КОМПЛЕКСНОЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТЫ СТРОЯЩИХСЯ ЗДАНИЙ

Комплексное теплотехническое обследование включает прежде всего внутреннюю и наружную тепловизионную съемку и определение фактических значений приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.

Выявление слабых мест в теплозащите здания, их совершенствование и сравнительная количественная оценка эффективности различных конструкций, внедрение наиболее эффективных технических решений в практику массового строительства – тот путь, который следует использовать для повышения теплозащиты зданий.

Рассмотрим возможности такого подхода на примере трехэтажного жилого дома с техническим подпольем (см. общий вид здания на фото).

Сведения об объемно-планировочных и конструктивных решениях обследуемого объекта приведены из проектной документации. Жилой дом односекционный с техническим подпольем входит в состав комплекса трехэтажных жилых домов.

Конструктивная схема здания – монолитный железобетонный каркас с несущими пилонами в жилой части, монолитными лестничными клетками, монолитными дисками перекрытий.

Наружные стены двух типов.

Состав стены 1-го типа:
- цементно-песчаная штукатурка 30 мм;
- кладка из мелкоячеистых пенобетонных блоков γ = 600 кг/м^3 на растворе;
- плиты из экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС® ФАСАД γ = 25–33 кг/м^3, 80 мм;
- клинкерная плитка 10 мм.

Состав стены 2-го типа:
- цементно-песчаная штукатурка 10 мм;
- железобетонная конструкция (пилоны) 160 мм;
- плиты из экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС® ФАСАД γ = 25–33 кг/м^3, 80 мм;
- плиты из экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС® ФАСАД γ = 25–33 кг/м^3 (дополнительный слой в местах пилонов), 40 мм;
- клинкерная плитка 10 мм.

Кровля плоская, неэксплуатируемая. Состав кровли:
- выравнивающий слой раствора М50 20 мм;
- пароизоляция ИЗОСПАН 1 слой;
- утеплитель «ПЕНОПЛЭКС®-КРОВЛЯ» 150 мм;
- керамзитовый гравий по уклону 50–300 мм;
- цементно-песчаная стяжка М150, армированная сеткой 4Вр1-100 40 мм;
- гидроизоляционный ковер из материала Филизол, два слоя по битумной мастике;
- материал Филизол марки «В» на битумной мастике, один слой.

Окна и балконные двери жилых этажей – двухкамерный стеклопакет в ПВХ-профиле.

Уровень теплозащиты согласно приведенным в проекте расчетным показателям (данные из представленной проектной документации):

приведенное сопротивление теплопередаче
- наружные стены 3 м^2·°С/Вт;
- окна 0,56 м^2·°С/Вт;
- покрытие 5,48 м^2·°С/Вт;
- перекрытие над техническим подпольем 4,85 м^2·°С/Вт.

На тринадцати фрагментах исследуемых наружных ограждений были установлены датчики температуры и теплового потока. Показания датчиков записывались в автоматическом режиме в течение десяти суток. В последующем по этим данным проводились расчеты, результаты которых были использованы для оценки теплофизических качеств ограждений.

В ходе проведения испытаний по определению фактических теплотехнических параметров наружных ограждающих конструкций обследуемого объекта выполнены измерения величин, характеризующих теплопередачу стен, покрытия, пола и стен подвала, окон обследуемого здания. Продолжительность испытаний фрагментов ограждающих конструкций составляла десять суток (3–13 марта 2017 г.).

В течение периода испытаний в автоматическом режиме с интервалом десять минут регистрировалось до 1430 записей измеряемых величин температуры и тепловых потоков.

Накопленная статистика мониторинга процессов теплопередачи через испытуемые фрагменты позволяет оценить фактическое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций объекта.

Сопротивление теплопередаче R_o, м^2·°С/Вт, испытуемой ограждающей конструкции определяется по формуле:

$$R_o = R_{si} + R_k + R_{se}, \qquad (1)$$

где $R_{si} = 1/\alpha_{int}$; α_{int} – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по данным измерений; $R_{se} = 1/\alpha_{ext}$ и α_{ext} – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода, принимаемый по СП 23-101–2004 (табл. 8); R_k – термическое сопротивление ограждающей конструкции, м^2·°С/Вт, определенное по результатам анализа данных мониторинга процессов теплопередачи через испытуемые фрагменты.

Вследствие нестационарных процессов теплопередачи определение сопротивления теплопередаче возможно только на основе совместного анализа временных зави-

Общий вид здания

симостей температуры наружного и внутреннего воздуха, тепловых потоков через ограждающую конструкцию, коэффициентов теплоотдачи внутренней поверхности, а также функции сопротивления теплопередаче $R_k(x)$:

$$R_k(x) = R_{si} + \frac{\tau_{int}(x) - \tau_{ext}(x)}{q(x)} + R_{se}, \quad (2)$$

где x – время, мин; $\tau_{int}(x)$ – температура внутренней поверхности стены, °С; $\tau_{ext}(x)$ – температура наружной поверхности стены, °С; $q(x)$ – плотность теплового потока через ограждение, Вт/м².

Для повышения точности измерений каждый испытуемый фрагмент разбивался на зоны (от трех до десяти), в которых устанавливались датчики теплового потока и температуры.

Временная зависимость плотности теплового потока, представленная в формуле (2), имеет усредненное значение по зонам в каждый момент времени:

$$q(x) = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i(x) \cdot F_i}{\sum_{i=1}^{n} F_i}, \quad (3)$$

где n – число зон, на которые разделен фрагмент в соответствии с установкой датчиков температуры и тепловых потоков; F_i – площадь i-й зоны, м².

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента ограждения определялось по формуле:

Таблица 1

Наименование фрагмента испытуемой конструкции	Приведенное сопротивление теплопередаче $R_{пр}$, м²·°С/Вт			
	Измеренное значение	Расчетное среднее по результатам испытаний	Требуемое значение по СП 50.13330.2012	Расчетное (проектное) значение
Стена торцевая	**2,87**	**2,76**	**2,99**	**3,02** (кладка из блоков) **2,98** (ж/б пилон)
Стена торцевая	**3,33**			
Стена со светопроемом	**1,91**			
Стена со светопроемом	**2,56**			
Стена со светопроемом	**2,75**			
Стена со светопроемом	**2,68**			
Стена со светопроемом	**3**			
Стена (ж/б пилон)	**1,97**			
Покрытие	**2,63**	**2,85**	**4,47**	**5,48**
Покрытие	**3,11**			
Стена техподполья	**1,11**	**1,11**	**–**	**3,72**
Пол техподполья	**1,59**	**1,59**	**–**	**4,14**

Таблица 2

Наименование элемента	Приведенное сопротивление теплопередаче $R_{пр}$, м²·°С/Вт		
	Измеренное значение	Требуемое значение по СП 50.13330.2012	Расчетное (проектное) значение
Оконный блок	**0,56**	**0,49**	**0,56**
– профиль коробки	0,82		
– профиль створок	0,89		
– стеклопакет	0,48		

$$R_k(x) = \frac{\sum_{i=1}^{n} F_i}{\sum_{i=1}^{n} \left(F_i / R_i(x) \right)}, \quad (4)$$

где $R_i(x)$ – сопротивление теплопередаче i-й зоны в момент времени x, м²·°С/Вт.

В формулах (2) и (4) под сопротивлением теплопередаче понимается временная функциональная зависимость между входящими переменными.

В частном случае стационарного режима теплопередачи эти соотношения определяют приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента стены в стандартном понимании, изложенном в нормативных документах.

Результаты определения приведенного сопротивления теплопередаче для фрагментов стен, покрытия и пола техподполья сведены в табл. 1.

Результаты измерений сопротивления теплопередаче оконного блока приведены в табл. 2.

Выводы по представленным результатам измерений.

1. Наблюдается значительный разброс показателей разных фрагментов стен. Диапазон измеренных значений сопротивления теплопередаче от 1,9 до 3,3 м²·°С/Вт. Это типичная ситуация, связанная с различиями в конструктивных решениях, на теплотехнические качества которых влияют различные теплопроводные включения. При экспертизе соответствия проекту или требованиям норм наиболее объективным показателем является средневзвешенное значение сопротивления теплопередаче по всем фрагментам стен. Для обследуемого здания оно составляет 2,76 м²·°С/Вт, что близко к проектному 3 м²·°С/Вт.

2. Менее благополучна ситуация с конструкцией покрытия. Измеренное значение сопротивления теплопередаче почти в два раза меньше заявленного в проекте. Причина заключается в методике проектирования, не учитывающей в полной мере влияния теплотехнических неоднородностей совмещенного покрытия.

3. Еще более проблемной с позиций соблюдения норм является зона полов и стен техподполья. Требуется принципиальное изменение конструктивных решений подземной части для повышения ее теплозащитных качеств.

4. Фактическое сопротивление оконного блока соответствует требованиям нормативной и проектной документации. Однако сопротивление теплопередаче стеклопакета почти в два раза ниже среднего значения по данным испытаний более 200 оконных блоков, проведенных ГБУ «ЦЭИИС» за последние четыре года в Москве (0,7 м²·°С/Вт).

5. Теплотехнические показатели стен обследованного здания в сравнении со статистикой подобных испытаний, выполненных ГБУ «ЦЭИИС», свидетельствуют о том, что в сравнении со средними значениями для панельных стен (1,7–1,8 м²·°С/Вт) и стен с вентфасадами (2,2–2,4 м²·°С/Вт) наблюдаются существенно лучшие результаты (среднее 2,76 м²·°С/Вт). Для покрытия и подвальной части здания ситуация является типичной для большинства обследованных зданий.

Таким образом, выполненное обследование задает направления совершенствования теплозащитных качеств наружных ограждений подобных зданий для последующего применения в массовом строительстве.

С.И. Крышов,
начальник отдела экспертиз зданий и сооружений на соответствие теплотехническим и акустическим требованиям ГБУ «ЦЭИИС»