УДК 699.86

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ НАВЕСНЫХ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ МЕТОДОМ УКРУПНИТЕЛЬНОЙ СБОРКИ

INNOVATION TECHNOLOGY OF INSTALLATION OF HINGED VENTILATED FACADES BY METHOD OF LATERAL ASSEMBLY

А.А. АФАНАСЬЕВ, А.А. ЖУНИН
A.A. AFANASYEV, A.A. ZHUNIN

(Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)
(National Research Moscow State University of Civil Engineering)
E-mail: kanz@mgsu.ru

В статье описана разработка технологических решений по возведению системы навесного вентилируемого фасада методом укрупнительной сборки. Представлены основные технологические решения по монтажу фасадных панелей в условиях строительной площадки, особенности применяемых монтажных средств, контроля качества работ и надежности системы. На основе теоретических и конструктивных решений разработана система навесных вентилируемых фасадов с высоким уровнем заводской готовности и широкой областью применения. Использование технологии возведения навесных вентилируемых фасадов методом укрупнительной сборки в монолитном домостроении существенно снижает трудоемкость (до 3,3 раз) и себестоимость работ (до 4,2 раз).

The development of technological solutions for the erection of a hinged ventilated facade by the method of aggregate assembly is described in the article. The main technological solutions for the installation of front panels in the conditions of the construction site, the features of the installation tools used, quality control and reliability of the system are presented. The system of hinged ventilated facades with a high level of factory readiness and a wide range of applications is developed on the basis of theoretical and constructive solutions. Using the technology of erecting hinged ventilated facades by the method of agregate assembly in monolithic housing construction significantly reduces labor intensity (up to 3.3 times) and the cost of work (up to 4.2 times).

Ключевые слова: вентилируемые фасады, беспетлевой монтаж, самобалансирующаяся траверса, метод укрупнительной сборки.

Keywords: ventilated facades, loopless installation, self-balancing beam, preassembly method.

На сегодняшний день конструкции наружных стен с использованием навесных вентилируемых фасадов являются весьма распространенными [1]. Традиционный метод возведения навесных вентилируемых фасадов заключается в устройстве стенового ограждения в виде самонесущих стен из мелкоштучных изделий (кирпич, блок) [2]. После чего выполняется поэлементная сборка НВФ на формируемой плоскости фасада, предусматривающая наличие большого числа технологически сложных рабочих операций, требующих инструментального контроля [3].

В основу предмета исследования легли методы снижения трудозатрат при устройстве энергоэффективных ограждающих конструкций и улучшения контроля качества монтажных работ путем разработки новых конструктивно-технологических решений [4], [5].

Известно, что выполнение рабочих операций по установке кронштейнов, монтажу утеплителя, направляющих и облицовочных элементов подразумевает участие высококвалифицированных рабочих. Для производства комплекса работ по устройству подосновы и облицовки требуется выполнять технологический регламент и требования альбома технических решений на применяемую подсистему НВФ. Особое место в производстве работ отводится геодезическим работам, с помощью которых контролируется проектное размещение конструктивных элементов [6].

Основными технологическими документами являются проект производства работ и технологические карты, которые устанавливают технологические параметры и контроль качества работ.

Выполнение рабочих операций по монтажу утеплителя, облицовки и регулированию ее проектного положения возможно только с внешней стороны фасада [7]. Таким образом, при производстве работ с помощью указанного метода возведения НВФ необходимо применять фасадные подъемники, платформы, строительные леса, люльки и другие средства механизации и подмащивания, обеспечивающие возможность производства работ и доступ к конструктивным элементам ограждающих конструкций с внешней стороны. Наиболее трудозатратным, но, в то же время, наиболее дешевым вариантом устройства НВФ является монтаж с подвесных люлек [8].

Известно, что с увеличением высотности зданий усложняется контроль качества, так как возрастает трудоемкость рабочих процессов, связанных с транспортировкой материала и монтажом, заделкой стыков и узлов [9].

Целью исследования явилась разработка индустриальной технологии возведения энергоэффективных ограждающих конструкций, оптимизация, стандартизация и унификация производственных процессов при возведении фасадных систем методом укрупнительной сборки.

В основу метода принята технология заводского производства железобетонных ограждающих элементов шириной, равной осевому размеру между внутренними несущими стенами.

Предусматривается разработка технологического решения фасадной системы, позволяющего:

- с помощью индустриального способа устройства вертикальных и горизонтальных стыков стеновых панелей добиться существенного снижения трудозатрат и исключения образования мостиков холода в зоне стыка фасадных конструкций;
- обеспечить максимально эффективный уровень теплоизоляции при наименьшем увеличении материалоемкости и стоимости;
- удовлетворять архитектурным требованиям.

Методика разработки индустриальной технологии возведения вентилируемых фасадов состоит из теоретической, экспериментальной части и анализа полученных результатов.

Теоретическая часть исследования представляет собой разработку технологических решений, позволяющих исключить необходимость ручной заделки стыков стеновых панелей. Данная часть исследования выполняется в несколько этапов.

1. Разработка конструктивно-технологического решения фасадной системы с возможностью регулировки плоскости с целью обеспечения требуемой точности монтажа, а также теплоизолирующие свойства в зоне стыка фасадных панелей.

2. Разработка технологического решения системы, обеспечивающего компенсацию допустимых отклонений основания с учетом температурно-осадочных деформаций при эксплуатации фасада.

3. Сравнение эффективности предлагаемой технологии возведения вентилируемых фасадов с традиционными (с применением строительных лесов, фасадных люлек и самоподъемных монтажных платформ).

Экспериментальная часть представляет собой планирование и проведение исследований, направленных на определение трудозатрат по изготовлению и монтажу фасадных панелей, а также герметичности их стыков. Качество стыковки панелей при использовании предлагаемой технологии возведения является важнейшим показателем, определяющим целесообразность ее применения [10].

Выполнение экспериментальной части исследования осуществляется в несколько этапов.

1. Изготовление и установка в проектное положение экспериментальных образцов, соответствующих конструктивным элементам предлагаемой фасадной системы.

2. Определение трудозатрат по изготовлению и установке изделий в проектное положение в процессе установки образцов.

3. Определение тепловых потерь в зоне стыка фасадных панелей [11].

При этом изготавливается несколько типов панелей с оконными и дверными проемами (для лоджий и балконов), возможно также изготовление элементов эркеров (рис. 1 – схема размещения вентфасадных панелей на фрагменте типового этажа панельного дома) [12].

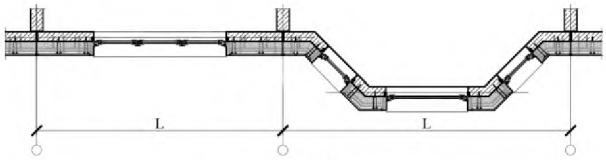

Рис. 1

Производство работ по устройству панелей вентфасада осуществляется на технологической линии с постами, на которых выполняются определенные типы операций.

После тепловой обработки бетона стеновых панелей и достижения прочности не менее 70% Ry осуществляют бурение отверстий для установки кронштейнов и распорных анкеров. Для обеспечения проектного размещения анкеров используются специальные шаблоны. Выбуривание производится специальными сверлами с режущей частью с алмазным напылением и ограничителями по глубине.

Важным условием создания панелей вентфасада является высокая точность геометрических размеров, которая достигается фрезерованием отдельных участков. Подобную обработку панелей осуществляют в зоне опорных элементов на сборные или монолитные перекрытия, где относительный горизонт (монтажный горизонт) достигается обработкой угловой шлифмашиной, либо фрезерным станком по бетону.

В процессе изготовления панели в заводских условиях, после выполнения фрезерных работ осуществляют продувку отверстий под анкера и устанавливают распорные анкера и кронштейны. Отклонение размещения кронштейнов относительно проектного положения должно удовлетворять требованиям технических условий на применяемую систему НВФ, либо проектным решениям на устройство соответствующей системы. Для различных подконструкций данные отклонения могут отличаться. В среднем допустимые отклонения составляют от 5 до 20 мм.

Наличие кронштейнов дает основание для утепления поверхности минераловатными плитами. Для обеспечения стабильного геометрического положения плит утеплителя требуется их проектное крепление полимерными анкерами с металлическим сердечником к основанию. Целесообразно использовать жесткие и полужесткие плиты утеплителя с расчетной толщиной для соответствующего города.

Заводская установка подсистемы производится на технологической линии с соблюдением последовательности монтажа и технологических операций.

В зависимости от конструктивного решения подсистемы ее сборка производится на специально оборудованных постах. Обязательным условием является контроль качества работ и геометрических размеров.

Особое внимание уделяется разработке средств механизации для установки панелей в проектное положение.

Их монтаж осуществляется с использованием башенных кранов. Необходимо применять систему беспетлевого монтажа с траверсы. Такое решение позволяет получать единый монтажный горизонт и прос-

тое размещение панелей (рис. 2 – схема установки фасадной панели: 1 – траверса с противовесом; 2 – беспетлевой монтаж панели; 3 – панель вентфасада; 4 – телескопический подкос для выверки панели; 5 – выверочные домкраты; 6 – резьбовая муфта и рым-гайка).

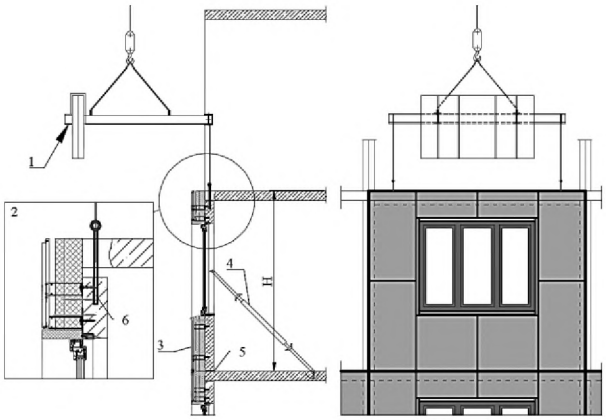

Рис. 2

При наличии возможных отклонений доводка панелей производится с использованием выверочных домкратов и телескопических подкосов.

Для проектного закрепления вентфасадных панелей используются болтовые и/или сварные соединения закладных деталей. Предпочтение отдается болтовым соединениям в связи с тем, что они дают возможность более гибкой регулировки.

Экспериментальные исследования показали, что некачественная подготовка монтажного горизонта, как и отклонения вертикальности стеновых конструкций, приводят к трудно исправимым дефектам.

Анализ результатов показал, что размещение на консольной части позволяет увеличить допуск в горизонтальном положении с последующей компенсацией за счет применения меньшей ширины панели.

Наибольшую технологическую сложность представляет вариант установки фасадных панелей при наличии монолитных несущих конструкций.

Для обеспечения безопасной технологии монтажа разработана специальная самобалансирующаяся траверса, позволяющая перемещать вентфасадную панель в проектное положение, за счет создания в перекрытии прорезей толщиной 1,5…2,0 диаметра строповочного троса и глубиной до 0,7…0,8 толщины несущей части вентфасадной плиты.

Благодаря применению самобалансирующейся траверсы с противовесом обеспечивается возможность устройства фасадных панелей независимо от процесса возведения монолитного перекрытия и стен.

Таким образом, есть возможность возведения последующих этажей строящегося здания без привязки к устройству фасадных панелей на нижележащих этажах.

После заведения панели устанавливаются выверочные телескопические подкосы. Панель освобождается от строповочных устройств после выверки в проектное положение и болтового крепления. Применяется технология беспетлевого монтажа.

При выполнении выверки особое внимание уделяется совмещению горизонтальных и вертикальных швов между облицовочными плитами применяемых панелей.

В случае заметного отклонения швов производят дополнительное смещение с использованием гидравлических мини-домкратов.

Производится геодезический контроль точности монтажа (возведения) вертикальных и горизонтальных конструкций (перекрытия).

Как показали исследования, размещение несущих панелей на плитах перекрытия с выступами, равными по толщине несущей части вентфасадных панелей, существенно увеличивается допуск установки.

При сочетании суммарного расчетного допуска обеспечивается проектная установка панели вентфасада с некоторым смещением в сторону монтажа.

Основываясь на разработанных технологических решениях устройства навесных вентилируемых фасадов методом укрупнительной сборки, было проведено экспериментальное исследование, целью которого являлось определение трудозатрат при изготовлении и монтаже фасадных панелей, а также определении герметичности их вертикальных и горизонтальных стыков.

В соответствии с действующими строительными нормами и полученными опыт-

ным и аналитическим путем трудозатратами, а также на основании полученных стоимостных данных по различным конструктивным решениям и технологическим параметрам навесных вентилируемых фасадных систем, путем проведения регрессионного анализа были получены линии тренда зависимости удельных трудозатрат и стоимостей применяемого материала.

Полученные показатели трудозатрат и стоимостей были сопоставлены с показателями традиционных методов устройства навесных вентилируемых фасадов.

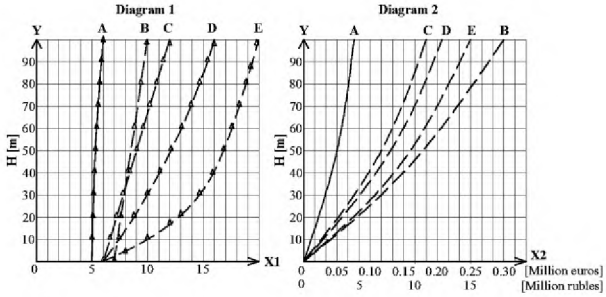

Рис. 3

Данные представлены на рис. 3 (диаграммы зависимости удельных трудозатрат (Diagram 1) и стоимости работ (Diagram 2) в зависимости от применяемой технологии монтажа фасада и высоты производства работ (X1 – удельные трудозатраты, чел.ч/м^2; X2 – стоимость работ, млн.евро и млн.руб; H[m] – высота производства работ; A – метод укрупнительной сборки фасада; B – метод возведения с применением фасадных платформ; C – метод возведения, с применением рамных лесов; D – метод возведения с применением хомутовых лесов; E – метод с применением фасадных люлек)).

В качестве расчетного участка был выбран фасад монолитного 20-этажного жилого дома. Размеры участка фасада: длина 40 м, высота 65 м. Тип вентилируемого фасада: стеклофибробетон на стальной окрашенной подсистеме. Стоимость работ принята по состоянию на 1-й квартал 2017 г.

На графиках учитываются суммарные затраты на производство работ по изготовлению конструктивных элементов в заводских условиях и их монтажу (в том числе кладки стен из газобетона для диаграмм B, C, D, E).

В соответствии с полученными графиками зависимости удельных трудозатрат и стоимостей была получена таблица коэффициентов, отражающих эффективность применения предлагаемой технологии монтажа в зависимости от высоты производства работ (табл. 1 – эффективность метода укрупнительной сборки вентилируемых фасадов по сравнению с традиционными методами в зависимости от высоты производства работ).

Таблица 1

№ п/п	Высота производства работ, м	Минимальный коэффициент снижения стоимости работ k1min	Максимальный коэффициент снижения стоимости работ k1max	Минимальный коэффициент сокращения удельных трудозатрат k2min	Максимальный коэффициент сокращения удельных трудозатрат k2max
1	10	2,525	4,167	1,334	2,045
2	20	2,308	3,769	1,453	2,54
3	30	2,250	4,007	1,549	2,862
4	40	2,360	3,653	1,596	3,048
5	50	2,333	3,602	1,604	3,212
6	60	2,353	3,676	1,611	3,241
7	70	2,316	3,632	1,637	3,309
8	80	2,375	3,806	1,652	3,318
9	90	2,452	3,923	1,662	3,327
10	100	2,444	4,011	1,667	3,333

Результаты комплексных исследований показали, что использование вентфасадных панелей заводского производства позволяет снизить трудоемкости работ в 1,3…3,3 раза, а стоимости работ в 2,5…4,2 раза с обеспечением высокого качества фасадных

работ. Важно отметить, что эффективность предлагаемого метода монтажа возрастает с увеличением высоты производства работ.

Важным условием при разработке технологических решений по устройству вентфасада методом укрупнительной сборки является обеспечение герметичности вертикальных и горизонтальных стыков фасадных панелей.

Изготовленные образцы фасадных панелей были подвержены тепловизионному обследованию с предварительным демонтажем элементов финишной облицовки и направляющих с целью получения более точных результатов при использовании измерительного оборудования.

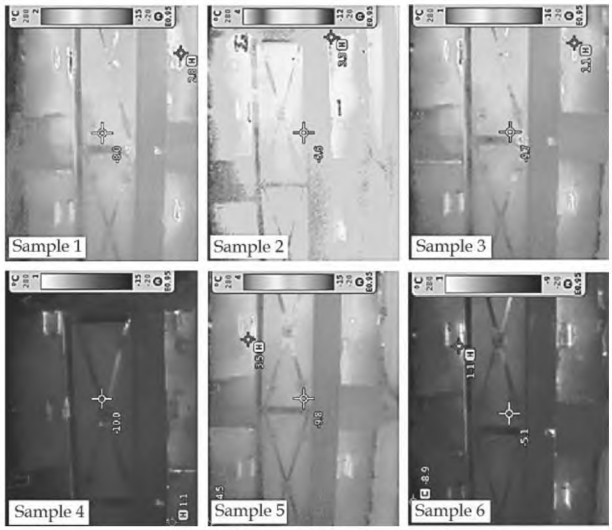

Рис. 4

На рис. 4 представлены 6 термограмм, показывающих тепловые потери в зоне вертикальной и горизонтальной стыковки фасадных панелей.

В соответствии с полученными термограммами можно сделать вывод о том, что мостики холода в зоне стыков полностью отсутствуют на всех испытуемых образцах.

За счет использования сборных конструкций исключаются кладочные работы по возведению самонесущих стен, снижается объем работ по оштукатуриванию внутренних поверхностей. Снижается стоимость производства работ.

Конструктивное решение разработанной фасадной системы учитывает требования сертифицированных альбомов технических решений российских и зарубежных производителей на устройство элементов подсистемы и утеплителя.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований была разработана система модульных конструктивных фасадных элементов с широкой областью применения, исключающая необходимость ручной заделки стыков панелей, что в свою очередь исключает необходимость применения использования фасадных подъемников, строительных лесов и других средств подмащивания.

2. Разработана методика существенного сокращения трудозатрат и улучшения контроля качества работ при монтаже с помощью увеличения уровня заводской готовности фасадных конструкций.

3. Разработанное технологическое решение по устройству навесных вентилируемых фасадов имеет область применения в монолитном домостроении.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Gorshkov A., Vatin N., Nemova D., Shabaldin A., Melnikova L., Paramonov K.* Using life-cycle analysis to assess energy savings delivered by building insulation // Procedia Engineering. – 117, 2015.

2. *Diarce G., Campos-Celador A., Martin K., Urresti A., Garcia-Romero A., Sala J.M.* A comparative study of the CFD modeling of a ventilated active façade including phase change materials // Applied Energy. – 126, 2014.

3. *De Gracia A., Castell A., Navarro L., Oró E., Cabeza L.F.* Numerical modelling of ventilated façades: a review // Renew. Sustain. Energy Rev. – 22, 2013. P.539…549.

4. *Тамразян А.Г.* Бетон и железобетон: проблемы и перспективы // Промышленное и гражданское строительство. – 2014, № 7. С.51…54.

5. *Тамразян А.Г.* Ресурс живучести – основной критерий проектных решений высотных зданий // Жилищное строительство. – 2010, №1. С.15…18.

6. *Feng X., Yang Hua, Feng X., Jin F., Xia G.* A review of research development of ventilated double-skin façade // Applied Mechanics and Materials. – 587…589, 2014.

7. *Колесова Е.Н.* Навесной вентилируемый фасад: классификация элементов, входящих в его состав, и проблемы, связанные с проектированием воздушного зазора // Вестник Пермского национальн.-исследоват. политехн. ун-та // Строительство и архитектура. – 2016, 7, 2.

8. *Lopez F.P., Jensen R.L., Heiselberg P., Santiago M.R.A.* Experimental analysis and model validation of an opaque ventilated facades // Building and Environment. – 56, 2012.

9. *Русанов А.Е., Головнев С.Г.* Исследование влияния дефектов устройства навесных фасадных систем на теплозащитные свойства стеновых ограждающих конструкций // Академический Вестник УралНИИПроект РААСН. – 2014, 2.

10. *Aparicio-Fernandez C., Vivancos J.-L., Ferrer-Gisbert P., Royo-Pastor R.* Energy performance of aventilated façade by simulation with experimental validation // Applied Thermal Engineerin. – 66, 2014.

11. *Гагарин В.Г., Плющенко Н.Ю.* Определение термического сопротивления вентилируемой прослойки НФС // Строительство: наука и образование. – 2015, №1.

12. *Афанасьев А.А., Жунин А.А.* Индустриальная технология возведения энергоэффективных ограждающих конструкций // Технология и организация строительного производства. – 2014, 2, 7.

R E F E R E N C E S

1. Gorshkov A., Vatin N., Nemova D., Shabaldin A., Melnikova L., Paramonov K. Using life-cycle analysis to assess energy savings delivered by building insulation // Procedia Engineering. – 117, 2015.

2. Diarce G., Campos-Celador A., Martin K., Urresti A., Garcia-Romero A., Sala J.M. A comparative study of the CFD modeling of a ventilated active façade including phase change materials // Applied Energy. – 126, 2014.

3. De Gracia A., Castell A., Navarro L., Oró E., Cabeza L.F. Numerical modelling of ventilated façades: a review // Renew. Sustain. Energy Rev. – 22, 2013. P.539…549.

4. Tamrazjan A.G. Beton i zhelezobeton: problemy i perspektivy // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2014, № 7. S.51…54.

5. Tamrazjan A.G. Resurs zhivuchesti – osnovnoj kriterij proektnyh reshenij vysotnyh zdanij // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – 2010, №1. S.15…18.

6. Feng X., Yang Hua, Feng X., Jin F., Xia G. A review of research development of ventilated double-skin façade // Applied Mechanics and Materials. – 587...589, 2014.

7. Kolesova E.N. Navesnoj ventiliruemyj fasad: klassifikacija jelementov, vhodjashhih v ego sostav, i problemy, svjazannye s proektirovaniem vozdushnogo zazora // Vestnik Permskogo nacional'n.-issledovat. politehn. un-ta // Stroitel'stvo i arhitektura. – 2016, 7, 2.

8. Lopez F.P., Jensen R.L., Heiselberg P., Santiago M.R.A. Experimental analysis and model validation of an opaque ventilated facades // Building and Environment. – 56, 2012.

9. Rusanov A.E., Golovnev S.G. Issledovanie vlijanija defektov ustrojstva navesnyh fasadnyh sistem na teplozashhitnye svojstva stenovyh ograzhdajushhih konstrukcij // Akademicheskij Vestnik UralNIIProekt RAASN. – 2014, 2.

10. Aparicio-Fernandez C., Vivancos J.-L., Ferrer-Gisbert P., Royo-Pastor R. Energy performance of aventilated façade by simulation with experimental validation // Applied Thermal Engineerin. – 66, 2014.

11. Gagarin V.G., Pljushhenko N.Ju. Opredelenie termicheskogo soprotivlenija ventiliruemoj proslojki NFS // Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie. – 2015, №1.

12. Afanas'ev A.A., Zhunin A.A. Industrial'naja tehnologija vozvedenija jenergojeffektivnyh ograzhdajushhih konstrukcij // Tehnologija i organizacija stroitel'nogo proizvodstva. – 2014, 2, 7.

Рекомендована Ученым советом. Поступила 16.08.17.