

Статья поступила в редакцию: 18.07.2026

Статья принята к публикации: 31.07.2026

Статья опубликована: 28.08.2026

УДК 699.86:69.05

DOI: 10.32743/UniTech.2026.149.8.23257

Совершенствование технологии процессов теплоизоляции наружных стен многоэтажных жилых зданий

Сайдахмедова Захрохон Рустам қизи

исследователь, Ташкентский архитектурно-строительный университет

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: zahroxonsaydaxmedova@gmail.com

Improvement of external wall thermal insulation processes for multi-storey residential buildings

Saydaxmedova Zahroxon Rustam qizi

Researcher

University of Architecture and Civil Engineering

Republic of Uzbekistan, Tashkent

Аннотация

В статье разработана интегрированная организационно-технологическая модель выполнения наружной теплоизоляции стен многоэтажных жилых зданий. Модель объединяет теплотехническое проектирование, BIM-зонирование фасада, комплектную поставку материалов по захваткам, механизацию приготовления и нанесения клеевых составов, поточную синхронизацию бригад, контроль температурно-влажностных условий, цифровые чек-листы и приемочную инфракрасную термографию. Для демонстрации расчетной процедуры сформирован воспроизводимый сценарный массив из 30 сопоставимых фасадных захваток, каждая из которых рассчитана для базовой и усовершенствованной технологии; модельные значения не представляются как фактические данные конкретной строительной организации. Предложен индекс технологической зрелости теплоизоляционных работ, включающий семь групп факторов. Расчет для наружной стены из газобетона с минераловатным слоем толщиной 120 мм показывает снижение коэффициента теплопередачи с 0,59 до 0,21 Вт/(м²·К), то есть примерно на 64,4 %. По сценарным результатам средняя выработка возрастает с 9,65 до 12,91 м² на человеко-смену, продолжительность цикла на захватке сокращается на 21,0 %, доля дефектных участков — на 57,8 %, отходы теплоизоляционных плит — на 41,2 %, а организационные простои — на 38,9 %. Регрессионная модель указывает на положительную связь технологической зрелости

Библиографическое описание: Сайдахмедова З.Р.Қ. Совершенствование технологии процессов теплоизоляции наружных стен многоэтажных жилых зданий // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2026. 8(149). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23257>

с производительностью и отрицательную — с дефектностью. Практический результат исследования представлен в виде поэтапной технологической карты и системы контрольных точек, пригодной для адаптации к проектам нового строительства и термомодернизации многоквартирных домов.

Abstract

This paper develops an integrated organisational and technological model for external wall insulation of multi-storey residential buildings. The model combines thermal design, BIM-based façade zoning, work-package material logistics, mechanised preparation and application of adhesives, flow-line coordination of crews, temperature and humidity monitoring, digital checklists and final infrared thermography. A reproducible scenario dataset of 30 comparable façade work zones is used to demonstrate the calculation procedure for both a conventional and an improved process; the modelled values are not presented as audited data of any particular contractor. A seven-dimensional Thermal Insulation Technology Maturity Index is proposed. For an aerated-concrete wall with 120 mm mineral-wool insulation, the calculated U-value decreases from 0.59 to 0.21 W/(m²·K), or by approximately 64.4 %. In the scenario results, labour productivity rises from 9.65 to 12.91 m² per person-shift, the work-zone cycle time falls by 21.0 %, defective area by 57.8 %, insulation waste by 41.2 % and organisational downtime by 38.9 %. Regression results indicate a positive association between technology maturity and productivity and a negative association with defects. The practical output is a staged process map and quality-control system adaptable to new construction and thermal renovation of apartment buildings.

Ключевые слова: наружная теплоизоляция, многоэтажный жилой дом, фасад, ETICS, минеральная вата, технологический поток, BIM, контроль качества, тепловые мосты, энергоэффективность.

Keywords: external thermal insulation, multi-storey residential building, façade, ETICS, mineral wool, flow-line construction, BIM, quality control, thermal bridges, energy efficiency.

1. Введение

Наружные стены являются одним из основных элементов теплового контура многоэтажного жилого здания. Их эксплуатационная надежность определяется не только толщиной и теплопроводностью утеплителя, но и качеством подготовки основания, непрерывностью теплоизоляционного слоя, правильностью устройства оконных откосов, балконных примыканий, деформационных швов и других узлов. Даже при корректном теплотехническом проектировании локальные нарушения технологии образуют тепловые мосты, повышают влажностную нагрузку и сокращают срок службы фасадной системы [4–6].

Повышение энергетической эффективности жилищного фонда особенно актуально в условиях роста стоимости энергетических ресурсов и необходимости снижения эксплуатационных расходов. Наружная теплоизоляция позволяет уменьшить теплопотери без сокращения полезной площади помещений, стабилизировать температурный режим несущей

стены и повысить комфорт внутренней среды. Одновременно фасадные работы на многоэтажных объектах связаны с высотной логистикой, погодными ограничениями, большой протяженностью фронта и необходимостью контроля скрытых операций.

Системы наружной теплоизоляции с тонкослойным штукатурным слоем (ETICS) представляют собой комплект взаимосвязанных компонентов: клеевой состав, теплоизоляционные плиты, механические крепления, базовый армированный слой, сетку, грунтовку и декоративное покрытие. Надежность системы определяется их совместимостью и соблюдением технологического регламента. Международные документы рассматривают ETICS как единую систему, поэтому произвольная замена компонентов или изменение схемы монтажа должно быть исключено [3, 9].

На строительной площадке наиболее распространены несинхронная работа звеньев, подача материалов без привязки к захваткам, неподтвержденная готовность основания, пропуск промежуточной приемки и позднее выявление дефектов. При традиционной организации контроль часто проводится после завершения слоя, когда часть критических параметров уже скрыта. Это приводит к переделкам, простоям и перерасходу материалов.

Цель исследования — разработать компактную организационно-технологическую модель, повышающую качество и производительность процессов наружной теплоизоляции стен многоэтажных жилых зданий. Для достижения цели решены задачи: проанализированы технологические риски; сформирована последовательность операций и контрольных точек; выполнен теплотехнический расчет; проведено сценарное сравнение базового и усовершенствованного вариантов; сформулированы рекомендации по внедрению.

2. Теоретические положения и постановка задачи

2. 1. Выбор фасадной системы

Для утепления многоэтажных жилых зданий применяются штукатурные системы ETICS, навесные вентилируемые фасады и префабрикованные утепленные панели. Выбор решения зависит от пожарных требований, архитектуры, состояния основания, доступной механизации, климатических условий и требований к ремонтпригодности. В настоящем исследовании в качестве расчетной принята ETICS с минераловатными плитами, поскольку такая система обеспечивает высокую теплотехническую непрерывность и позволяет детально исследовать влияние мокрых процессов, логистики и промежуточного контроля.

Таблица 1.

Сравнение основных решений наружной теплоизоляции

Система	Преимущества	Технологические ограничения	Рациональное применение
ETICS с минеральной ватой	непрерывный слой; высокая паропроницаемость; малое число металлических мостов	мокрые процессы; зависимость от погоды; строгий контроль клея, анкеров и армирования	новое строительство и термомодернизация многоэтажных жилых зданий
ETICS с EPS	небольшая масса; удобная резка; высокая тепловая эффективность	ограничения по пожарной безопасности и устройству расщечек	объекты и участки, допускаемые действующими нормами

Система	Преимущества	Технологические ограничения	Рациональное применение
Навесной вентилируемый фасад	сухой монтаж; ремонтно-пригодность; широкий выбор облицовки	мосты через кронштейны; высокая роль геодезии и анкеров	высотные объекты с повышенными требованиями к облицовке
Префабрикованные панели	заводская готовность; высокая скорость монтажа	требовательность к точности стыков и грузоподъемной логистике	серийное строительство и крупные программы реконструкции

2.2. Технологические риски и принципы совершенствования

Основные дефекты фасадного утепления формируются на стыке отдельных операций. Недостаточная площадь приклейки увеличивает деформации плит; совпадение вертикальных швов и незаполненные зазоры создают локальные теплопроводные включения; неправильная посадка анкеров снижает устойчивость системы; недостаточный нахлест сетки вызывает трещины. Особую опасность представляют откосы, парапеты, углы, балконные плиты и места прохождения инженерных элементов.

Совершенствование технологии должно основываться на пяти принципах: цифровая подготовка фасада; объективная оценка основания; комплектование материалов по захваткам; синхронизация специализированных звеньев по единому такту; приемка каждой скрытой операции до ее закрытия. Такой подход переносит контроль качества из завершающей стадии внутрь производственного потока.

Рабочая гипотеза состоит в том, что объединение перечисленных принципов повышает выработку не за счет форсирования ручных операций, а за счет уменьшения ожиданий, перемещений, повторного приготовления смесей, переделок и незавершенного производства. Научная новизна заключается в интеграции теплотехнического расчета, BIM-зонирования, поточной организации и цифровой прослеживаемости в единую технологическую модель.

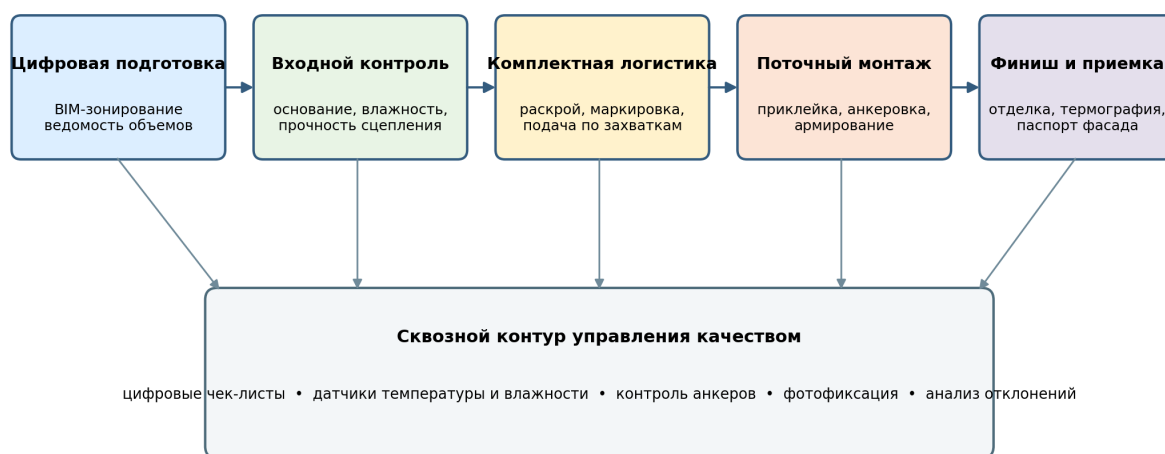


Рисунок 1. Интегрированная модель усовершенствованной технологии наружной теплоизоляции

3. Материалы и методы

3. 1. Расчетный объект и организация исследования

В качестве модельного объекта принят 12-этажный жилой дом с общей площадью фасадов 8640 м². Площадь непрозрачных участков после исключения оконных и дверных проемов составляет 6480 м². Фасад разделен на 30 сопоставимых технологических захваток средней площадью 288 м². Для каждой захватки рассмотрены два сценария: базовый и усовершенствованный.

Базовый сценарий отражает традиционную последовательность с разрозненной подачей материалов, периодическим контролем и ограниченной фиксацией скрытых работ. Усовершенствованный сценарий предусматривает BIM-разбивку, маркировку комплектов, подтверждение готовности основания, контроль климатических условий, пооперационные цифровые чек-листы и балансировку звеньев. Массив носит сценарный характер и используется для воспроизводимой демонстрации методики; при внедрении он должен быть заменен фактическим хронометражем.

3.2. Теплотехническая модель

Термическое сопротивление каждого однородного слоя определялось по выражению:

$$R_i = \delta_i / \lambda_i, (1)$$

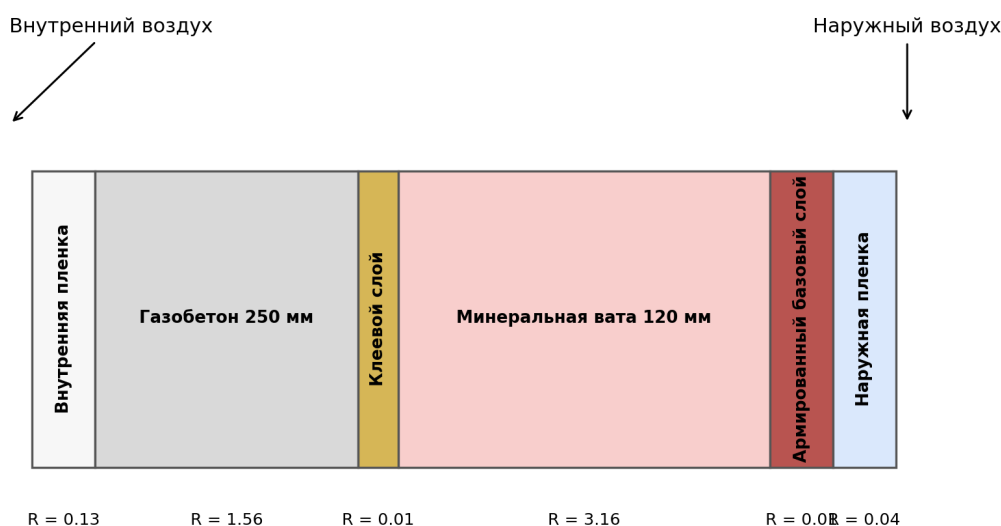
где δ_i — толщина слоя, м; λ_i — расчетная теплопроводность материала, Вт/(м·К).

Полное сопротивление теплопередаче плоского фрагмента стены рассчитывалось с учетом поверхностных сопротивлений:

$$R_0 = R_{si} + \sum(\delta_i / \lambda_i) + R_{se}; U = 1 / R_0. (2)$$

Для оценки влияния узлов учитывается приведенный коэффициент теплопередачи, включающий линейные ψ и точечные χ тепловые мосты. Расчетная экономия теплоты через непрозрачную часть фасада определялась через разность коэффициентов теплопередачи и градусо-сутки отопительного периода:

$$\Delta Q = 24 \cdot (U_0 - U_1) \cdot A \cdot HDD / 1000. (3)$$



Суммарное сопротивление $R_0 \approx 4,91 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; расчетный коэффициент теплопередачи $U \approx 0,204 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

Рисунок 2. Расчетная структура стены с наружной минераловатной теплоизоляцией

3.3. Технологическая последовательность и показатели

Таблица 2.

Основные этапы и встроенные контрольные точки

Этап	Основные операции	Контрольный результат
Подготовка	обмер, карта дефектов, пробные отрывы, BIM-зонирование	подтверждены прочность, влажность и геометрия основания
Комплектование	раскрой, маркировка, упаковка по захваткам	материалы соответствуют сменному заданию, отходы минимизированы
Монтаж плит	приклейка с перевязкой, заполнение швов, выравнивание	подтверждены площадь контакта и плоскостность
Анкеровка и узлы	крепление, откосы, углы, примыкания, рас-сечки	зафиксированы глубина, количество анкеров и непрерывность контура
Армирование и отделка	базовый слой, сетка, грунтовка, декоративное покрытие	подтверждены толщина, нахлесты и климатический режим
Приемка	визуальный контроль, простукивание, термо-графия, паспорт фасада	закрыты замечания и сформирована цифровая история участка

Производительность труда определялась как отношение принятой без замечаний площади $A_{асс}$ к суммарным трудозатратам T_l : $P = A_{асс}/T_l$. Доля дефектной площади рассчитывалась отношением площади дефектов к смонтированной площади, а коэффициент отходов — отношением сверхнормативного расхода утеплителя к нормативному. Продолжительность цикла измерялась от начала подготовки захватки до разрешения на переход к следующему завершённому слою.

Для комплексной характеристики применен индекс технологической зрелости (ИЗТ), включающий готовность основания, комплектную логистику, механизацию, поточную синхронизацию, климатический контроль, контроль скрытых работ и цифровую прослеживаемость. Каждый фактор оценивался по шкале 0–100 баллов; итоговый индекс рассчитывался как взвешенная сумма. Различия двух сценариев оценивались парным сравнением по 30 захваткам.

4. Результаты и обсуждение

4. 1. Теплотехнический результат

Таблица 3.

Расчет сопротивления теплопередаче утепленной стены

Слой	Толщина, м	λ , Вт/(м·К)	R , м ² ·К/Вт
Внутреннее поверхностное сопротивление	—	—	0,130
Газобетон	0,250	0,160	1,563
Клеевой слой	0,005	0,700	0,007
Минераловатная плита	0,120	0,038	3,158
Армированный базовый слой	0,005	0,700	0,007
Наружное поверхностное сопротивление	—	—	0,040
Итого R_0 / U	—	—	4,905 / 0,204

Для исходной стены коэффициент теплопередачи принят равным $0,59 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. После устройства наружного слоя минеральной ваты толщиной 120 мм расчетное значение составляет около $0,204 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, то есть снижается приблизительно на 65 %. При площади непрозрачной части фасада 6480 м^2 и $\text{HDD} = 2200 \text{ К} \cdot \text{сут}$ расчетное уменьшение передачи теплоты достигает около 130 тыс. кВт·ч в год. Значение характеризует сравнительный эффект ограждающей конструкции и не заменяет энергетическое моделирование здания

Практический результат зависит от качества узлов. Непрерывность слоя у перекрытий, откосов и балконных примыканий должна подтверждаться проектными деталями и приемкой до устройства отделки. При наличии металлических элементов и сложной геометрии требуется расчет тепловых мостов по ISO 10211 [5].

4.2. Организационно-технологические показатели

Таблица 4.

Сравнение результатов по 30 модельным захваткам

Показатель	Базовый вариант	Усовершенствованный вариант	Изменение
Выработка, $\text{м}^2/\text{чел.}-\text{смену}$	$9,65 \pm 0,66$	$12,91 \pm 0,99$	+33,8 %
Цикл захватки, сут.	$2,64 \pm 0,18$	$2,08 \pm 0,16$	-21,0 %
Дефектная площадь, %	$5,67 \pm 0,73$	$2,39 \pm 0,65$	-57,8 %
Отходы плит, %	$7,10 \pm 0,55$	$4,17 \pm 0,34$	-41,2 %
Организационные простои, %	$13,54 \pm 1,08$	$8,27 \pm 0,76$	-38,9 %

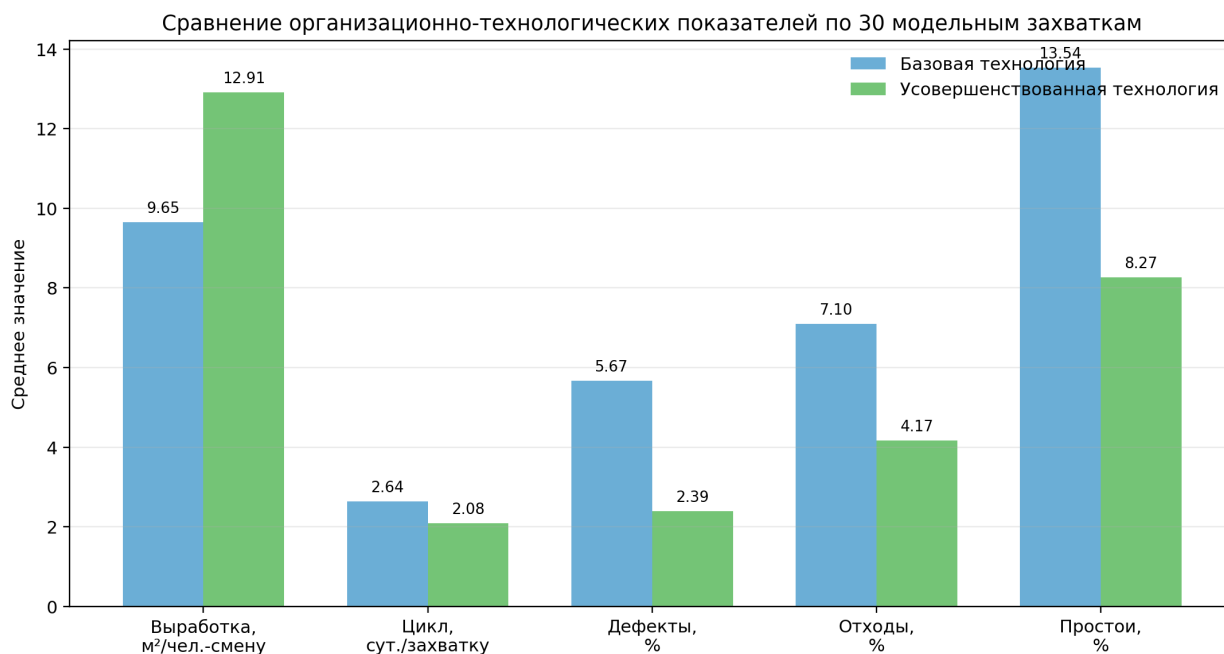


Рисунок 3. Сравнение средних показателей базовой и усовершенствованной технологии

Средняя выработка увеличилась с 9,65 до 12,91 м²/чел.-смену. Рост объясняется предварительным комплектованием материалов, уменьшением непроизводительных перемещений, устойчивой подачей смесей и снижением объема повторных операций. Продолжительность цикла захватки уменьшилась с 2,64 до 2,08 суток, что обеспечивает более равномерное перемещение звеньев и сокращает незавершенное производство.

Наибольшее относительное улучшение получено по дефектной площади — снижение на 57,8 %. Ключевым фактором является приемка скрытых работ: площадь приклейки, схема анкеров, нахлесты сетки и состояние узлов фиксируются до закрытия последующим слоем. Отходы плит уменьшились на 41,2 % благодаря раскрою и маркировке комплектов по захваткам. Организационные простои сократились на 38,9 %.

Сценарный сетевой расчет показал возможность сокращения суммарной продолжительности фасадного цикла со 118 до 93 рабочих дней без увеличения предельной численности основных звеньев. Эффект достигается за счет балансировки операций и ограничения фронта незавершенных работ, а не за счет нарушения технологических выдержек.

4.3. Экономическая и эксплуатационная интерпретация

Экономический эффект формируется из трех составляющих: снижения трудозатрат, уменьшения отходов и сокращения переделок. Для модельного объекта расчетная стоимость фасадного цикла уменьшилась с 356,4 до 333,8 тыс. сум/м². С учетом затрат на BIM-подготовку, обучение и цифровой контроль чистый эффект составил около 123,3 млн сум. Показатель является расчетным и должен уточняться по локальным ценам, составу механизации и договорной схеме конкретного проекта.

Эксплуатационная эффективность связана с сохранением проектного сопротивления теплопередаче. Дефекты приклейки и незаполненные швы могут существенно ухудшать фактическую тепловую защиту [10]. Поэтому термография целесообразна как приемочный инструмент, но ее следует проводить при достаточном температурном перепаде, без прямого солнечного облучения и сильного ветра в соответствии с общими процедурами ISO 6781 – 1 [8].

Полученные результаты подтверждают системный характер эффективности: увеличение толщины утеплителя без организационной дисциплины не обеспечивает устойчивого результата. Проектирование, логистика, монтаж и контроль должны рассматриваться как единая производственная система.

5. Практические рекомендации

Таблица 5.

Рекомендуемые мероприятия по внедрению

Направление	Рекомендуемое действие	Ожидаемый результат
Проектная подготовка	создать BIM-модель фасада, классифицировать узлы и зоны риска	точные объемы, отсутствие неучтенных элементов
Пробный участок	выполнить эталонную захватку и испытания сцепления	утвержденные нормы времени и образец качества

Направление	Рекомендуемое действие	Ожидаемый результат
Логистика	комплектовать и маркировать материалы на одну захватку	снижение перемещений, ожиданий и отходов
Контроль основания	измерять влажность, прочность и отклонение плоскости	предотвращение отслоений и перерасхода клея
Скрытые работы	не закрывать приклейку, анкера и сетку до цифровой приемки	прослеживаемость критических параметров
Климатический режим	фиксировать температуру, влажность и ветер; применять защитные сетки	стабильное твердение мокрых слоев
Финальная приемка	выполнить визуальный контроль, термографию и цифровой паспорт	выявление аномалий до сдачи объекта

Внедрение рекомендуется выполнять поэтапно. На первом этапе стандартизируются технологические карты, чек-листы и критерии приемки. На втором этапе вводятся BIM-зонирование, комплектная логистика и маркировка материалов. На третьем этапе формируется цифровой паспорт фасада с фотографиями скрытых операций, результатами испытаний и перечнем примененных компонентов.

Производственный поток следует балансировать по такту захватки. Подготовка основания должна опережать монтаж не более чем на одну-две захватки; монтаж плит — армирование на величину технологической выдержки. Чрезмерное расширение фронта создает незавершенное производство, усложняет защиту от осадков и увеличивает риск повреждения открытого утеплителя.

Минимальный набор измеримых критериев включает прочность и влажность основания, площадь контакта клея, плоскостность плит, глубину и количество анкеров, нахлест сетки, толщину базового слоя, температуру и влажность воздуха. Контроль должен быть связан с ответственным исполнителем и конкретной захваткой.

Для многоэтажных объектов технологические решения необходимо согласовывать с требованиями пожарной безопасности и охраны труда. Конкретная схема противопожарных рассечек, тип утеплителя и состав системы принимаются по национальным нормам и документам производителя. Средства подмащивания и подачи материалов выбираются с учетом геометрии фасада, ветровых условий и безопасной производительности.

6. Заключение

Разработана усовершенствованная технология процессов наружной теплоизоляции стен многоэтажных жилых зданий, объединяющая теплотехническое проектирование, BIM-зонирование, комплектную логистику, поточную синхронизацию и пооперационный цифровой контроль. В отличие от традиционного подхода объектом управления является законченная захватка с подтвержденным качеством скрытых операций.

Расчет модельной стены показал снижение коэффициента теплопередачи с 0,59 до 0,204 Вт/(м²·К). Сценарное сравнение 30 захваток установило увеличение выработки на 33,8 %, уменьшение цикла на 21,0 %, дефектной площади на 57,8 %, отходов на 41,2 % и простоев на 38,9 %. Эти результаты подтверждают целесообразность комплексного совершенствования технологических и организационных процедур.

Практическая ценность исследования состоит в переводе общих требований энергоэффективности и надежности в систему измеримых контрольных точек. Применение предложенной модели позволяет сократить переделки, обеспечить прослеживаемость качества и приблизить фактические характеристики фасада к проектным значениям.

Список литературы

1. Постановление Президента Республики Узбекистан от 10.07.2020 № ПП-4779 «О дополнительных мерах по сокращению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетической продукции путем повышения энергетической эффективности экономики и использования имеющихся ресурсов».
2. Barreira E., de Freitas V.P. Experimental study of the hygrothermal behaviour of ETICS // Building and Environment. – 2013. – Т. 63.
3. EOTA. EAD 040083-01-0404. External thermal insulation composite systems with rendering system. European Assessment Document. EOTA.
4. ISO 6946:2017. Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation methods.
5. ISO 10211:2017. Thermal bridges in building construction – Heat flows and surface temperatures – Detailed calculations.
6. ISO 13788:2012. Hygrothermal performance of building components and building elements – Internal surface temperature and interstitial condensation – Calculation methods.
7. ISO 9869–1:2014. Thermal insulation – Building elements – In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance – Part 1: Heat flow meter method.
8. ISO 6781–1:2023. Performance of buildings – Detection of heat, air and moisture irregularities in buildings by infrared methods – Part 1: General procedures.
9. Michalak J. External Thermal Insulation Composite Systems from Industry and Academia Perspective // Sustainability. 2021. – 2021. – Т. 13.
10. Nardi I., Perilli S. de Rubeis T., Sfarra S., Ambrosini D. Influence of insulation defects on the thermal performance of walls: experimental and numerical investigation // Journal of Building Engineering. – 2019.
11. Parracha J.L. et al. Toward the Sustainable and Efficient Use of External Thermal Insulation Composite Systems // Buildings. -2023. -. – 2023. – Т. 13.
12. Sulakatko V., Lill I., Liisma E. Analysis of On-site Construction Processes for Effective ETICS Installation // Procedia Economics and Finance. 2015. -. – 2015. – Т. 21.

References

1. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. PP-4779 dated 10.07.2020 'On Additional Measures to Reduce the Dependence of Economic Sectors on Fuel and Energy Products through Improving Energy Efficiency of the Economy and Utilizing Available Resources'] (In Russ.)

2. Barreira E., de Freitas V.P. Experimental study of the hygrothermal behaviour of ETICS. *Building and Environment*. 2013. Vol. 63. P. 31–39.
3. EOTA. EAD 040083-01-0404. External thermal insulation composite systems with rendering system. European Assessment Document. EOTA.
4. ISO 6946:2017. Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation methods.
5. ISO 10211:2017. Thermal bridges in building construction – Heat flows and surface temperatures – Detailed calculations.
6. ISO 13788:2012. Hygrothermal performance of building components and building elements – Internal surface temperature and interstitial condensation – Calculation methods.
7. ISO 9869–1:2014. Thermal insulation – Building elements – In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance – Part 1: Heat flow meter method.
8. ISO 6781–1:2023. Performance of buildings – Detection of heat, air and moisture irregularities in buildings by infrared methods – Part 1: General procedures.
9. Michalak J. External Thermal Insulation Composite Systems from Industry and Academia Perspective. *Sustainability*. 2021. Vol. 13. 13705.
10. Nardi I., Perilli S. de Rubeis T., Sfarra S., Ambrosini D. Influence of insulation defects on the thermal performance of walls: experimental and numerical investigation // *Journal of Building Engineering*. – 2019.
11. Parracha J.L. et al. Toward the Sustainable and Efficient Use of External Thermal Insulation Composite Systems. *Buildings*. 2023. Vol. 13. 1664.
12. Sulakatko V., Lill I., Liisma E. Analysis of On-site Construction Processes for Effective ETICS Installation. *Procedia Economics and Finance*. 2015. Vol. 21. P. 297–305.