

## РАСХОД ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ПРИ РАСЧЕТНОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ НАПОРЕ ПОДВИЖНОГО СЛОЯ МОК

Исаев В.Ф., к.т.н., доцент, Прусенков Н.А., к.т.н., доцент.

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

Все ограждающие конструкции зданий и сооружений призваны разделять окружающее объект пространство на два – наружное и внутреннее, находящиеся с обеих сторон его поверхностей. Они омываются теплоносителями, каждый из которых изменяет свои характеристики, независимо от другого, контактирующего с соответствующей поверхностью. В соответствии с назначением, эти конструкции могут рассматриваться модификациями теплообменных аппаратов, что регламентирует возможность отнесения многослойных ограждений к разделу Международной Патентной Классификации (МПК<sup>12</sup>) с шифром – F28 9/02 «Теплообменные аппараты с неподвижными плоскостями или пластинчатыми каналами для теплоносителей, которые контактируют с разделяющими стенками». Одна из основных задач такого теплообменника заключается в поддержании постоянной температуры на внутренней поверхности ( $t_{в}, ^\circ\text{C}$ ) наиболее экономичным способом, при изменяющейся независимо от этого температуре снаружи ( $t_{н}, ^\circ\text{C}$ ), с минимальными эксплуатационными и капитальными потерями при уменьшении удельных затрат тепловым потоком ( $\Delta q_{огр}, \text{Вт}/\text{м}^2$ ), переходящим через ограждение и регламентирующим стоимость отопления.

Как следствие перехода теплового потока между внутренней и наружной поверхностями ограждения (пересечения потоком тепла поперечного сечения многослойной ограждающей конструкции (МОК)), возникающего из-за перепада температур в разделяемых объемах окружающего пространства, формируется потеря энергии в нем. Соответственно, затраты энергии на поддержание постоянной температуры внутри должны регулярно корректироваться, из-за хаотичности изменений температуры.

В настоящее время руководящим документом при решении задач регулирования потерь энергии тепловыми потоками через ограждающие конструкции считается ДБН «Тепловая изоляция зданий и сооружений» В.2.6-31:2006 [1]. В рамках этого документа принято, что удельное термическое сопротивление ограждений ( $R_{огр}, (\text{м}^2 \times ^\circ\text{C})/\text{Вт}$ ) –

основной критерий в этом нормативе – формируется в период создания ограждающей конструкции (на этапе капитальных затрат) [1]. При этом удельное термическое сопротивление конструкции ограждения, обеспеченное при создании, считается неизменным все время ее существования, в том числе, постоянным на этапе эксплуатации. Или, другими словами, регулирование теплотехнических характеристик ограждающих конструкций на этапе эксплуатации базовый норматив [1] не предусматривает. Сохранение приоритетов ДБН для замкнутых слоев и их составляющих позволяет использовать известные методы расчетов замкнутых элементов конструкций, неизменных на этапе эксплуатации МОК. При таком подходе к средствам и способам создания ограждающих конструкций, обеспечивающем расчетные или нормативные теплотехнические характеристики, регулирование термического сопротивления ограждения на этапе эксплуатации объекта не осуществляется, оставляя управление термическим сопротивлением конструкции атрибутом только этапа априорных капитальных затрат и функцией фактического или расчетного значений перепада температур на поверхностях МОК ( $\Delta t_{\text{огр}} = t_{\text{в}} - t_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$ ). Как следствие применения такого способа, потеря энергии потоком, пересекающим ограждающую конструкцию на этапе эксплуатации, остается неуправляемой, являясь только изменяющейся, зависимо от температурного перепада. Производство диктует необходимость создания способа регулирования потерь энергии потоком, переходящим конструкцию и реализующим управляющее воздействие перепада температур для снижения потерь энергии во время эксплуатации объекта.

Следует отметить, что изменения удельных термических сопротивлений ( $R_x = \delta_x / \lambda_x, (\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}) / \text{Вт}$ ) при создании (этап капзатрат) МОК и температурного перепада на их поверхностях ( $\Delta t_x, ^\circ\text{C}$ ) при эксплуатации (этап эксплуатационных затрат), узаконенные нормативными документами – не единственно возможные направления поиска способов регулирования потерь энергии переходящим через ограждение потоком тепла [1,2].

Дополнение ограждающей конструкции подвижным слоем (пс) не противоречит указаниям действующих норм, а наоборот – рекомендуется ими и пионерными решениями при модернизации, что стимулирует необходимость уточнения теоретических основ расчета потерь энергии в нем и во всей МОК на этапе эксплуатации за счет взаимодействия пересекающихся составляющих потоков [1-4]. Включение в состав элементов МОК дополнительного подвижного слоя требует учета возможности компенсации энергопотерь поступлениями в подвижной составляющей подвижного потока на этапе эксплуатации [5].

Включение подвижного слоя с подвижным потоком МОК обеспечивает подачу компенсирующих энергопоступлений извне и формирует проблемы, автоматически аннулированные ранее ДБН [1] исключительностью использования в МОК замкнутых слоев, предусматривающих проявление теплотехнических свойств, присущих только замкнутому составляющим:

- непостоянство удельного термического сопротивления подвижного потока ( $R_{пс}$ ), регулируемого в период эксплуатации внешними поступлениями тепловой энергии в подвижной составляющей;

- изменение температур на поверхностях подвижного слоя, зависимо от регулируемых параметров подвижной составляющей потока;

- возможность возникновения несанкционированных ДБН [1] тепловых потоков из-за различия температур на соприкасающихся поверхностях замкнутых и подвижных слоев МОК;

- зависимость потерь энергии в потоках тепла и их составляющих, пересекающих подвижный слой МОК, от температуры пространства снаружи МОК, не поддающейся регулированию;

- взаимодействие составляющих потоков тепловой энергии, пересекающихся в подвижном слое, предусматривающее регулирование теплотехнических характеристик поступлений, а следовательно, и всей МОК;

- регулирование поступлений энергии от внешних источников изменением расхода среды подвижной составляющей подвижного потока.

Следует отметить специально, как отличительную особенность и новизну способа регулирования потерь энергии в потоке, пересекающем МОК, включение в процесс перехода тепла в среде подвижной составляющей, поступлений от внешних источников, вступающих в теплообмен с составляющими этого потока [6,7]:

$$Q_{псп} = N_{псп} \times t_{сек} = \Delta T_{псп} \times C_v \times L_{псп} \times t_{сек}, \text{ дж}, \dots\dots\dots(1)$$

где:

- $Q_{псп}$  – поступления энергии в подвижной составляющей подвижного потока, дж;

- $N_{псп} = \Delta T_{псп} \times C_v \times L_{псп}$  – мощность компенсационных теплопоступлений в подвижной составляющей, вт;

- $\Delta T_{псп}$  – температурный напор потока, поступившего в подвижной составляющей слоя [5], °С;

- $C_v$  – удельная объемная теплоемкость подаваемой среды, дж/(м<sup>3</sup>х °С);

- $L_{псп}$  – расход подаваемой подвижной среды, м<sup>3</sup>/сек;

- $t_{сек}$  – время поступления потока в подвижный слой, сек.

Для предотвращения возникновения потоков тепла между соприкасающимися слоями МОК необходимо обеспечить равенство температур на их поверхностях [7]:

$$t_{нов} = t_{псн} \quad \text{и} \quad t_{мсн} = t_{псв}, \text{ } ^\circ\text{C}, \dots \dots \dots (2)$$

где:

- **$t_{нов}$**  и  **$t_{псн}$**  – внутренняя и наружная температуры наружного ограждения и подвижного слоя, соответственно,  $^\circ\text{C}$ ;
- **$t_{мсн}$**  и  **$t_{псв}$**  – наружная и внутренняя температуры материала стены и подвижного слоя, соответственно,  $^\circ\text{C}$ .

В существующих промышленных установках, перемещающих среду, содержащую большое количество тепла, ограничиваются изменением качества теплоизоляции наружных поверхностей слоев ограждений. Потенциал регулирования энергии теплоносителя такие конструкции не учитывают. Многовариантность соотношения температур взаимодействующих и рассматриваемых тепловых потоков в соприкасающихся подвижных и замкнутых слоях исследованиями не оценивалась и не обобщалась. Актуальность этой проблемы осталась за пределами внимания современного инженеринга. Необходимо доказывать перспективность проведения поиска в этом направлении для реализации и развития современных энергосберегающих технологий. На данном этапе рассмотрения проблемы регулирования потерь энергии в тепловом потоке, пересекающем все слои МОК, поступлениями в подвижном слое, ограничиваемся рассмотрением варианта, предусматривающего только компенсацию потерь энергии в подвижном слое. За счет этих энергопоступлений возможно обеспечение заданных температур на поверхностях подвижного слоя МОК, исключая возникновение нежелательных тепловых потоков между соприкасающимися замкнутыми и подвижными слоями. Учет взаимодействия замкнутых и подвижных слоев МОК и перспективность перераспределения потерь в пересекающихся потоках следует изучать отдельно.

Методики расчетов и проектирования МОК, созданные на базе действующих норм [1], ограничиваются выбором экстремальных (или постоянных расчетных) значений удельных термических сопротивлений МОК ( $R_{мок} = R_{огр}$ ,  $(\text{м}^2 \times \text{х}^\circ\text{C}) / \text{Вт}$ ), обеспечивающих достижение заданной величины температурного перепада на ее поверхностях, температуры которых задаются при создании сооружения, на этапе капитальных затрат [2]. Следуя этим методикам легко определяют температуры на внутренней (в) и наружной (н) поверхностях замкнутых слоев ( $t_{но(в,н)}$  и  $t_{мс(в,н)}$ ) и, соответственно, температуры поверхностей подвижного слоя (см. (2)). Существующие методы расчета потерь энергии в слоях ограждений позволяют представить их для подвижного

слоя ( $Q_{пс}$ ) слагаемым, входящим в сумму потерь слоями МОК ( $Q_{мок}$ ), с учетом ее теплоперехода на поверхностях:

$$Q_{пс} = Q_{мок} - (Q_{но} + Q_{мс} + Q_{в} + Q_{н}), \text{ дж}, \dots \dots \dots (3)$$

где:

-  $Q_{пс}$  – общая потеря всеми составляющими перехода тепла в подвижном слое МОК, **дж**;

-  $Q_{мок}$  – затраты тепла системой отопления, обеспечивающей расчетные температуры на поверхностях МОК, без компенсации поступлениями в подвижной составляющей в подвижном слое МОК, **дж**;

-  $Q_{но}$  – затраты на переход потока в слое наружного ограждения (снаружи от пс), согласно ДБН [1], **дж**;

-  $Q_{мс}$  – затраты на переход потока в материале стены (с внутренней стороны пс), согласно ДБН [1], **дж**;

-  $Q_{в(н)}$  – затраты теплоперехода на поверхностях МОК, **дж**.

С другой стороны, суперпозиционирование потока подвижного слоя ( $Q_{пс}$ , **дж**) на подвижную ( $Q_{псп}$ , **дж**) и замкнутую ( $Q_{пз}$ , **дж**) составляющие, представляет величину подвижного потока их суммой:

$$Q_{пс} = Q_{пз} + Q_{псп}, \text{ дж}, \dots \dots \dots (4)$$

где:

-  $Q_{пз}$  – потери энергии замкнутой составляющей на преодоление ее термического сопротивления, **дж**;

-  $Q_{псп}$  – компенсационные поступления формирующие теплообмен между составляющими, **дж**.

В выбранном ракурсе обсуждения перспективности регулирования потерь тепловым потоком, пересекающим поперечное сечение МОК, средствами суперпозиционируемого на замкнутую и подвижную составляющие потока в подвижном слое, ограничимся рассмотрением варианта, предусматривающего однозначность суммы затрат его энергии слагаемыми на переход тепла между поверхностями, подсчитанных в соответствии с действующими методиками и ДБН [1] (см. (3)) и суммы компенсации потерь в подвижной составляющей подвижного потока ( $Q_{псп}$ ) с затратами на переход тепла в замкнутой составляющей ( $Q_{пз}$ ), см. (4). Взаимодействие этих составляющих подвижного слоя с потоками слоев, соприкасающихся с подвижным, следует рассматривать отдельно. Приравниванием правых частей уравнений (3) и (4) получают формулу для расчета потерь энергии, необходимой для компенсации потерь, возникающих из-за недостаточности удельного термического сопротивления подвижного слоя МОК:

$$Q_{псп} = Q_{мок} - (Q_{но} + Q_{мс} + Q_{в} + Q_{н} + Q_{пз}), \text{ дж}, \dots \dots \dots (5)$$

При найденных потерях тепловой энергии в подвижной составляющей подвижного потока ( $Q_{псп}$ , см. (5)) и установленном темпера-

турном режиме МОК ( $\Delta T_{\text{псп}}$ ) в схеме изменения температур в ее слоях [8], при условии исключения возникновения потоков тепловой энергии вдоль оси подвижной составляющей (см. (2)), легко определить расход транспортирующей среды ( $L_{\text{псп}}$ ), преобразовав формулу (1), приведенную выше:

$$L_{\text{псп}} = N_{\text{псп}} / (T_{\text{псп}} C_{\text{v}}), \text{ м}^3/\text{сек} \dots\dots\dots(6)$$

### ***Выводы***

1. Отнесение многослойных ограждений к классу МПК<sup>12</sup> F28 9/02 благо-приятствует целесообразности переоценки применимости способов регулирования потерь энергии в период эксплуатации для снижения потерь.

2. Включение подвижного слоя в число элементов МОК стимулирует возникновение дополнительных составляющих их характеристик, позволяющих изменять и регулировать окружающую температуру и энергозатраты компенсирующими поступлениями от внешних источников, утилизируя их потенциал.

3. Исключение теплоперехода между соприкасающимися слоями, возникающего как следствие подвижности части из них, достигается регулированием расхода теплоносущей среды и температурного напора в ней, для каждой комбинации температур вокруг МОК.

4. Влияние подвижности слоя, регулирующей параметры температурного режима, на потери энергии учтено в публикации для варианта компенсации недостаточности термического сопротивления МОК, согласно действующим методикам, что указывает на перспективность оценки взаимодействия между отдельными слоями конструкции и подвижным слоем, что прогнозирует необходимость продолжение исследований.

### **SUMMARY**

**The regulatory framework of energy loss calculation flows crossing og razhdeniya very limited opportunities in their regulation during the operational phase of the MOC. This drawback can be avoided inclusion in the design of a moving bed with adjustable coolant flow pressure and temperature. The above formulas complement existing control techniques equations for calculating compensation income during the operation to avoid losses. Given the diversity of combinations of parameters,**

**enabling the exclusion of losses in the interaction of closed leaves with a moving study should continue.**

### *Литература*

1. ДБН В.2.6-31:2006 Тепловая изоляция зданий и сооружений. – К : Минстрой Украины «Укрстройинформ» 2006г., 65стр., с ил.
2. Прусенков Н.А. Капитальные и эксплуатационные затраты ограждений. – Одесса: ВЕСТНИК ОГАСА, выпуск №45, 2012г., ст.199-2002.
3. Олексова Е.А., Прусенков Н.А. Регулирование теплотехнических параметров ограждений подаваемым тепловым потоком. – Одесса: ВЕСТНИК ОГАСА, выпуск №43, 2011г., ст. 237-240.
4. Рекомендации по проектированию навесных фасадных систем с вентилируемым воздушным зазором для строительства и реконструкции зданий. – М : Москомархитектура, 2002г., 104с., с ил.
5. Прусенков Н.А. Компенсации потерь постоянным поступлением в многослойные ограждения – Одесса: ОДАХ, Холодильная техника и технология, №4 (144), 2013г., ст. 37-40, 4с.
6. Прусенков Н.А. Переход теплового потока между поверхностями МОК в подвижном слое. – Одесса: ВЕСТНИК ОГАСА, №53, 2014г., ст.316-320.
7. Тихомиров К.В., Сергиенко Э.С. Теплотехника, отопление и вентиляция. – М: Стройиздат, 1991г., 480стр., с ил.
8. Прусенков Н.А. Схема определения составляющих потерь тепла в подвижном слое МОК. – Одесса: ОДАХ, Холодильная техника и технология №4 (150), 2014г. сс.39-43.