

УДК 699.82

ГАГАРИН ВЛАДИМИР ГЕННАДЬЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор,
gagarinv@yandex.ru

ЗУБАРЕВ КИРИЛЛ ПАВЛОВИЧ, аспирант,
zubarevkirill93@mail.ru

КОЗЛОВ ВЛАДИМИР ВЛАДИМИРОВИЧ, канд. техн. наук, доцент,
kozlov.v2@yandex.ru

Национальный исследовательский

Московский государственный строительный университет,
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ НАИБОЛЬШЕГО УВЛАЖНЕНИЯ В СТЕНАХ С ФАСАДНЫМИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫМИ КОМПОЗИЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ С НАРУЖНЫМИ ШТУКАТУРНЫМИ СЛОЯМИ

Проведены расчеты положения плоскости максимального увлажнения в стеновых ограждающих конструкциях с фасадными теплоизоляционными системами с тонким штукатурным слоем. В качестве утеплителей принимались плиты из пенополистирола, экструдированного пенополистирола и минеральной ваты. На основании проведенных расчетов были выявлены три принципиально различающихся варианта расположения зоны максимального увлажнения, для которых даны физические объяснения и выявлен «эффект переутепления» ограждающей конструкции.

Ключевые слова: энергосбережение; влажностный режим; защита от переувлажнения; плоскость максимального увлажнения; эффект переутепления; тонкий штукатурный слой; пенополистирол; минеральная вата; газобетон; силикатный кирпич.

VLADIMIR G. GAGARIN, DSc, Professor,
gagarinv@yandex.ru

KIRILL P. ZUBAREV, Research Assistant,
zubarevkirill93@mail.ru

VLADIMIR V. KOZLOV, PhD, A/Professor,
kozlov.v2@yandex.ru

National Research

Moscow State University of Civil Engineering
26, Yaroslavl Road, 129337, Moscow, Russia

THE HIGHEST MOISTURE AREA IN FAÇADE HEAT-INSULATION COMPOSITE WALL SYSTEMS WITH EXTERNAL PLASTERING

The paper presents calculations of the maximum moisture area in wall systems having facade heat insulation with thin plastering layers. Polystyrene foam boards, extruded polystyrene and mineral wool are used for heat insulation. Three fundamentally different variants of the highest moisture area are obtained as a result of these calculations. Physical explanations and the overheating effect of the wall system are presented in this paper.

Keywords: energy efficiency; moisture conditions; excessive moisture protection; maximum moisture; overheating effect; thin plastering layer; polystyrene; mineral wool; aerated concrete; lime brick.

Введение

В нормативных документах по строительной теплофизике (СНиП «Строительная теплотехника», «Тепловая защита зданий») традиционно содержится раздел по ограничению влагонакопления внутри ограждающих конструкций [1, 4]. Основу данного раздела составляли исследования, проведенные в НИИСФ РААСН в 60-х гг. прошлого века. В последнее время, в связи с появлением конструкций с повышенными теплозащитными свойствами, появилась необходимость модернизации метода расчета, содержащегося в этом разделе [5, 7]. При проведении актуализации СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003» было внесено изменение в методику расчета «Защиты от переувлажнения ограждающих конструкций». Изменение касается уточнения расположения плоскости максимального увлажнения в конструкции, относительно которой из уравнений баланса влаги проверяется необходимость устройства дополнительной пароизоляции в конструкции. С 1 июля 2015 г. СП 50.13330.2012 стал обязательным. В настоящее время проводится его активное применение при проектировании ограждающих конструкций. Накопленный опыт этого применения позволит провести дальнейшее усовершенствование этого СП. Настоящая статья посвящена описанию опыта применения метода нахождения расположения плоскости максимального увлажнения в стеновых ограждающих конструкциях с фасадными теплоизоляционными системами с тонким штукатурным слоем. Для автоматизации данной задачи произведена разработка программы в среде Microsoft Excel. Были определены входные данные, разработан алгоритм расчета, использовались климатические данные для г. Москвы и характеристики материалов (плотность, теплопроводность, паропроницаемость), представленные в Приложении Т СП 50.13330.2012. Для определения значений комплекса $f_i(t_{m,y})$ при промежуточных показаниях температуры проводилась линейная интерполяция и экстраполяция. Был расширен диапазон температур, для которого вычислялся комплекс от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Исследуемые конструкции

Ограждающие конструкции с фасадными теплоизоляционными системами с тонким штукатурным слоем представляют собой конструкции стен, выполненных из монолитного бетона или кладок из мелкоштучных изделий (газобетонных блоков, кирпичей и т. д.), утепленных с наружной стороны слоем теплоизоляционного материала, который защищен от внешних климатических воздействий тонким (до 5 мм) слоем штукатурки, нанесенной по стеклосетке. Данные конструкции обладают достаточно высоким значением приведенного сопротивления теплопередаче, обусловленным малым количеством теплопроводных включений. В качестве материала теплоизоляционного слоя применяются плиты из минеральной ваты или пенополистирола, в том числе экструдированного.

Расчеты были проведены для конструкций с основанием из газобетона толщиной 0,3 м и силикатного кирпича толщиной 0,38 м. При исследовании были зафиксированы характеристики слоёв 1, 2 и 4. Характеристики (толщина, плотность, теплопроводность, паропроницаемость) слоя утеплителя 3 менялись (рис. 1). После каждого изменения фиксировалось положение плоскости максимального увлажнения. Таким образом был произведён расчёт определения плоскости максимального увлажнения каждого основания с тридцатью различными вариантами утеплителя.

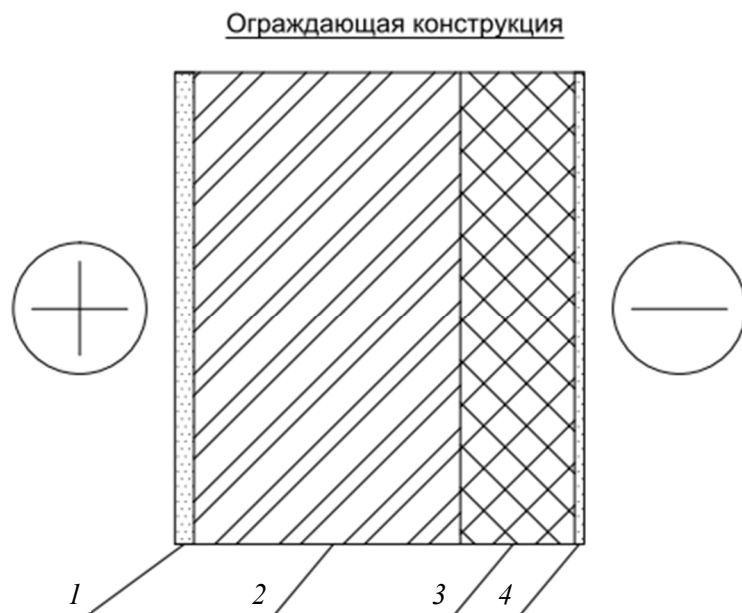


Рис. 1. Конструкция исследуемой стены:

1 – цементно-песчаный раствор; 2 – основание конструкции; 3 – утеплитель; 4 – наружный тонкий штукатурный слой

Методика расчета

Для каждого слоя многослойной ограждающей конструкции вычисляется значение комплекса $f_i(t_{м.у})$, характеризующего температуру в плоскости максимального увлажнения:

$$f_i(t_{м.у}) = 5330 \frac{R_{0,п}(t_{в}-t_{н,отр})}{R_0^{учл}(e_{в}-e_{н,отр})} \frac{\mu_i}{\lambda_i}.$$

По полученным значениям комплекса $f_i(t_{м.у})$ по табл. 11 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» определяется значение для каждого слоя многослойной конструкции. Затем рассчитываются значения $t_{м.у}$ исходя из линейного распределения температур по сечению ограждающей конструкции в плоскостях сопряжения слоев материалов конструкции «при средней температуре наружного воздуха периода с отрицательными среднемесячными температурами». По этим значениям и по значению возможной температуры в плоскости максимального увлажнения, $t_{м.у}$, определяется слой

материала конструкции, в котором находится плоскость максимального увлажнения, и определяется ее координата $x_{м.у.}$

Данный метод обоснован теоретическими положениями теории потенциала влажности [2, 6]. Табл. 11 из СП рассчитана [2].

Результаты расчетов

На основании анализа проведенных вычислений установлены три принципиально разных варианта расположения плоскости максимального увлажнения в толще ограждающей конструкции. Каждая модель поведения присуща своей конструкции.

Результаты расчетов сведены в таблицу.

Результаты определения положения плоскости максимального увлажнения различных ограждающих конструкций

Наименование ограждающих конструкций	№ слоя	Наименование слоёв ограждающей конструкции (первый слой внутренний)	Толщина слоя, м	Положение плоскости максимального увлажнения
1. Ограждающая конструкция с основанием из кладки из газобетонных блоков и утеплителем из пенополистирола	1	Штукатурка цементно-песчаная	0,02	В слое отсутствует плоскость максимального увлажнения
	2	Газобетон D400	0,3	В слое отсутствует плоскость максимального увлажнения
	3	Пенополистирол	0,12	Плоскость максимального увлажнения находится в этом слое
	4	Наружный тонкий штукатурный слой	0,007	В слое отсутствует плоскость максимального увлажнения
	Вывод: плоскость максимального увлажнения находится в слое 3 (на расстоянии 0,05 м от слоя сопряжения утеплителя и наружного тонкого штукатурного слоя)			
2. Ограждающая конструкция с основанием из газобетона и утеплителем из минеральной ваты толщиной 0,12 м	1	Штукатурка цементно-песчаная	0,02	В слое отсутствует плоскость максимального увлажнения
	2	Газобетон D400	0,3	В слое отсутствует плоскость максимального увлажнения
	3	Минеральная вата	0,12	Плоскость максимального увлажнения находится на стыке со слоем штукатурки
	4	Наружный тонкий штукатурный слой	0,007	В слое отсутствует плоскость максимального увлажнения
	Вывод: плоскость максимального увлажнения находится на стыке слоев 3 и 4			

Окончание таблицы

Наименование ограждающих конструкций	№ слоя	Наименование слоёв ограждающей конструкции (первый слой внутренний)	Толщина слоя, м	Положение плоскости максимального увлажнения
3. С основанием из газобетона и утеплителем из минеральной ваты толщиной 0,37 м – «эффект переутепления» конструкции	1	Штукатурка цементно-песчаная	0,02	В слое отсутствует плоскость максимального увлажнения
	2	Газобетон D400	0,3	Плоскость максимального увлажнения находится в этом слое
	3	Минеральная вата	0,37	В слое отсутствует плоскость максимального увлажнения
	4	Наружный тонкий штукатурный слой	0,007	В слое отсутствует плоскость максимального увлажнения
	Вывод: плоскость максимального увлажнения находится в слое 2 (на расстоянии 2 мм от слоя сопряжения газобетона и утеплителя)			
4. Ограждающая конструкция с основанием из кладки из силикатного кирпича и утеплителем из минераловатных плит	1	Штукатурка цементно-песчаная	0,02	Нет плоскости максимального увлажнения
	2	Кирпичная кладка из пустотного кирпича	0,38	Нет плоскости максимального увлажнения
	3	Минеральная вата	0,12	Плоскость максимального увлажнения находится на стыке со слоем штукатурки
	4	Наружный тонкий штукатурный слой	0,007	Нет плоскости максимального увлажнения
	Вывод: плоскость максимального увлажнения находится на стыке слоев 3 и 4			

1. Конструкция с основанием из кладки из газобетонных блоков. Толщина теплоизоляционного слоя варьировалась от 0,1 до 0,5 м.

Для утеплителей из пенополистирола и экструдированного пенополистирола получено, что в независимости от сочетания теплофизических характеристик утеплителя и основания плоскость максимального увлажнения находится всегда в слое утеплителя.

Для утеплителя из плит минераловатных получено, что плоскость максимального увлажнения при малых толщинах слоя утеплителя приходится на стык слоёв утеплителя и наружного тонкого штукатурного слоя. Однако при достижении толщины утеплителя 37 см плоскость максимального увлажнения смещается в основание конструкции и остаётся там при дальнейшем увеличении толщины, таким образом, проявляется эффект «переутепления» конструкции.

2. Конструкция с основанием из кладки из силикатного кирпича. Толщина теплоизоляционного слоя варьировалась от 0,1 до 0,5 м.

Для утеплителей из пенополистирола, экструдированного пенополистирола и плит минераловатных получено, что плоскость максимального увлажнения всегда находится в слое сопряжения утеплителя и наружного тонкого штукатурного слоя вне зависимости от плотности и толщины слоя минеральной ваты. Конструкции с основанием из кладки из силикатного кирпича не подвержены ни переутеплению, ни смещению плоскости максимального увлажнения в утеплитель.

Физическое обоснование «эффекта переутепления» ограждающих конструкций

«Эффект переутепления» объясняется тем, что при увеличении толщины утеплителя градиент давления падает, и его становится недостаточно, чтобы перенести влагу сквозь слой утеплителя. Поэтому влага до утепления, скапливающаяся в слое сопряжения утеплителя и наружного тонкого штукатурного слоя, начинает выпадать в основание конструкции.

Выводы

Основным выводом из настоящей работы является то, что при увеличении толщины утеплителя происходит «эффект переутепления». Эффект наблюдался при толщине минеральной ваты 0,37 м и более. Опасность этого явления состоит в том, что даже в случае выполнения условий СНиП 50.13330.2012 всё равно в газобетонных блоках будет наблюдаться максимальная влажность, следовательно, снижение долговечности ограждающей конструкции.

Какая влажность будет достигнута в данном слое, а также способы борьбы с ней предстоит выяснить в дальнейших исследованиях.

Заключение

Как видно из вышеприведённого исследования, увеличение толщины утеплителя в некоторых случаях приводит к «эффекту переутепления» ограждающих конструкций.

Конечно же, в современных конструкциях утеплитель толщиной 37 см и более сейчас практически не применяется. Однако на сегодняшний день, во-первых, постоянно возрастают требования к снижению энергопотребления и увеличению приведенного сопротивления теплопередачи здания, что будет приводить к увеличению слоя тепловой изоляции. Во-вторых, производится строительство уникальных объектов, имеющих достаточно большую толщину утеплителя. В-третьих, происходит разработка новых строительных материалов, которые в корне изменяют влажностный режим ограждений. Примером такого материала может служить тонкий штукатурный слой. Наконец, в Европе активно ведётся строительство домов типа «passive house», имеющих толщину утеплителя из минераловатных плит 40–50 см. Естественно, такого рода технологии необходимо адаптировать под суровые климатические условия России. Поэтому при проектировании обязательны грамотные и обоснованные расчёты защиты от переувлажнения ограждающих конструкций.

Полученные данные соответствуют результатам исследований зарубежных специалистов, которые производились средствами немецкой программы WUFI 5.0 [8–10]. Учёные Olof Hagersedt и Lars-Erik Harderup изучали новые пассивные деревянные дома, построенные в Швеции. Они отмечали, что при увеличении толщины стены наряду с положительным эффектом снижения энергопотребления наблюдалась большая подверженность новых домов влажности [3].

Разумеется, применение новых более совершенных строительных материалов в строительстве необходимо, но при этом обязателен более точный расчёт влажностного режима здания, максимально полно учитывающий физические процессы, происходящие в толще ограждающих конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гагарин, В.Г. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // Строительные материалы. – 2010. – № 12. – С. 4–12.
2. Козлов, В.В. Метод инженерной оценки влажностного состояния современных ограждающих конструкций с повышенным уровнем теплозащиты при учёте паропроницаемости, влагопроводности и фильтрации воздуха : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2004. – 24 с.
3. Hagersedt, S.O. Control of Moisture Safety Design by Comparison between Calculations and Measurement in Passive House Walls Made of Wood. XII DBMC / S.O. Hagersedt, L.-E. Harderup // International Conference on Durability of Building Materials and Components PORTO – POTUGAL, April 12th–15th, 2011.
4. Расчётное определение эксплуатационной влажности автоклавного газобетона в различных климатических зонах строительства / П.П. Пастушков, Г.И. Гринфельд, Н.В. Павленко, А.Е. Беспалов, Е.В. Коркина // Вестник МГСУ. – 2015. – № 2. – С. 60–69.
5. Гагарин, В.Г. О требованиях к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированной редакции СНиП «Тепловая защита зданий» / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // Вестник МГСУ. – 2011. – № 7. – С. 59–66.
6. Богословский, В.Н. Основы теории потенциала влажности материала применительно к наружным ограждениям оболочки зданий: монография / В.Н. Богословский ; под ред. В.Г. Гагарина. – М. : МГСУ, 2013. – 112 с.
7. Перехоженцев, А.Г. Исследование диффузии влаги в пористых строительных материалах / А.Г. Перехоженцев, И.Ю. Груздо // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Стр-во и архит. – 2014. – Вып. 35 (54). – С. 116–120.
8. Hägerstedt, O. Calculations and field measurements method in wood framed houses / O. Hägerstedt // Department of Building Physics, Lund University, Report TVBH-XXXX. – 2010. – In press.
9. Hägerstedt, O. Comparison of Field measurements and Calculations of relative humidity and Temperature in Wood Framed Walls / O. Hägerstedt, J. Arfvidsson // Thermophysics. Conference proceedings, Bruno University of Technology, Faculty of Chemistry. – 2010.
10. Sandberg, K. Wireless in situ measurements of moisture content and temperature in timber constructions. XII DBMC / K. Sandberg, A. Pousette, S. Dahlquist // Conference proceedings. – Porto, Portugal, 2011.

REFERENCES

1. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Teoreticheskie predposylki rascheta privedennogo soprotivleniya teploperedache ogradhayushchikh konstruktii [Theoretical prerequisites for calculating reduced resistance to heat transfer of wall structures]. *Construction Materials*. 2010. No. 12. Pp. 4–12. (rus)

2. Kozlov V.V. Metod inzhenernoi otsenki vlazhnostnogo sostoyaniya sovremennykh ograzhdayushchikh konstruktov s povyshennym urovnem teplozashchity pri uchete paropronitsaemosti, vlagoprovodnosti i fil'tratsii vozdukh : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Engineering assessment of moisture condition of modern wall structures with increased heat-insulating level accounting for vapor permeability, moisture conductivity and air filtration. PhD Abstract]. Moscow, 2004. p. 24. (rus)
3. Hagerstedt S. O. Harderup L. E. Control of moisture safety design by comparison between calculations and measurements in passive house walls made of wood. *XII DBMC – Int. Conf. 'Durability of Building Materials and Components'*, 12–15 April, 2011, Porto, Portugal.
4. Pastushkov P.P., Grinfel'd G.I., Pavlenko N.V., Bespalov A.E., Korkina E.V. Raschetnoe opredelenie ekspluatatsionnoi vlazhnosti avtoklavnogo gazobetona v razlichnykh klimaticheskikh zonakh stroitel'stva [Theoretical calculation of moisture in autoclaved aerated concrete in different climatic construction zones]. *Scientific and Technical Journal on Construction and Architecture*. 2015. No. 2. (rus)
5. Gagarin V.G., Kozlov V.V. O trebovaniyakh k teplozashchite i energeticheskoi effektivnosti v proekte aktualizirovannoi redaktsii SNiP 'Teplovaya zashchita zdaniy' [Thermal protection and energy efficiency requirements in SNiP "Thermal protection of buildings"]. *Scientific and Technical Journal on Construction and Architecture*. 2011. No. 7. Pp. 59–66. (rus)
6. Bogoslovskii V.N. Osnovy teorii potentsiala vlazhnosti materiala primenitel'no k naruzhnym ograzhdeniyam obolochki zdaniy: monografiya [Fundamentals of material potential moisture theory used in wall structures]. Moscow : MGSU Publ., 2013. P 112. (rus)
7. Perekhozhentsev A.G., Gruzdo I.Yu. Issledovanie diffuzii vlagi v poristyykh stroitel'nykh materialakh [Investigation of moisture diffusion in porous building materials]. *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture*. 2014. V. 35. Pp 116–120. (rus)
8. Hägerstedt O. Calculations and field measurements method in wood framed houses, Lund University, Report TVBH-XXXX, 2010. In press.
9. Hägerstedt O., Arfvidsson J. Comparison of field measurements and calculations of relative humidity and temperature in wood framed walls. *Proc. Sci. Conf. 'Thermophysics 2010'*, Bruno University of Technology, 2010.
10. Sandberg K., Pousette A., Dahlquist S. Wireless in situ measurements of moisture content and temperature in timber constructions. *XII DBMC – Proc. Sci. Conf.*, Porto, Portugal, 2011.