

ВЛИЯНИЕ ТАРЕЛЬЧАТОГО ДЮБЕЛЯ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФАСАДНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С НАРУЖНЫМ ШТУКАТУРНЫМ СЛОЕМ

Ограждающие конструкции с теплоизоляционным фасадом с тонким штукатурным слоем нашли широкое применение в современном строительстве. Такое утепление приемлемо по цене и позволяет достичь значений приведенного сопротивления теплопередаче, близких к нормативным требованиям.

Расположение теплоизоляционного слоя с наружной стороны стены в рассматриваемых конструкциях обладает рядом преимуществ с теплофизической точки зрения. В частности, исключается влияние почти всех теплопроводных включений (мостиков холода), которые обычно присутствуют в конструкциях. Последнее обстоятельство приводит к тому, что при проектировании этих конструкций коэффициент теплотехнической однородности принимается без расчетов близким к единице.

Однако ограждающие конструкции с теплоизоляционными фасадами с тонким штукатурным слоем все же обладают теплопроводными включениями, которые существенно снижают коэффициент теплотехнической однородности и приведенное сопротивление теплопередаче, кроме того, они вносят вклад во влажностный режим конструкции. К таким теплопроводным включениям относятся оконные откосы, балконные плиты, стыки плит утеплителя, дюбели, крепящие утеплитель к стене.

Данная статья посвящена рассмотрению влияния дюбелей на теплофизические свойства рассматриваемых ограждающих конструкций.

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ШТУКАТУРНОГО ФАСАДА В ЗОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ТАРЕЛЬЧАТОГО ДЮБЕЛЯ

Дюбель служит для крепления теплоизоляционного слоя к ограждающей конструкции. Конструктивно он состоит из гильзы и распорного элемента. По длине гильзы различаются три участка: тарельчатый держатель, рядовая зона и распорная зона. У распорного элемента различаются два участка — головка и рядовая зона. Примеры дюбелей приведены на рисунке 1.

В стене с теплоизоляционным фасадом с тонким штукатурным слоем дюбель с металлическим распорным элементом является типичным теплопроводным включением. При расчетах теплотехнических характеристик таких стен влияние дюбелей практически не учитывают, что привело к неконтролируемому упрощению дюбеля и возрастанию тепловых потерь через стену.

Обычно при оценке влияния теплопроводного включения на теплотехнические качества конструкции основными являются два параметра: дополнительный тепловой поток через выделенный узел и минимальная температура на внутренней поверхности стены. Температура внутренней поверхности стены нормируется санитарно-гигиеническими требованиями СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита здания» и не должна опускаться ниже точки росы на самых холодных участках конструкции. Причина таких требований очевидна — гарантия отсутствия выпадения конденсата на внутренней облицовке даже локально и в самых неблагоприятных условиях.

Дополнительный тепловой поток через узел, ΔQ , определяется как разность между тепловым потоком через узел и тепловым потоком через однородный участок конструкции той же площади. Эта величина позволяет определить влияние данного вида теплопроводного включения на приведенное сопротивление теплопередаче конструкции.

Особенностью штукатурного фасада является чувствительность наружного штукатурного слоя к перепадам температуры и влаж-

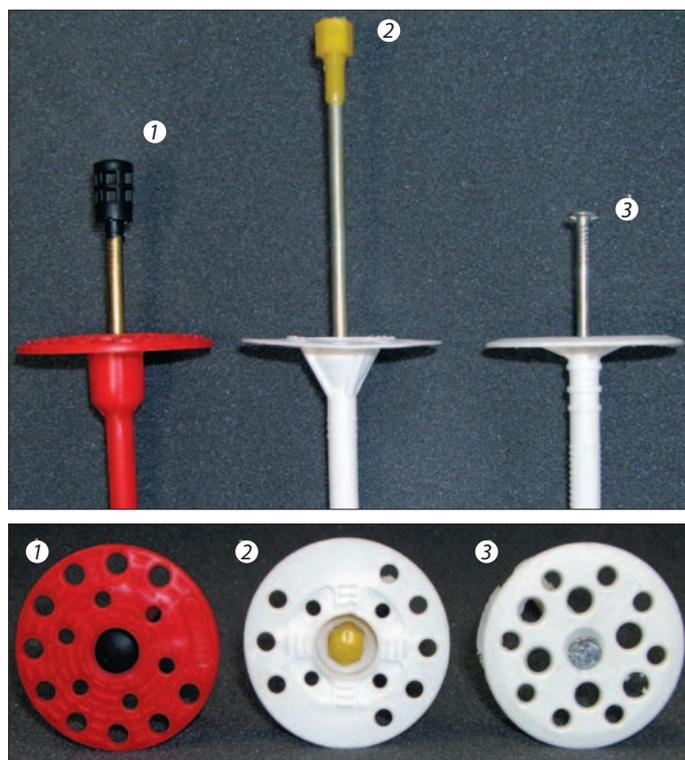


Рис. 1. Три варианта дюбелей с различными термоизоляционными решениями

ности. В связи с этим возникает дополнительная необходимость в контроле температуры наружной поверхности стены. В то же время из опыта расчетов установлено, что влияние дюбеля на температуру внутренней поверхности стены незначительно, так как тепловой поток через дюбель мал, а сам дюбель не доходит до внутренней поверхности. Поэтому далее этот параметр практически не рассматривается.

Влияние теплопроводного включения на теплофизические свойства конструкции зависит от многих факторов. В рассматриваемом случае основными факторами являются:

- количество дюбелей на квадратный метр;
- материал распорного элемента;
- диаметр распорного элемента;
- детали головки дюбеля;
- материал основания стены;
- толщина и коэффициент теплопроводности наружного штукатурного слоя.

В данной статье рассматривается влияние только тех факторов, которые определяются выбором дюбеля. Что касается оценки вклада основания и наружной штукатурки, можно лишь заметить, что чем больше коэффициент теплопроводности материалов слоев обрамляющих теплопроводное включение, тем больше влияние этого включения на теплофизические свойства конструкции.

ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ УЗЛА РАСПОЛОЖЕНИЯ ДЮБЕЛЯ В КОНСТРУКЦИИ

Приводимые ниже расчеты выполнены для конструкции с основанием из железобетонной стены толщиной 200 мм, утепленной минераловатными плитами толщиной 150 мм с тонким штукатурным слоем толщиной 6 мм. Расчетные коэффициенты теплопро-

водности материалов указанных слоев составляют: железобетона — 2,04 Вт/(м⁰С), минеральной ваты — 0,045 Вт/(м⁰С), штукатурки — 0,40 Вт/(м⁰С).

Расчеты проведены для трех вариантов дюбелей, пронумерованных на рисунке 1. Выбранные дюбели различаются в основном решением теплоизоляции стального распорного элемента. В первом варианте распорный элемент дюбеля защищен полкой головкой из полиамида и специальной конструкцией тарельчатого держателя с достаточно низкой теплопроводностью. Во втором варианте полнотелая головка распорного элемента выполнена таким образом, что в тарельчатом держателе остается место вокруг головки, заполняемое штукатуркой. В третьем варианте распорный элемент ничем не защищен, можно сказать, что головка распорного элемента отсутствует.

Влияние теплопроводного включения на теплозащитные характеристики конструкции исследовано путем расчета температурного поля фрагмента конструкции в зоне расположения дюбеля. Результаты такого расчета представлены в виде схемы конструкции с нанесенными на нее линиями равной температуры (изотермами), проведенными с шагом в 4 °С. Так как рассматриваемый фрагмент конструкции имеет ось симметрии, проходящую через ось дюбеля, расчеты проводятся в цилиндрических координатах. Приводимые ниже температурные поля являются разрезом фигуры вращения с осью на верхней границе.

На рисунках 2 и 3 приведены температурные поля узла установки дюбеля №1 и №3. Из рисунков видно, что основное различие распределения температуры приходится на головку дюбеля и наружную штукатурку. Различие в решении головки дюбеля приводит к значительному различию в теплофизическом качестве исследуемого узла. Если в первом варианте на штукатурку не попадает даже самая крайняя изотерма с температурой — 24 °С, то во втором случае в штукатурку попадают четыре изотермы, вплоть до соответствующей — 12 °С. Следует заметить, что ни одна изотерма из приведенных даже близко не подходит к внутренней поверхности стены, что подтверждает мнение о неактуальности контроля температуры внутренней поверхности для таких узлов.

Кроме самого температурного поля, на рисунках 2 и 3 приведены дополнительные тепловые потери через узел (ΔQ , Вт) и максимальная температура на наружной поверхности стены (τ_n , °С), которые составляют по вариантам:

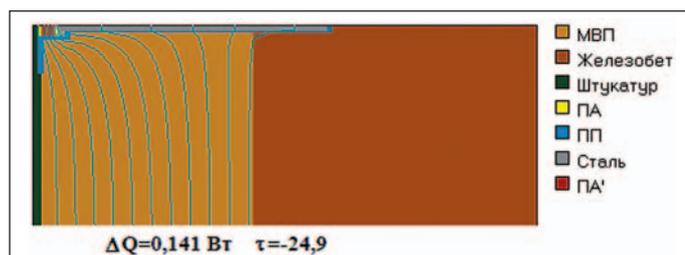


Рис. 2. Температурное поле узла прохождения дюбеля. Вариант дюбеля №1

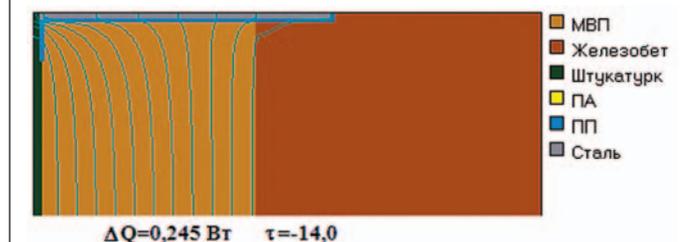


Рис. 3. Температурное поле узла прохождения дюбеля. Вариант дюбеля №3

При расчете температурного поля температура наружного воздуха была принята равной — 28 °С, а температура внутреннего воздуха — равной 20 °С. Голубыми линиями на рисунках обозначены линии равной температуры, проходящие через 4 °С от — 24 °С до + 16 °С

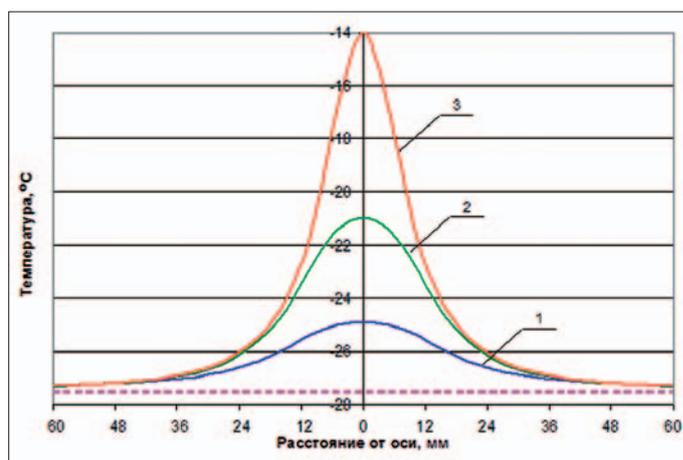


Рис. 4. Распределение температуры по поверхности штукатурки в зависимости от расстояния до оси дюбеля. 1, 2, 3 соответствуют вариантам дюбеля на рисунке 1. Пунктирной линией обозначена температура наружной поверхности, соответствующая конструкции без дюбеля

$$1. \Delta Q = 0,141 \text{ Вт}, \tau_n = -24,9 \text{ } ^\circ\text{С};$$

$$2. \Delta Q = 0,20 \text{ Вт}, \tau_n = -21,0 \text{ } ^\circ\text{С};$$

$$3. \Delta Q = 0,245 \text{ Вт}, \tau_n = -14,0 \text{ } ^\circ\text{С}.$$

Полученные результаты показывают, что дополнительные тепловые потери через конструкцию в месте прохождения дюбеля значительны и должны обязательно учитываться. Например, при плотности дюбелей 10 шт./м² дополнительный тепловой поток для первого варианта дюбеля составит 11% от тепловых потерь по глади конструкции, а для третьего варианта дюбеля — 18%.

Из полученных данных видно, что и тепловые потери через конструкцию, и локальная температура штукатурного слоя зависят от решения головки дюбеля.

Для иллюстрации влияния дюбеля на температуру наружной штукатурки на рисунке 4 приведены изменения температуры наружной поверхности штукатурки в зависимости от расстояния до оси дюбеля. На графике представлены три линии с нумерацией, соответствующей трем вариантам дюбеля по рисунку 1.



Рис. 5. Пример появления пятен на фасаде в местах расположения дюбелей («эффект леопарда», фото из статьи [1])



Рис. 6. Пример появления пятен на фасаде в местах расположения дюбелей (снимок сделан в одном из городов России)

Из рисунка 4 видно, что влияние дюбеля на температуру штукатурки имеет ярко выраженный локальный характер и сильно зависит от выбора дюбеля. Размер пятна с повышенной температурой не велик, и для всех трех вариантов на расстоянии от оси в 15–20 мм всплеск температуры ослабевает. Постоянный подогрев штукатурки в зимнее время должен приводить к локальному подсушиванию. Влажность штукатурки вдали от дюбеля и на дюбеле будут различаться, что может проявиться в виде пятен (рис. 5, 6). Причем причина визуализации пятен может быть различна.

По данным немецких исследователей [1], изменение влажности и температуры штукатурки приводит к ее деформации. На рисунке 7 приведены зависимости линейной деформации штукатурки от влажности и изменения температуры (взято из статьи [1]). С повышением температуры и увеличением влажности штукатурка расширяется. Таким образом, в холодный период штукатурное покрытие будет испытывать дополнительное локальное воздействие в местах установки дюбелей. В основном одновременный подогрев и высушивание штукатурки будут приводить к противоположно направленным деформациям, и суммарный эффект будет не велик. Но следует учитывать, что температура и влажность штукатурки формируются независимо и обладают разной скоростью выравнивания. Возможно множество ситуаций, когда описанный баланс напряжений будет резко нарушен. Например, если температура наружного воздуха быстро (за двое суток) изменится с -25°C до 0°C , то напряжение штукатурки за счет разницы температур снизится более чем в 2 раза, а напряжение за счет разницы влажностей не изменится. Обратная ситуация будет, если при температуре около 0°C пройдет дождь, который увлажнит штукатурку практически равномерно, а затем начнется резкое похолодание. В этом случае уже температурная деформация окажется некомпенсированной влажностной. Получается, что штукатурный слой в зоне расположения дюбеля, являющегося теплопроводным включением, работает как «натянутый лук», а случайным образом складывающиеся климатические условия заставляют его иногда «выстреливать».

Конечно, по величине суммарные напряжения штукатурки от таких воздействий должны быть не велики и теоретически не могут повредить качественной штукатурке, но на практике такие разрушения замечены. Возможно, появление разрушений связано или с недостаточно исследованным поведением штукатурки при отрицательных температурах, или с большим числом повторений, описанных выше воздействий, или с низким качеством штукатурки. В любом случае применение дюбеля с меньшей теплопередачей могло бы устранить саму причину напряжений в штукатурном слое, так как привело бы к снижению перепада как температуры, так и влажности. Одновременно использование таких дюбелей значительно снижает вероятность возникновения пятен.

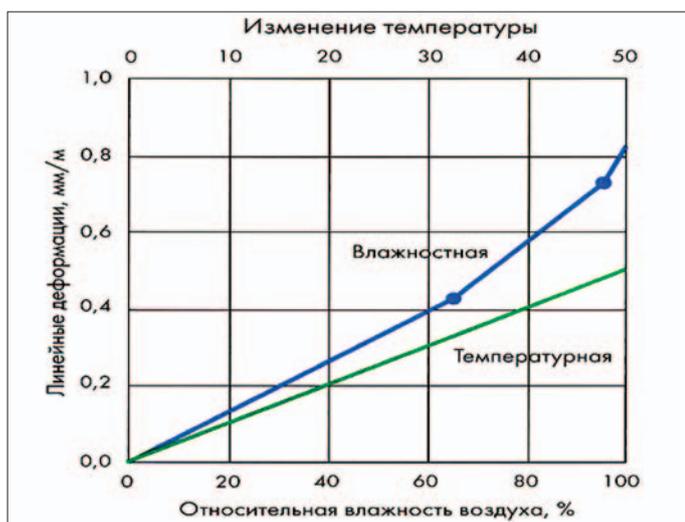


Рис. 7. Зависимости линейной деформации штукатурки от влажности и изменения температуры (рисунок из статьи [1])

ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ ЧЕРЕЗ ДЮБЕЛЬ

Величина дополнительного теплового потока позволяет рассчитывать конечные тепловые потери и приведенное сопротивление теплопередаче конструкции для конкретных условий. При попытках обобщения результатов понятие «дополнительный тепловой поток» становится недостаточно удобным, так как величина дополнительного теплового потока зависит от перепада температуры, используемого при его определении. Поэтому способность дюбеля проводить теплоту удобно характеризовать другой величиной, не зависящей от перепада температуры.

Для узла установки дюбеля характерно, что дополнительный тепловой поток прямо пропорционален перепаду температуры:

$$\Delta Q = \Delta K_p (t_b - t_n). \quad (1)$$

Коэффициент пропорциональности в формуле (1) ΔK_p [Вт/°С] не зависит от перепада температуры и характеризует дополнительные теплотери за счет установки дюбеля. Предлагается называть эту величину «удельные потери теплоты через единичный дюбель». Аналогичная величина используется в немецких источниках [2]. Введенное понятие оказывается весьма удобным как для сравнения дюбелей между собой, так и для проведения практических расчетов.

Для рассмотренных выше вариантов дюбелей и стеновой конструкции удельные потери теплоты через единичный дюбель составляют:

1. $\Delta K_p = 0,0029$ Вт/°С;
2. $\Delta K_p = 0,0042$ Вт/°С;
3. $\Delta K_p = 0,0051$ Вт/°С.

Из опыта проводимых расчетов — удельные потери теплоты через единичный дюбель с металлическим сердечником колеблются от 0,002 до 0,006 Вт/°С. По данным немецких исследователей [2] — от 0,002 до 0,008 Вт/°С. Количество дюбелей на 1 квадратный метр конструкции составляет от 8 до 12 штук. Следует заметить, что количество дюбелей нужно определять в среднем по зданию, так как частота дюбелей повышается в зонах углов зданий, светопроемов и т. д.

При выборе вида дюбеля для использования в конструкции возникает задача сравнения различных вариантов фасада. Применение дюбеля с повышенными теплотериями приведет к снижению приведенного сопротивления теплопередаче фасада. Для компенсации снижения теплозащитных свойств фасада потребуется увеличение толщины утеплителя. Эти положения являются основой для экономического сравнения вариантов теплоизоляционных систем с тонким штукатурным слоем с различными видами дюбелей.

Пример. Требуется определить толщину утеплителя, необходимую для компенсации разницы теплотер, обусловленных использованными дюбелями с удельными потерями теплоты 0,0029 (вариант 1) и 0,0042 Вт/°С (вариант 2) для конструкции фасада, описанного выше, при частоте установки дюбелей $n = 10$ шт./м².

Сопротивление теплопередаче по глади фасада составляет:

$$R_o = \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{2,04} + \frac{0,15}{0,045} + \frac{0,006}{0,4} + \frac{1}{23} = 3,605 (\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}) / \text{Вт}.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче торцевой стены без дополнительных неоднородностей (кроме дюбелей) определяется по формуле:

$$R_o^{np} = \frac{t_b - t_n}{R_o + n \cdot \Delta K_p (t_b - t_n)} = \frac{1}{\frac{1}{R_o} + n \cdot \Delta K_p} \quad (2)$$

Для дюбеля варианта 1 с $\Delta K_{p1} = 0,0029$ Вт/°С приведенное сопротивление теплопередаче составляет:

$$R_{o1}^{np} = \frac{1}{\frac{1}{3,605} + 10 \cdot 0,0029} = 3,264 (\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}) / \text{Вт}.$$

Для получения того же значения сопротивления теплопередаче конструкции при использовании дюбеля со значением $\Delta K_{p2} = 0,0042$ Вт/°С толщину утеплителя придется увеличить на δ , м, при

этом сопротивление теплопередаче по глади конструкции увеличивается на величину ΔR , которую можно найти из формулы (2):

$$\Delta R = \frac{1}{\frac{1}{R_{01}^{np}} - n \cdot \Delta K_{p2}} - R_0; \quad (3)$$

$$\Delta R = \frac{1}{\frac{1}{3,264} - 10 \cdot 0,0042} - 3,605 = 0,18 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C) / Вт.}$$

Толщина утеплителя, необходимая, чтобы компенсировать разницу в сопротивлении теплопередаче, находится по формуле:

$$\delta = \lambda \cdot \Delta R. \quad (4)$$

В данном случае $\delta = 8$ мм. Ясно, что при проектировании и строительстве оперировать толщиной утеплителя с точностью до миллиметра бессмысленно, однако на стадии расчетов уместно оставить такую точность, так как иначе погрешность становится сравнимой с результатом расчета. Толщина утеплителя, необходимая для компенсации разницы теплопотерь, при замене первого варианта дюбеля на третий составит $\delta = 14$ мм.

Полученная разница в толщинах утеплителя весьма велика и указывает на существенные экономические выгоды от перехода на менее теплопроводные дюбеля. Следует заметить, что положительный экономический эффект получается даже при самом грубом расчете без учета дополнительного увеличения стоимости дюбеля от его удлинения.

ОЦЕНКА ЭКОНОМИИ УТЕПЛИТЕЛЯ В РАСЧЕТЕ НА ОДИН ДЮБЕЛЬ

В предложенном экономическом сравнении использования различных вариантов дюбелей на выбранном фасаде окончательным критерием является стоимость объема утеплителя, необходимого для компенсации разницы теплопотерь и разницы стоимости дюбелей. Очевидно, что такое сравнение не может быть проведено в отрыве от величины площади. Для определенности эта величина принимается равной части площади фасада, приходящейся в среднем на один дюбель. В этом случае определяется количество утеплителя, необходимое для компенсации разницы теплопотерь при замене одного дюбеля. Предлагается описанную характеристику назвать: *эквивалентное количество утеплителя, приходящееся на один дюбель*. Измеряться эта характеристика будет в м³ на один дюбель, а обозначаться далее в статье *m*.

Проведенное выше рассмотрение позволяет выразить эквивалентное количество утеплителя, приходящееся на один дюбель, простой формулой, удобной для практического использования при анализе вариантов конструкций теплоизоляционных фасадов с тонким штукатурным слоем. Для этого нужно подставить в формулу (3) выражение для R_{01}^{np} из формулы (2):

$$\Delta R = \frac{1}{\frac{1}{R_0} + n \cdot (\Delta K_{p1} - \Delta K_{p2})} - R_0 \quad (5)$$

Формула (5) может быть упрощена, если разница в дополнительных тепловых потерях между сравниваемыми вариантами дюбелей значительно меньше тепловых потерь по глади конструкции. Это условие соответствует практически всем конструкциям в современной строительной практике. Упрощенная формула имеет вид:

$$\Delta R = n \cdot R_0^2 \cdot (\Delta K_{p2} - \Delta K_{p1}). \quad (6)$$

Чтобы получить эквивалентное количество утеплителя, приходящееся на один дюбель, следует по формуле (4) найти толщину слоя утеплителя и поделить ее на количество дюбелей, приходящееся на квадратный метр фасада:

$$m = \lambda \cdot R_0^2 \cdot (\Delta K_{p2} - \Delta K_{p1}). \quad (7)$$

Из формулы (7) видно, что разница в количестве утеплителя при сравнении двух вариантов дюбелей зависит только от коэффициента теплопроводности утеплителя, сопротивления теплопередаче стены по глади и разницы в удельных потерях теплоты через единственный дюбель для рассматриваемых вариантов. Эта формула наглядно

демонстрирует удобство от использования характеристики ΔK_p при практических расчетах. Для расчета по формуле (7) не требуется никакой информации о дюбеле кроме величины удельных потерь теплоты через единственный дюбель.

Полученная запись зависимости эквивалентного количества утеплителя, приходящегося на один дюбель, от основных характеристик фасада позволяет сделать важный вывод. Так как сопротивление теплопередаче по глади стены в формуле (7) стоит в квадрате, с изменением климатического района окупаемость мероприятий по замене одного вида дюбелей на другой будет быстро изменяться, причем с ужесточением климата экономическая эффективность применения дюбелей с меньшей теплопередачей будет возрастать.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изменения в конструкции узлов, содержащих теплопроводное включение, условно можно разделить на две группы по влиянию на теплозащитные свойства. Первая группа содержит изменения, при которых уменьшение теплового потока через узел сопровождается увеличением температурного перепада на поверхности стены, т. е. улучшение одной характеристики приводит к ухудшению другой. Возникающее противоречие позволяет найти теплофизически оптимальное решение для конкретной строительной ситуации. Вторая группа содержит изменения, при которых уменьшение теплового потока через узел сопровождается уменьшением температурного перепада на поверхности стены, т. е. улучшение одной характеристики сопровождается улучшением другой. Противоречие не возникает, и для получения оптимального теплозащитного решения нужно просто снизить поток через теплопроводное включение на столько, на сколько это возможно. В этом случае ограничения для дальнейшего изменения узла определяются уже не теплофизическими, а, скорее, экономическими факторами. Т. е. узел можно изменять до тех пор, пока дальнейшее его изменение не станет слишком дорогим. Чтобы найти эту границу, следует количественно определить экономический эффект, который дает изменение узла.

Из приведенных выше примеров расчета температурных полей и теплопотерь видно, что замена конструкции дюбеля относится ко второй группе изменений узла, и установка дюбеля с минимальным значением удельных потерь теплоты является теплофизически предпочтительной.

Влияние дюбелей с металлическим распорным элементом на тепловые потери теплоизоляционного фасада с тонким штукатурным слоем или стены с навесной фасадной системой с вентилируемой прослойкой весьма значительно и составляет в практически важных случаях от 7% до 25% от тепловых потерь по глади конструкции. Еще более значительно от выбора дюбеля зависит распределение температуры по наружной штукатурке. Из элементов дюбеля наибольшее влияние на теплотехнические свойства фасада оказывает конструкция головки дюбеля, которая является единственной преградой для перемещения теплоты от металлического распорного элемента к наружной штукатурке.

Влияние дюбелей должно учитываться как при разработке фасадных систем, так и при проектировании конкретных зданий. ●

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 08-08-13724).

В. В. КОЗЛОВ, к. т. н., ведущий научный сотрудник лаборатории строительной теплофизики НИИСФ РААСН

Литература

1. В. Г. Гагарин «Теплоизоляционные фасады с тонким штукатурным слоем. Температурно-влажностные воздействия и долговечность систем с тонким штукатурным слоем». (По материалам статьи Н. М. Künzel, Н. Künzel, К. Sedelbauer «Hygrothermische Beanspruchung und Lebensdauer von Wärmedämm-Verbundsystemen», Bauphysik, 2006, Bd. 28, H. 3) // Журнал «АВОК», №6, 2007 г., стр. 82 – 90; №7, стр. 66 – 74.

2. Cziesielski E., Vogdt F.U. Schäden an Wärmedämm-Verbundsystemen. Stuttgart, 2000, 206 s.