

3. Казанков, А.П. О деформациях изгибаемых элементов при действии постоянных и многократно повторяющихся нагрузок // Строительные конструкции. – Минск, 1976. – С. 110–114.
4. Камайлис, З.А. Трещиностойкость предварительно напряженных изгибаемых железобетонных элементов при действии многократно повторяющихся нагрузок. – Каунас, 1965. – 21 с.
5. Левич, В.В. Исследование напряженно-деформированного состояния изгибаемых элементов при многократно повторяющихся нагрузках // Вопросы современного строительства. – Львов, 1973. – № 1. – С. 111–113.
6. Пиневиц, С.С. Исследование выносливости стабилизированных и отпущенных семи-проволочных канатов и работы армированных ими железобетонных преднапряженных изгибаемых элементов при многократно повторном нагружении. – Ростов-на-Дону, 1981. – 20 с.
7. Самбор, Ю.В. Особенности развития деформаций (прогибов) железобетонных балок при многократно повторяющихся нагрузках // Строительные конструкции. – Киев, 1971. – Вып. XV. – С. 122–133.

УДК 699.86

*Седляр Ю.А.*

*Научный руководитель: профессор, к.т.н. Черноиван В.Н.*

### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ НЕОШТУКАТУРЕННЫХ СТЕН НА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Введение.** Анализ сложившейся за последнее десятилетие структуры потребления топливно-энергетических ресурсов отраслями экономики Беларуси показывает, что наибольший рост, почти на 9% (до 34% общего их потребления народным хозяйством) имеет место в коммунально-бытовом секторе. Рост потребления топливно-энергетических ресурсов произошел за счет эксплуатируемых зданий, построенных в 70...80-х годах прошлого века. Согласно информации, предоставленной КУП «ЖРЭУ» г. Бреста, наибольший расход тепловой энергии на 1 м<sup>3</sup> помещения приходится на эксплуатируемые здания с кирпичными стенами с расшивкой швов. Основной объем таких зданий составляют общежития, жилые дома, здания школ и детских садов.

Как показала практика, через 5...8 лет эксплуатации зданий (в зависимости от того насколько суровы были зимы), прошедших тепловую реабилитацию, внутри жилых помещений на участках наружных кирпичных стен появляется грибковая плесень, что отнюдь не способствует качеству жилой среды [1]. На сегодня специалистами установлены основные причины, приводящих к снижению эффективности тепловой изоляции наружных стен эксплуатируемых зданий и сооружений – это: ошибки, допущенные при проектировании тепловой изоляции; нарушения технологии производства работ; изменения (как правило, ухудшение) теплотехнических характеристик плитных утеплителей в процессе их эксплуатации.

Учитывая, что основу проектирования тепловой изоляции наружных стен эксплуатируемых зданий и сооружений составляют теплотехнические расчеты, настоящие исследования посвящены реализации требования п. 7.1.6 ТКП 45-3.02-113-2009 [2], введенного с 01.01.2010 г. по определению (расчету) фактического сопротивления теплопередаче наружных кирпичных стен эксплуатируемых зданий и сооружений.

## Анализ методов, используемых при определении значений фактического сопротивления теплопередачи кирпичных стен

На сегодня основными методами определения значения фактического сопротивления теплопередаче наружных стен эксплуатируемых зданий являются:

- расчетный, базирующийся на методике ТКП 45-2.04-43-2006 [3];
- измерительный, позволяет определить необходимые значения с использованием приборов.

Проанализируем основные положения этих методов.

1. *Расчетный метод.* Расчет фактического сопротивления теплопередаче наружных кирпичных стен выполняется по результатам обследования технического состояния кирпичной кладки, включающим:

- конструктивное решение стенового ограждения;
- материал кирпича;
- толщину каждого однородного слоя кладки.

Значения коэффициента теплопроводности кирпичной кладки, приведенные в ТКП 45-2.04-43-2006 [3], даны для следующих значений весовой влажности кладки:

- 1 и 2% для кладки из глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчанном растворе;
- 2 и 4% для кладки из силикатного кирпича на цементно-песчанном растворе;
- 1 и 2% для кладки из керамического пустотелого кирпича с пустотами на цементно-песчанном растворе.

2. *Измерительный метод.* Для определения значения фактического сопротивления теплопередаче наружных стен эксплуатируемых зданий используют измерители теплового потока. Наиболее распространенным из них является ИПП-2 [4]. Как показывает практика проведения натурных исследований с использованием измерителей теплового потока, достоверность результатов, полученных этим методом, возможна при соблюдении следующих условий:

- разность температур на внутренней и наружной поверхностях ограждающих конструкций должна составлять не менее 20°C;
- исключены (или минимизированы): влияние скорости ветра и воздействия солнечного облучения обследуемой поверхности стен.

Таким образом, измерительный метод определения величины фактического сопротивления теплопередаче наружных стен эксплуатируемых зданий, на сегодня, не может быть рекомендован для массового применения.

## Результаты обследования технического состояния кирпичных стен эксплуатируемых зданий

Согласно п.п. 7.1.5 и 7.1.6 [2], определение фактического значения приведенного сопротивления теплопередаче нештукатуренных кирпичных стен эксплуатируемых зданий расчетно-аналитическим методом возможно только по результатам обследования технического состояния стен с определением следующих характеристик кирпичной кладки:

- конструктивное решение наружных ограждающих конструкций;
- материалы, используемые для кирпичной кладки;
- толщины горизонтальных и вертикальных швов кладочного раствора;
- распределение весовой влажности по сечению каждого конструктивного элемента ограждающих конструкций.

С целью получения необходимой информации по вышеперечисленным характеристикам кирпичной кладки, авторами статьи была разработана методика проведения исследований и в феврале 2009 года выполнено детальное обследование технического со-

стояния кирпичной кладки наружных стен общежития №1 БрГТУ, построенного в 1966 году. Наружные стены здания общежития толщиной 510 мм имеют следующее конструктивное решение. Наружная верста выполнена из кирпича силикатного под расшивку швов. Каждый пятый ряд кирпичной кладки наружной версты – тычковый. Внутренняя верста кладки выполнена из кирпича керамического щелевого. Кладочный раствор – цементно-песчаный.

По результатам обработки выполненных исследований построены графики распределения влажности по толщине кирпича наружной версты кладки (рис. 1). Распределение влажности по толщине слоя кладочного раствора в горизонтальных швах кладки приведено на рисунке 2.

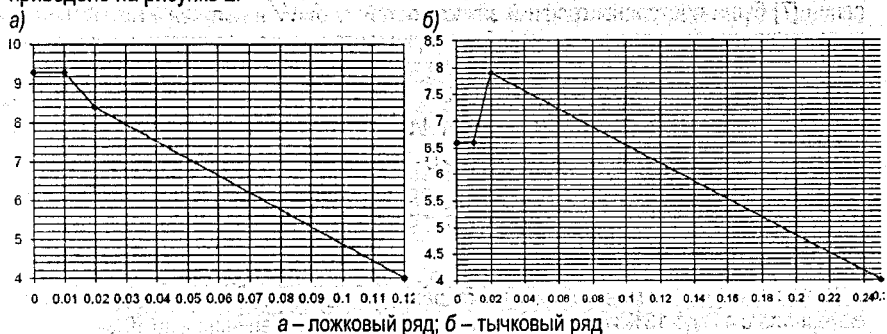


Рисунок 1 – График распределения влажности по толщине кирпича

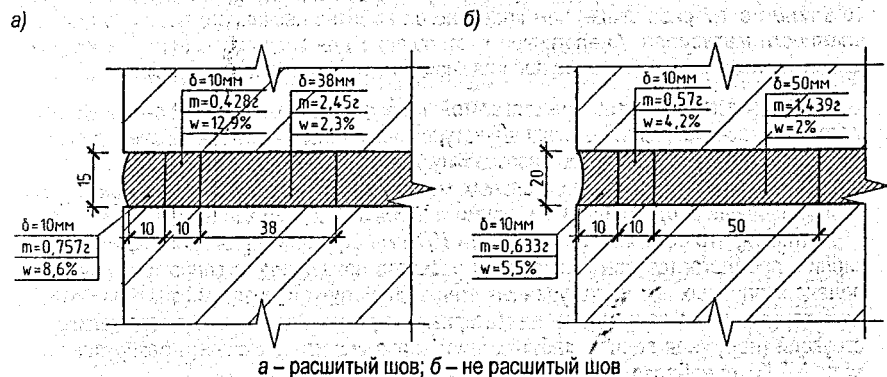


Рисунок 2 – Распределение влажности по толщине слоя кладочного раствора

**Обсуждение полученных результатов исследований.** Результаты выполненных натуральных исследований (рис. 1, 2) показали, что максимальное значение влажности материала силикатного кирпича составляет от 8% (ложковый ряд) до 9,3% (тычковый ряд), что в 2...2,3 раза выше нормируемой [1].

Анализ технического состояния горизонтальных швов кирпичной кладки показал, что толщина их достигает 20 мм, что в 2 раза превышает допустимые значения [6]. Кладочный раствор в швах, толщина которых более 14 мм – разрушился. Исследованиями установлено, что техническое состояние швов кладки существенно влияет на величину и ха-

рактр распределения влажности в нем (рис. 3). Максимальная зафиксированная влажность материала кладочного цементно-песчаного раствора в горизонтальных швах наружной версты кладки близка 13%, что почти в 3,5 раза выше нормируемых значений [1].

Учитывая, что в действующих нормативных документах [1] отсутствуют зависимости значений коэффициента теплопроводности ( $\lambda$ ) от величины весовой влажности ( $W$ ) для основных строительных материалов, используемых для кирпичной кладки стен, была выполнена работа по их определению.

В качестве базы для получения зависимости  $\lambda$  от  $W$  для кирпича силикатного и глиняного, а также цементно-песчаного раствора, были использованы результаты исследований, выполненных Франчуком А.У. [7]. На основании результатов обработки исследований [7] были построены графики зависимостей  $\lambda$  от  $W$  и получены математические выражения для вычисления значений коэффициента теплопроводности для кирпича силикатного (1), кирпича глиняного (2) и кладочного цементно-песчаного раствора (3):

$$\lambda_{\text{К.С.}} = 0,038 \cdot W + 0,84, \quad (1)$$

$$\lambda_{\text{К.Г.}} = 0,021 \cdot W + 0,5254, \quad (2)$$

$$\lambda_{\text{Р.К.}} = 0,020 \cdot W + 0,52. \quad (3)$$

Выполненные исследования показали, что при увеличении весовой влажности с 4% до 10% коэффициент теплопроводности вырос:

для кирпича силикатного на 23%;

для кирпича глиняного на 21%.

Для кладочного цементно-песчаного раствора при увеличении весовой влажности материала с 4% до 13% коэффициент теплопроводности увеличился на 30%.

Анализ полученных зависимостей  $\lambda$  от  $W$  позволил установить, что фактическое значение коэффициента теплопроводности кирпича силикатного при влажности материала 10% почти в 1,7 раза выше, чем кладочного цементно-песчаного раствора при той же влажности материала. Аналогичное соотношение для кирпича глиняного и кладочного цементно-песчаного раствора при влажности материала 10% не превышает 2%.

**Основные положения предлагаемой методики расчета.** Согласно предлагаемой методике расчета кирпичные неоштукатуренные стены эксплуатируемых зданий рекомендуется рассматривать как многослойную неоднородную ограждающую конструкцию, состоящую из различных строительных материалов (кирпич глиняный, кирпич силикатный, кладочный раствор и др.), со своими теплотехническими характеристиками.

Учитывая, что основной объем (почти 75%) конструкции кирпичной кладки составляет кирпич, предлагается при выполнении расчетов приведенного сопротивления теплопередаче кирпичных неоштукатуренных стен эксплуатируемых зданий значение приведенного термического сопротивления материала кирпича, уложенного в ограждающей конструкции (наружная верста, забутка, внутренняя верста), вычислять базирясь на формуле 5.5 [3], преобразовав ее в выражение (4):

$$R_k = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}, \quad (4)$$

где  $R_k$  – термическое сопротивление материала кирпича ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \times \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $\delta_1, \dots, \delta_n$  – толщина слоя кирпича кладки с фактически зафиксированной влажностью материала,  $\text{м}$ ;  $\lambda_1, \dots, \lambda_n$  – фактические значения коэффициента теплопроводности материала кирпича каждого рассматриваемого слоя, соответствующее зафиксированной влажности материала ( $W$ ),  $\text{Вт}/(\text{м} \times \text{°C})$ .

Учитывая, что коэффициенты теплопроводности материала вяжущего кладочного раствора и материала кирпича отличаются для определения сопротивления теплопередаче кирпичной кладки нештукатуренных стен, в зависимости от соотношения содержания в кирпичной кладке кирпича и раствора, предлагается следующее выражение:

$$R_{кп} = R_k \cdot P_k + R_p \cdot P_p, \quad (5)$$

где  $R_k$  – термическое сопротивление материала кирпича ограждающей конструкции, вычисленное по математическому выражению (4),  $\text{м}^2 \times \text{°C/Вт}$ ;  $R_p$  – термическое сопротивление материала раствора ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \times \text{°C/Вт}$ ;  $P_k$  – доля содержания кирпича по объему в  $1 \text{ м}^2$  кирпичной стены;  $P_p$  – доля содержания раствора по объему в  $1 \text{ м}^2$  кирпичной стены.

После определения  $R_{кп}$  расчет приведенного сопротивления теплопередаче кирпичных нештукатуренных стен эксплуатируемых зданий ведется по формуле 5.6 ТКП 45-2.04-43-2006 [3].

**Сравнительный анализ результатов выполненных расчетов.** Для оценки влияния технического состояния кирпичной кладки нештукатуренные стены эксплуатируемых зданий на величину сопротивления теплопередаче были выполнены следующие поворочные расчеты:

- с использованием Приложения «А» ТКП 45-2.04-43-2006 [3];
- по рекомендуемой методике с учетом только технического состояния силикатного кирпича;
- по рекомендуемой методике, с учетом технического состояния силикатного кирпича и кладочных швов, а также фактического соотношения содержания в кирпичной кладке кирпича и раствора.

Для оценки корректности предлагаемой методики расчета в феврале 2009 года были выполнены измерения фактического сопротивления теплопередаче наружных стен обследуемого здания (общежития №1 БрГТУ) с помощью измерителя теплового потока ИПП-2. Измерения выполнялись на северной стороне здания в безветренную погоду.

Обработанные результаты выполненных исследований приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Значения термического сопротивления обследованной наружной стены**

Поперечное сечение стены	$R_{\phi}/100\%$ , Измеритель теплового потока ИПП-2	$R_{\phi}/\%$ , по ТКП	С учетом технического состояния кирпича	С учетом технического состояния кирпичной кладки
			$R_{\phi}/\%$	$R_{кп}^{п\p}$ / $\%$
Ложок	0,81/100%	0,76/94,2%	0,83/102,5%	0,807/99,6%
Тычок	0,76/100%	0,69/90,8%	0,78/102,6%	0,756/99,5%

### Заключение

По итогам выполненных исследований можно сделать следующие выводы.

1) На термическое сопротивление кирпичной кладки нештукатуренных стен с наружной верстой из кирпича силикатного существенное влияние оказывает:

- а) распределение фактической влажности по толщине силикатного кирпича;
- б) толщина швов кладочного раствора и вид вяжущего.

2) Результаты выполненных исследований показали, что действующие нормативные документы (Приложение «А» ТКП 45-2.04-43-2006) не учитывают фактическое техниче-

ское состояние кирпичной кладки неоштукатуренных стен эксплуатируемых зданий, что приводит к снижению эффективности тепловой изоляции наружных стен эксплуатируемых зданий и сооружений.

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Потерщук, В.А. Пути дальнейшего энергосбережения в жилых зданиях. Белорусский строительный рынок. – 1998. – № 5. – С. 2–3.
2. Тепловая изоляция наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-3.02-113-2009 (02250). – Мн.: Минстройархитект РБ., 2009. – 37 с.
3. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-43-2006 (02250). – Мн.: Минстройархитект РБ., 2007. – 32 с.
4. Измеритель теплового потока ИПП-2. Руководство по эксплуатации и паспорт. ТФАП. 405126.003РЭИПС. Предприятие ЗАО «ЭКСИС», г. Москва. – 16 с.
5. Васильев, Б.Ф. Натурные исследования температурно-влажностного режима жилых зданий. – М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1957. – 210 с.
6. Правила производства и приемки работ. Несущие ограждающие конструкции: СНиП 3.03.01-87. – М.: Стройиздат, 1987. – 56 с.
7. Франчук, А.У. Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов. – М.: Госстрой СССР, НИИСФ, 1969. – 144 с.

УДК 681.3: 634.04

Семенюк О.С.

Научный руководитель: доц. Игнатюк В.И.

### К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В БЕСШАРНИРНЫХ КРУГОВЫХ АРКАХ, ЗАГРУЖЕННЫХ РАДИАЛЬНО НАПРАВЛЕННЫМИ РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ НАГРУЗКАМИ

**Введение.** На цилиндрические покрытия, расчёт которых может быть сведён к расчёту арочных систем, ветровые нагрузки действуют в радиальных направлениях [1]. Поэтому расчёт арок на радиально направленные распределённые нагрузки представляет интерес и актуален. В работе [2] для бесшарнирных арок кругового очертания получены выражения усилий (изгибающих моментов, поперечных и продольных сил) в сечениях при действии указанных нагрузок. Здесь определяются перемещения сечений в таких арках и соответственно деформированный вид арок.

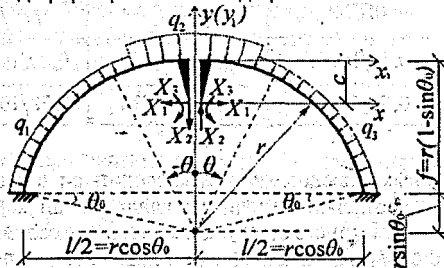


Рисунок 1 – Расчётная схема и основная система метода сил