

INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE
on the theme "Architecture is the Abode of Time" which will be held at
Samarkand State Architecture and Construction University

**CALCULATION OF THE TEMPERATURE FIELD OF EXTERNAL ENCLOSING
STRUCTURES USING THE FINITE DIFFERENCE METHOD**

Teacher, Samarkand State Architecture and Construction

University named after Mirzo Ulugbek (SamSACU)

Khaitov Maruf Bolikulovich

Teacher, Samarkand State Architecture and Construction

University named after Mirzo Ulugbek (SamSACU)

Matyokubov Bobur Po'latovich

Аннотация: В статье изучен температурный режим узла примыкания оконных блоков к наружным стенам зданий. Исследования проведены в натурных условиях, выполнены теоретические расчёты по ним. Разработаны предложения по улучшению температурного режима в узлах примыкания оконных блоков к наружным стенам с помощью экструдированного пенополистирола.

Ключевые слова: температура, здания, оконные блоки, температурное поле.

Одним из основных направлений государственной политики Республики Узбекистан в области рационального использования энергии являются:

стабилизация производства и потребления энергии, необходимой для интенсивного развития экономики;

стимулирование производства энергоэффективного и энергосберегающего оборудования и продукции с минимальной энергоемкостью;

стимулирование развития энергоэффективных, энергосберегающих и экологически безопасных технологий и производств.

Наряду с ростом спроса на высоко-комфортабельное жилье, осведомленность об ограниченных мировых запасах минерального топлива, воды и других ресурсов принесла новый импульс интереса к концепции энергоэффективного дома и к инновационным целостным решениям, пригодным как для холодного, так и для жаркого и влажного климата.

Подход, при котором используют глобально пригодные и применимые технологии, материалы и системы для модернизации, энергоэффективности зданий предоставляет возможность не только создавать конструкции с невероятной быстротой проектирования, но также незамедлительно обеспечить невиданный во многих местах планеты комфорт и рациональность использования ресурсов в зданиях.

В строительной теплофизике прогнозирование температурного и влажностного режимов ограждающих конструкций выполняется на основании решения дифференциальных уравнений тепло- и массопереноса. Теоретические основы методов расчета температурного и влажностного режимов заложены трудами Богословского В.Н., Власова О.Е., Гагарина В.Г., Лыкова А.В., Мачинского В.Д., Одельского Э.Х., Перехоженцева А.Г., Ушкова Ф.В., Фокина К.Ф., Франчука А.У., Шкловера А.М. и других ученых. Основной методикой, используемой для решения задач строительной теплофизики, служит их численное решение в конечных разностях. Обусловлено это прежде всего простотой аппроксимации производных в дифференциальных уравнениях.

При разности температур воздуха с одной и с другой стороны ограждения температурная линия непрерывно понижается. Графически изменения температуры при прохождении теплового потока через плоскую однородную стенку показано на рис 1.

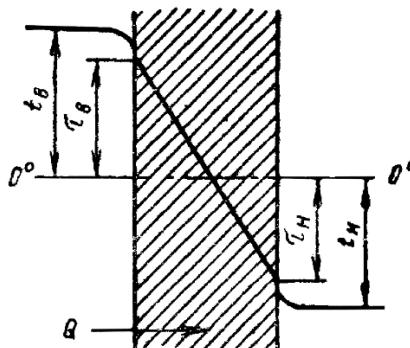


Рис 1. Изменение температуры в однородной стене

Воздух с внутренней стороны стены имеет температуру t_B , а с наружной стороны t_H , причем $t_B > t_H$. Температурная линия показывает, что падение температуры происходит не только в толще стены, но и у ее поверхностей, так как температура внутренней поверхности стены $\tau_B < t_B$ и температура наружной поверхности $\tau_H > t_H$. Так как падение температуры при прохождении теплового потока вызывается термическими сопротивлениями, то из температурной кривой видно, что сопротивление теплопередаче ограждения состоит из трёх отдельных сопротивлений:

1. сопротивления при переходе тепла от внутреннего воздуха к внутренней поверхности ограждения;
2. сопротивление при прохождении тепла через толщу самого ограждения;
3. сопротивления при переходе тепла от наружной поверхности к наружному воздуху;

Таким образом, сопротивление теплопередаче ограждения может быть выражено как сумма этих сопротивлений:

$$R_o = R_B + R + R_H \quad (1)$$

Если сопротивления теплоотдачи зависят главным образом от внешних факторов и лишь в незначительной степени от материала поверхности ограждения, то термическое сопротивление ограждения R зависит исключительно от теплопроводности материалов, составляющих ограждение, а также от структуры самого ограждения. Для определения R необходимо знать коэффициенты теплопроводности λ материалов, составляющих ограждение, их расположение, а также размеры отдельных элементов ограждения.

Если ограждение по толщине состоит из нескольких последовательно размещенных однородных слоев различных материалов, расположенных перпендикулярно направлению теплового потока, то термическое сопротивление ограждения будет равно сумме термических сопротивлений всех его слоев. Следовательно, для многослойного ограждения термическое сопротивление его определяется по формуле

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}, \quad (2)$$

где R_1, R_2, \dots - термические сопротивления отдельных слоёв; $\delta_1, \delta_2, \dots$ - толщины отдельных слоёв в м; $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ - коэффициенты теплопроводности материалов отдельных слоёв; n - число слоёв, составляющих ограждение.

При пользовании этой формулой необходимо помнить, что толщины слоёв δ должны быть взяты в метрах.

Формула (2) показывает, что термическое сопротивление слоя ограждения прямо пропорционально его толщине и обратно пропорционально коэффициенту теплопроводности его материала; термическое сопротивление ограждения не зависит от порядка расположения слоёв. Однако другие теплотехнические показатели ограждения, как, например, теплоустойчивость, распределение температуры в ограждении и его влажностный режим, зависят от порядка расположения слоёв. Поэтому для облегчения расчётов теплоустойчивости и влажностного режима ограждений нумерация слоёв ведётся последовательно от внутренней поверхности ограждения к наружной.

Пользуясь формулой (2) можно определять либо термическое сопротивление данного ограждения, либо толщину одного из его слоёв, при которой ограждение будет иметь заданную величину R или R_o . В последнем последнем случае неизвестной величиной в формуле (2) будет толщина δ одного из слоёв, который служит утепляющим слоем ограждения.

Многослойные конструкции представляют наиболее распространенный в строительстве тип ограждения.

Приведенное сопротивление теплопередаче R_0 учитывает наличие в ограждении неоднородных по площади ограждения теплопроводных включений и определяется следующим образом.

Если конструкция однослойная или состоит из n однородных слоёв, то величина R_0 определяется по формуле:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_b} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_h}, \quad (3)$$

где: α_b , α_h – коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C);

R_i – термическое сопротивление каждого из слоёв конструкции, м²·°C/Вт.

Если в многослойной ограждающей конструкции имеется слой (слои), состоящий из участков различных материалов, то её приведённое сопротивление определяют в следующей последовательности:

а) Для каждого неоднородного слоя находят средневзвешенное по площади условное значение коэффициента теплопроводности, Вт/(м·°C) по формуле:

$$\lambda_{i,y} = f_1 \cdot \lambda_1 + f_2 \cdot \lambda_2 + \dots + f_k \cdot \lambda_k, \quad (4)$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$ – коэффициенты теплопроводности различных участков в выделенном слое, Вт/(м·°C);

f_1, f_2, \dots, f_k – доля площади слоя, занимаемая материалом, имеющим соответствующую теплопроводность,

и вычисляют условное термическое сопротивление неоднородного слоя:

$$R_{i,y} = \frac{\delta_i}{\lambda_{i,y}} \quad (5)$$

Существующие на данный момент компьютерные программы Therm или Temper-3d, с помощью которых выполняют расчет, имеют сопровождающую техническую документацию и обеспечивают возможность расчета двухмерного (плоского) или трехмерного (пространственного) температурного поля, тепловых потоков в заданной области ограждающих конструкций при стационарных условиях теплопередачи.

Ввод исходных данных проводиться либо в графическом виде (с экрана монитора, сканера, графического или конструкторского файла), либо в виде табличных данных и обеспечивать возможность задания требуемых характеристик материалов и граничных условий рассчитываемой конструкции в заданной области.

Представление результатов расчета обеспечивают возможность визуализации температурного поля, определение температуры в любой точке рассчитываемой области, определение суммарных входящих и выходящих тепловых потоков через заданные поверхности.

Недостатком программы Therm является представление результатов в собственном формате, что позволяет выполнять анализ результатов только во встроенным постпроцессоре программы. Программа Temper-3d, позволяет выполнять расчеты 2- и 3-мерного температурных полей ограждающих конструкций. Для работы Temper-3d требует определенную конфигурацию оборудования компьютера, что ограничивает запуск программы на ряде вычислительных систем. Кроме того, программа является платной, что не всегда приемлемо для научных исследований. Однако основным недостатком обеих программ является закрытость исходного кода, что не позволяет модифицировать их и тем самым подстраивать под конкретные специфические задачи.

Для расчёта температурного поля узлов примыкания (монтажных швов) оконных блоков к стене пользовались прямоугольной сеткой (рис 2). Располагая нити сетки более густо в области поля, в которой нас наиболее интересует распределение температуры, например в местах теплопроводных включений, и более редко в остальной области поля, удалось значительно сократить число узлов сетки, а следовательно, и число расчётных уравнений. При прямоугольной сетке коэффициенты теплопередачи между узлами определялись с учётом площади, по которой передаётся тепло [13]; размер поля в направлении оси z принимали равным 1м. При этом, если узлы сетки лежали в области одного материала, имеющего коэффициент теплопроводности λ (однородное поле), то по рис 2. получили следующие значения величин коэффициентов теплопередачи между узлом с температурой τ_x и соседними узлами:

к узлу 1 – площадь теплопередачи будет: $F_1 = \frac{\Delta y_1 + \Delta y_2}{2}$; коэффициент теплопередачи $k_{x-1} = \frac{\lambda}{\Delta x_1} F_1$;

к узлу 2 - $F_2 = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{2}$; $k_{x-2} = \frac{\lambda}{\Delta y_2} F_2$;

к узлу 3 - $F_3 = F_1$; $k_{x-3} = \frac{\lambda}{\Delta x_2} F_3$;

к узлу 4 - $F_4 = F_2$; $k_{x-4} = \frac{\lambda}{\Delta y_4} F_4$;

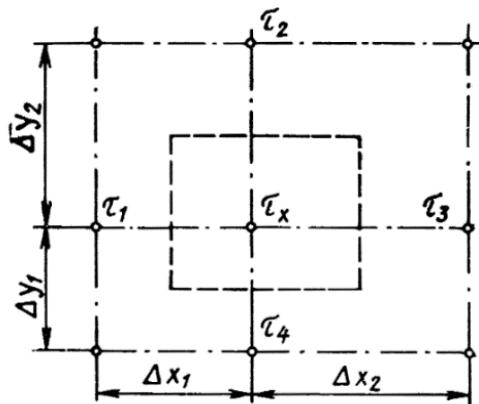


Рис 2. Схема для расчёта плоского температурного поля при наложении прямоугольной неравномерной сетки.

Если поле неоднородно, то коэффициенты теплопередачи между узлами сетки определялись так же, как и при квадратной сетке, но с умножением их на соответствующие площади теплопередачи F в m^2 .

Расчёты температурного поля делались методом интеграции следующим образом. Предварительно задавались некоторыми произвольными значениями температур во всех узлах сетки. Затем по формуле (6) последовательно вычисляли значения температур во всех узлах, заменяя полученными значениями температур предыдущие до тех пор, пока в каждом узле сетки поля температура не стала удовлетворять соответствующим уравнениям при заданных температурах воздуха с одной и с другой стороны ограждения.

$$\tau_{x,y} = \frac{k_{x-\Delta} \tau_{x-\Delta} + k_{y+\Delta} \tau_{x,y+\Delta} + k_{x+\Delta} \tau_{x+\Delta} + k_{y-\Delta} \tau_{x,y-\Delta}}{k_{x-\Delta} + k_{y+\Delta} + k_{x+\Delta} + k_{y-\Delta}}. \quad (6)$$

Процесс расчёта можно было считать законченным только тогда, когда в пределах заданной точности температуры оставались постоянными во всех узлах сетки. Продолжительность расчётов зависела от того, насколько правильно были заданы начальные температуры.

Температурное поле, полученное для данных значений температур внутреннего и наружного воздуха, легко пересчитывалось и для других значений этих температур на основании того, что разность температур любой точки поля и внутреннего или наружного воздуха изменялась пропорционально изменению разности температур внутреннего и наружного воздуха.

Для прямоугольников, в которые входит только один материал, $k=\lambda/\Delta$, где λ – коэффициент теплопроводности материала, Δ – расстояние между узлами сетки в m . Если узел с температурой $\tau_{x,y}$ лежит в плоскости, граничащей с воздушной средой, то коэффициент теплопередачи к воздуху будет равен соответствующей величине коэффициента тепловосприятия α_v или теплоотдачи α_n . В этом случае величины k к соседним узлам, лежащим в этой плоскости, берутся с коэффициентом 0,5 на основании того, что в направлении к этим узлам передача тепла по материалу будет происходить только по площади, равной половине прямоугольной сетки, а по воздуху, в котором окажется вторая половина прямоугольника, передачи тепла не будет.

ВЫВОД

На основании анализа методов расчёта температуры в толще ограждающих конструкций можно сделать следующие выводы:

1. В дали от места примыкания оконного блока, т.е. на расстоянии 1-1,5 метра от этого места для расчёта температуры по толщине стены можно пользоваться формулами приведёнными в КМК 2.01.04-97*.

Для расчёта температуры в узле примыкания оконного блока к наружной стене следует использовать метод расчёта температурного поля, основанный на методе конечных разностей. При этом рекомендуется располагать нити сетки более густо в области поля узла примыкания, и более редко в остальной области поля, значительно сокращая число узлов сетки, а следовательно, и число расчётных уравнений.

Использованная литература:

1. Закон Республики Узбекистан «О рациональном использовании энергии» № 412-І от 25 апреля 1997 года.
2. QMQ 2.01.04-97* “Qurilish issiqlik texnikasi”, Тошкент 2011.
3. Зенкевич О. Конечные элементы и аппроксимация / О. Зенкевич, К. Морган; Перевод с английского под ред. Н.С. Бахвалова. - М.: Мир, 1986. - 318 с.

4. Кривошеин А.Д. К вопросу о расчете приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций / А.Д. Кривошеин, С.В. Федоров // Инженерно-строительный журнал.-2010. - №8. - С.21-27.
5. Лутц М. Программирование на Python / М. Лутц; Перевод с английского, под ред. М. Деркачева. - Санкт-Петербург: Символ-Плюс, 2002.-1136 с.
6. По материалам доклада док. Гельмута Хоенштайна (Dr. Helmut Hohenstein), на GLASS PERFORMANCE DAYS 2007, Тампере, Финляндия
7. Bolikulovich, K. M., & Pulatovich, M. B. (2022). HEAT-SHIELDING QUALITIES AND METHODS FOR ASSESSING THE HEAT-SHIELDING QUALITIES OF WINDOW BLOCKS AND THEIR JUNCTION NODE WITH WALLS. *Web of Scientist: International Scientific Research Journal*, 3(11), 829-840.
8. Khayitov, M. B. (2021). THERMAL INSULATION MATERIALS: ADVANTAGES AND PRODUCTION. *Theoretical & Applied Science*, (1), 375-378.
9. DB, R., MB, K., & Fazilov, F. X. (2024). Basics Of Studying The Temperature Field In Structures Under The Climate Conditions Of Uzbekistan. *The Peerian Journal*, 27, 94-99.
10. Mamadaliyev, X. E., & Fazilov, F. X. (2024). Prospects for the Use of Coal Ash in the Construction Industry. *International Journal of Scientific Trends*, 3(2), 45-48.
11. Bolikulovich, K. M., & Bakhodirovna, R. D. (2023). Methodology for Calculation of the Temperature Field in the External Fencing Structures of Buildings.
12. Bolikulovich, K. M. (2023). STUDY OF THE THERMAL CONDITIONS OF CONNECTIONS OF WINDOW BLOCKS TO A WALL. *Gospodarka i Innowacje.*, 33, 323-327.
13. Matyokubov, B. P., & Rustamova, D. B. PERSPECTIVE CONSTRUCTIVE SOLUTIONS OF MODERN COMPOSITE EXTERNAL WALLS OF SANDWICH TYPE. *International Journal For Innovative Engineering and Management Research*.
14. Bolikulovich, K. M., & Bakhodirovna, R. D. Modern Journal of Social Sciences and Humanities.
15. Turakulovna, E. M. U., Baxodirovna, R. D., & Pulatovich, M. B. (2024). CLIMATE AND BUILDING ENERGY EFFICIENCY. *Научный Фокус*, 1(11), 386-389.
16. Turakulovna, E. M. U., & Pulatovich, M. B. (2023). DEVORLARNING ISSIQLIKKA CHIDAMILILIGINI OSHIRUVCHI MATERIALLARNING XUSUSIYATLARI. *JOURNAL OF ENGINEERING, MECHANICS AND MODERN ARCHITECTURE*, 765-768.
17. Turakulovna, E. M. U., & Pulatovich, M. B. (2024). Characteristics of Materials that Increase the Heat Resistance of Walls. *Innovative: International Multidisciplinary Journal of Applied Technology (2995-486X)*, 2(2), 36-39.
18. Salomovich, T. E., Samariddinovich, S. U., & Pulatovich, M. B. (2023). Improving the Heat Preservation Properties of the Exterior Walls of Brick Buildings. *International Journal of Culture and Modernity*, 28, 15-20.
19. Inatillayevich, G. O., & Pulatovich, M. B. Analysis of Underground Projects of Energy Efficient Low-Rise Residential Buildings Built on Highly Flooded Soilshttps. doi. org/10.31149/ijie. v4i9, 2156.