of steel vertical cylinder tanks. The aim is to identify the key advantages and disadvantages, and most importantly, to explore the possibility of using digital technologies in resolving optimization-based management tasks at all lifecycle stages of such high-danger utility objects as liquid hydrocarbon storage tanks. In particular, the paper reviews the methods of sheet-by-sheet tank assembly by way of top-down and bottom-up building of tank rings and rolling, and provides a description of specific process flows. Special attention is given to the processes involved in making a solid-cast pilework-supported foundation. The key types of VST roofs are discussed together with the construction technology. The point is made that, compared to other VST construction methods, the sheet-by-sheet assembly by bottom-up building of rings does not seem very effective, as the construction and installation require a great number of mechanisms, machines and appliances, and nearly all works involve considerable labor effort. It is stressed that the most efficient out of the technologies in question is top-down building of tank rings. The overview covers the top-down building technologies developed by a Swedish designer and a Spanish designer for sheet-by-sheet VST assembly with the conclusion that their innovativeness mainly depends on the process equipment used thereby. It also features certain types of jacking systems used for top-down building of tank rings. The authors note that the current opinion on efficiency of the rolling method is not true to the fact, because transportation and assembly require large-scale machines and mechanisms.

They underline the importance of structuring all process flows to make up individual information blocks (blockchains) that will allow building databases

Keywords: tank construction; top-down building; bottom-up building; rolling; digital technologies; blockchains; efficiency