

Получена: 22.12.2017 г.

Приета: 28.05.2018 г.

КОНСТРУКТИВНО И ТОПЛОТЕХНИЧЕСКО ОБСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕМЕНТИ НА ЕДРОПАНЕЛНА ЖИЛИЩНА СГРАДА

Л. Хрисчев¹, Б. Петров², Р. Орлинов³, К. Спасов⁴

Ключови думи: обследване, едропанелна жилищна сграда, панели, дюбелни съединения

РЕЗЮМЕ

В статията са представени резултатите от извършено частично конструктивно и топлотехническо обследване на едропанелна жилищна сграда. Разглежданата сграда е студентско общежитие, намираща се в гр. София, Район „Студентски“, построена през 1977 г. На базата на визуално и инструментално изследване са констатирани някои характерни дефекти, свързани с експлоатацията на сградата, определена е вероятната якост на натиск на бетона, диаметъра и бетонното покритие на армировъчни пръти на част от панелите на сградата. След проучване и анализ на архивна документация и на базата на резултатите от обследването са изготвени (възстановени) кофражни и армировъчни планове на някои от панелите на сградата. С използването на термовизионен метод са определени зони от фасадните панели с ясно изразени температурни мостове, като са извършени и съответни изчисления за оразмеряване на топлоизолационния слой, който следва да се положи по фасадата на сградата. На базата на извършените изследвания са формулирани изводи за състоянието на обследваните елементи.

¹ Лъчезар Хрисчев, доц. д-р инж., кат. „Технология и механизация на строителството“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: l.hrishev@abv.bg

² Богомил Петров, проф. д-р инж., кат. „Строителни материали и изолации“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: bwp_fce@uacg.bg

³ Радослав Орлинов, гл. ас. д-р инж., кат. „Масивни конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: dti@mail.bg

⁴ Кристиян Спасов, инж., УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: kristiyan.spasov93@gmail.com

1. Въведение

Едропанелното строителство в България има над 60 години живот. След експерименталния етап в началото на 60-те, в периода 1965 – 1975 г. започва масова индустриализация на строителния отрасъл. В резултат от провежданата политика и производството на домостроителните комбинати, до момента в страната са изградени 860 000 панелни жилища в 18 900 едропанелни жилищни сгради (ЕПЖС), като в градовете – областни центрове е разположен 82,3% от общия панелен фонд [1]. Някои от най-разпространените системи, използвани при този тип сгради, са Бс-V Бс-2-63 (обединена), Бс-VIII-Сф, Бс-2-64, БС V-VII-1-68-ПД, Бс-VIII-Сф, Бс-69-Сф, Бс-69-Сф-Уд и др., като за територията на гр. София например, най-голям е процентът на сградите, изпълнени по системите Бс-69-Сф, Бс-69-Сф-Уд (около 71% от всички ЕПЖС) [2]. За задоволяване на нуждите от студентски и работнически общежития в КИПП „Главпроект“ е проектирана система ОС-Гл-68. За основа на системата се използват панелите от системите за безскелетно-панелните жилищни сгради, при оси в план 3,60 и 5,10 m, и етажна височина 2,80 m, като са проектирани основно общежития от четири до осем етажа [3].

Съгласно изискванията на Наредба № 5 за техническите паспорти на строежите [4], в срок до 2022 г. е необходимо за всички съществуващи строежи да се съставят технически паспорти. Техническият паспорт се съставя на базата на техническо обследване, което следва да включва: съставяне на информационна база данни за нормативните (проектните) стойности на техническите характеристики на обследвания строеж; установяване на действителните технически характеристики на строежа; анализ на действителните технически характеристики на строежа; разработване на мерки; обследване за енергийна ефективност и съставяне на доклад за резултатите от обследването. Видно е, че съществен и важен етап от паспортизацията представлява конструктивното обследване и обследването за енергийна ефективност.

В настоящата статия са представени резултатите от проведено обследване на отделни елементи на конкретна сграда, изпълнена по система ОС-Гл-68, които също така биха могли да послужат като основа за едно по-задълбочено обследване и на по-късен етап да бъдат допълнени и доразвити.

2. Обща характеристика на обследваната сграда

Разглеждана сграда е студентско общежитие, намираща се в гр. София, Район „Студентски“. Построена е през 1977 г. Сградата е изпълнена по безскелетна-панелна конструктивна система. Изградена е по номенклатура ОС-68-Гл с междуосови разстояния 3,60 m и 5,10 m от елементи за едропанелни общежития, детски градини и жилищни сгради за новобрачни семейства, разработена от „Главпроект“ през 1968 г. и произвеждана в Домостроителен комбинат (ДК) № 1 в гр. София.

Състои се от три корпуса с различна етажност – съответно шест, седем и осем етажни с частично вкопан сутерен. Фасадните стени са изпълнени от трислойни стоманобетонни панели с пълнеж от експандиран полистирен. Подпрозоречният стоманобетонен панел е изпълнен от плътен стоманобетон. Сградата е с плоско фундиране, като основите са монолитно изпълнени ивични фундаменти върху подложен бетон. Стените на сутерена са монолитни стоманобетонни с отвори. Покривите и на трите корпуса се състоят от стоманобетонни панели с въздушна междина между тях от 80 cm. Разгънатата застроена площ на сградата е 7 923 m², а площта на сутерена е 1 113 m².

3. Конструктивно обследване на елементи на едропанелната сграда

3.1. Визуална инспекция – технически огледи на място

Техническите огледи се извършват пряко визуално, с осигуряване на необходимия достъп до конструктивните елементи със съответните стационарни и/или подвижни средства. Те включват изясняване на вида и особеностите на конструктивната схема и строителната система, геометрични заснемания на елементи на конструкцията, заснемане и документирание на налични повреди и дефекти, установяване на евентуални слягания на терена или обратните насипи и др. [6].

За конкретната едропанелна сграда е обърнато внимание на налични повреди и дефекти по елементите на конструкцията – стенни панели, подови панели, дюбелни съединения, сутеренни стени. При огледа са установени отваряне на пукнатини в някои от вертикалните съединения между панелите (фиг. 1). В отделни зони е констатирано наличието на следи от течове (фиг. 2), като в тези зони се наблюдават значителни обрушвания и калциеви извличания на бетона, корозия и разкриване на армировката на панелите (фиг. 3). На места е констатирано недостатъчно бетоново покритие, както и напукване на бетона по направление на армировката (фиг. 4). Разкритите хоризонтални дюбелни съединения са в добро състояние и са добре изпълнени по отношение на запълване на тялото на съединението с бетон (фиг. 5). Сутеренните стени са добре изпълнени, гладки. Не е констатирано наличието на пукнатини, както и индикации за слягания на земната основа. В сутерена се наблюдават следи от течове от мокрите помещения на първия етаж, но не и от такива, идващи отвън.



Фиг. 1. Пукнатини по контура на вертикално дюбелно съединение



Фиг. 2. Следи от течове от мокрите помещения



Фиг. 3. Следи от течове, корозия и разкриване на армировката



Фиг. 4. Отделяне на бетона по направление на армировката

На база проведеното обследване и констатираните дефекти, може да се посочат и вероятните причини за достигането на състоянието на конструкцията в момента. Вероятна причина за дефектите, подобни на тези, представени на фиг. 2 и фиг. 3, са течове от мокрите помещения в сградата, породени от не добре изпълнена хидроизолация на помещенията или липса на такава. Потенциална причина биха могли да бъдат също и течове от покрива, водоснабдителна и канализационна система, както и не добра поддръжка на сградата. По отношение на недостатъчното бетонно покритие при част от панелите може да се заключи, че най-вероятно се дължи на технологични пропуски при производството на елементите.

3.2. Определяне на вероятната якост на натиск

За определяне на вероятната якост на натиск е използван уред (склерометър на Шмидт), работещ по метода на еластичния отскок. Със склерометъра твърдостта на бетона, а чрез нея и якостта му, се определят косвено чрез измерване на големината на отскока на стоманено тяло, което нанася удар върху стеблото със заоблен долен край вследствие опънното действие на работна пружина, когато уредът се притиска към изпитваната бетонна повърхност [6]. Под внимание трябва да се вземат възрастта на бетона, условията на неговото втвърдяване, направлението на „прострелване“ (хоризонтално, под 45°, вертикално надолу и нагоре), като тези фактори се отчитат като резултатите се коригират със съответните коефициенти.

Настоящото обследване е извършено с използването на склерометър на Шмидт, производство на швейцарската фирма *Proceq* (фиг. 5 и фиг. 6).



Фиг. 5. Общ вид на разкрито дюбелно съединение



Фиг. 6. Определяне на вероятната якост на натиск

В рамките на обследването са изследвани и е определена вероятната якост на натиск на бетона в следните елементи: дюбелно съединение на фасаден калканен панел – 2 бр.; фасаден калканен панел – 2 бр.; дюбелно съединение на вътрешен носещ панел – 4 бр.; вътрешен носещ панел – 4 бр.; подов панел; сутеренна стена.

Резултатите от проведеното обследване са представени в табл. 1.

Таблица 1. Резултати от извършеното обследване за определяне на вероятната якост на натиск

№	Вид на елемента	Средна вероятна якост, МПа
1	Дюбелно съединение на фасаден калканен панел	26,0
2	Фасаден калканен панел	36,3
3	Дюбелно съединение на фасаден калканен панел	27,5
4	Фасаден калканен панел	33,6
5	Дюбелно съединение на напречен носещ панел	30,8
6	Вътрешен напречен носещ панел	32,8
7	Дюбелно съединение на напречен носещ панел	27,7
8	Вътрешен напречен носещ панел	31,7
9	Подов панел	33,1
10	Дюбелно съединение на надлъжен носещ панел	25,9
11	Надлъжен носещ панел	43,2
12	Дюбелно съединение на надлъжен носещ панел	33,5
13	Надлъжен носещ панел	42,2
14	Сутеренна стена	29,0

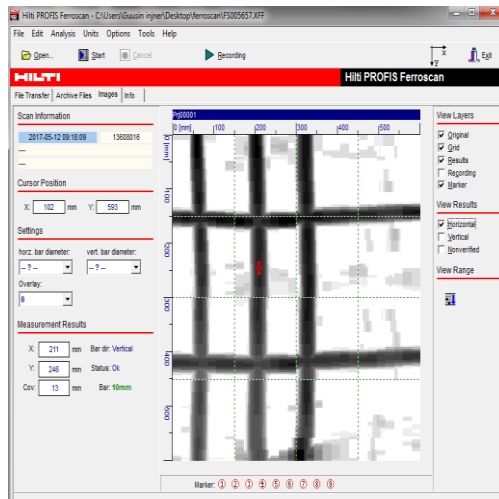
Получените резултати показват, че вероятните якости на натиск в изследваните зони отговарят на изискванията за тази номенклатура. Ясно се вижда разликата в якостите на дюбелните съединения и самите панели. Вероятната якост на натиск на панелите е от порядъка на 31,7 МПа до 43,2 МПа, докато якостта в дюбелните съединения е от 26,0 МПа до 30,8 МПа. По-високите стойности на якостта на панелите се дължат на заводското им производство, подлежащо на строг контрол на качеството. Якостта на натиск на сутеренните стени също удовлетворява изискванията на проекта на конкретната сграда. Следва да се отбележи, че определената вероятна якост на натиск на бетона в дюбелните съединения и в панелите, при други извършвани обследвания, е от същия порядък. Така например, за конкретна сграда, изпълнена по системата Бс-69-Сф, определена та вероятна якост на натиск на бетона в дюбелните съединения е в диапазона от 29,4 МПа до 41,5 МПа [7].

3.3. Определяне на положението и диаметъра на армировката

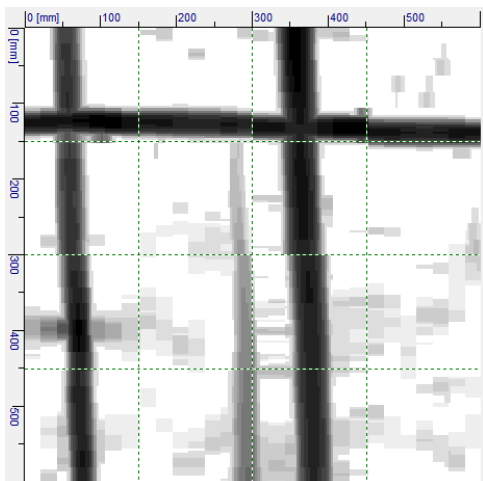
Определянето на положението и диаметъра на армировката е извършено с използването на магнитен метод, чийто принцип на действия се основава на това, че магнитните характеристики на армировката в стоманобетонните конструкции съществено се различават от магнитните характеристики на бетона. Използван е уред *Ferroskan* на фирма *Hilti*, състоящ се от сонда, която се движи по повърхността на елемента, и устройство, на което се пренася информацията от сондата. В рамките на обследването е извършено площно и линейно (т.нар. бързо) сканиране на някои от елементите на сградата – калканен панел, носещ вътрешен панел (фиг. 7), фасаден носещ панел с отвор за прозорец и подов панел. Обследвани са също и надлъжни носещи панели с отвор за врата, намиращи се в коридорите на сградата, както и някои от сутеренните стени на сградата. Резултатите от сканирането са обработени със софтуерен продукт *Hilti PROFIS Ferroskan* (фиг. 8).



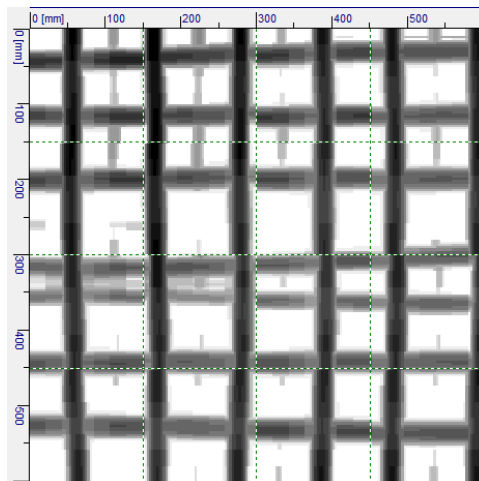
Фиг. 7. Площно сканиране на носещ стенен панел



Фиг. 8. Обработка на резултатите със софтуерен продукт *Hilti PROFIS Ferroskan*

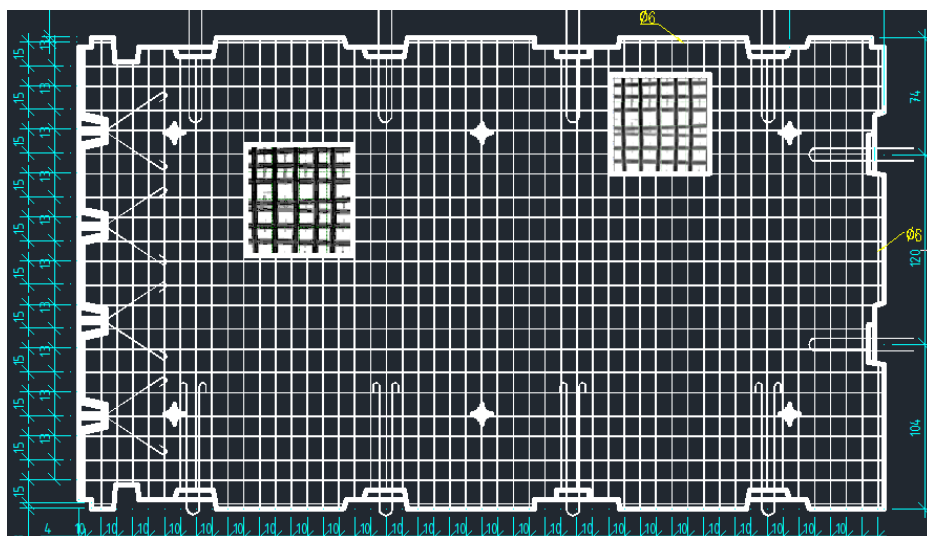


Фиг. 9. Снимка (изображение) от площно сканиране на стенен панел



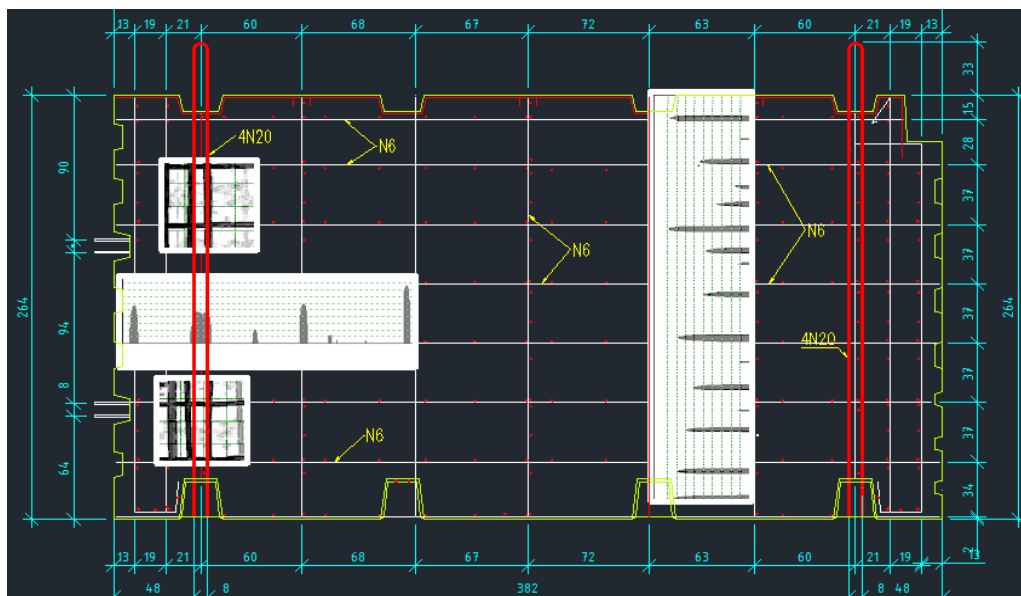
Фиг. 10. Снимка (изображение) от площно сканиране на подов панел

След проведените изследвания на горепосочените места, се установиха местоположението и диаметърът на вложената армировка. Определено е също, че специално за обследваните панели, бетонното покритие е достатъчно. В носещите панели бе установена армировъчна мрежа с диаметър 6 mm, с разстояние между вертикалните пръти 35 cm и 60 cm между хоризонталните пръти. В зоните на дюбелните съединения е констатирано наличието на четири пръта с диаметър 25 mm. Зоната над вратата на надлъжния носещ панел е усилена с диагонално разположена армировка. В подовите панели бе констатирана армировъчна мрежа с диаметър на прътите 5 mm и разстояние между тях от порядъка на 10 – 12 cm. Извършеният анализ и сравняване с архивна проектна документация за базовата номенклатура Бс-69-Сф показва, че не се наблюдават съществени отклонения от проектното местоположение и диаметъра на армировката.



Фиг. 10. Армировъчен план на подов панел

На базата на проведените изследвания, и с използването на посочената по-горе архивна проектна документация е направен опит за възстановяване на армировъчни плановете на обследваните елементи, някои от които, с нанесени върху тях резултати от сканирането, са представени на фиг. 10 и фиг. 11.



Фиг. 11. Армировъчен план на стенов панел

4. Топлотехническо обследване и оразмеряване на топлоизолационен слой

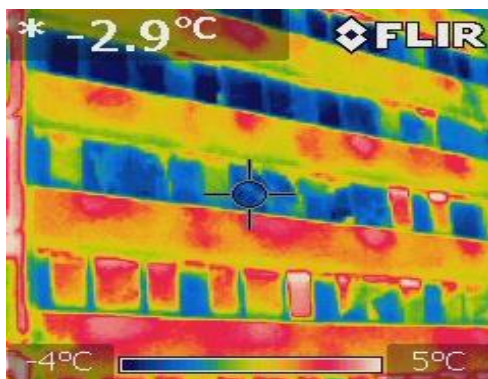
4.1. Обследване на елементи на сградата с инфрачервена термография

Термодефектоскопията се основава на използването на топлината, преминаваща през елемента, като носител на информация за неговата плътност и наличие на дефекти. Наличието на нееднородни по топлофизически характеристики включвания предизвиква смущения на топлинния поток, който създава смущения на топлинните полета на повърхността на елемента. Инфрачервените системи се прилагат предимно за измерване на температурни полета на повърхността на изделията и елементите, като една от най-перспективните области на приложение е обследването на сгради, с цел откриване на дефекти в топлоизолацията на фасадните елементи, качеството и състоянието на различни облицовки и изолации.

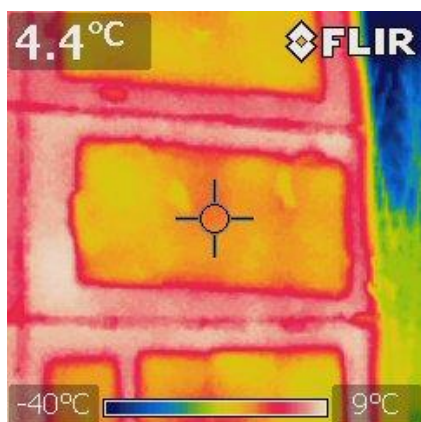
За конкретното обследване е извършен визуален оглед на сградата и направа на снимки с цифров фотоапарат (фиг. 12), направа на обща термографска снимка с инфрачервена камера *FLIR i7*, определяне на зоните с различна повърхностна температура (фиг. 13) и последващо детайлно заснемане и обследване на зоните, при които е установено наличие на съществена разлика в повърхностната температура, и където се предполага наличието на топлинни мостове (фиг. 14 – фиг. 16).



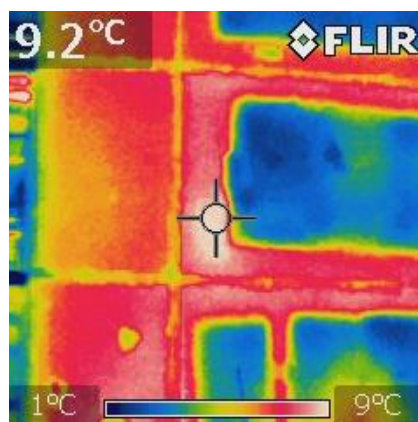
Фиг. 12. Снимка на обследваната сграда



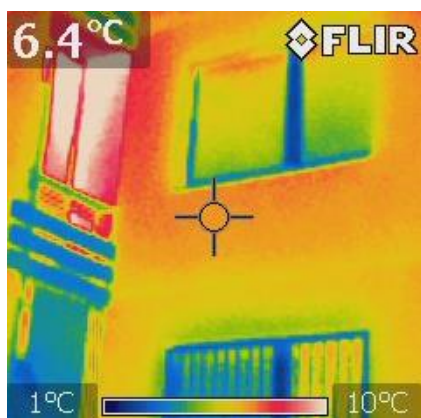
Фиг. 13. Обща термографска снимка на сградата



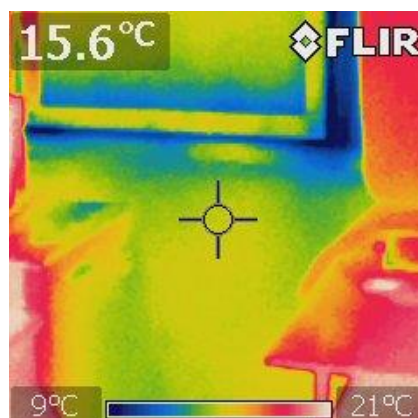
Фиг. 14. Термографска снимка на фасаден калканен панел



Фиг. 15. Термографска снимка на фасаден калканен панел



Фиг. 16. Термографска снимка на стенов панел (отвън)



Фиг. 17. Термографска снимка на стенов панел (вътре в сградата)

Резултатите от проведеното обследване са представени в табл. 2.

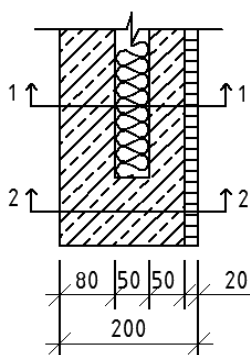
Таблица 2. Резултати от извършеното обследване за определяне на повърхностната температура на стенни панели

Вид елемент	Точка на изследване	Температура на външната повърхност (°C)	Температура на вътрешната повърхност (°C)
Фасаден панел без прозорец	В средата (в зоната на ТИ слой)	4,4	15,7
	В края (извън зоната на ТИ слой)	9,2	13,3
Фасаден панел с прозорец	В зоната под прозореца	6,4	15,1
	В дървената дограма	2,4	9,2
	В остъклената част на прозореца	5,5	14,9

Въпреки че не са обследвани всички фасадни елементи на сградата, получените резултати и техният анализ показват, че се констатира зони със значително топлопреминаване. Характерен топлинен мост се наблюдава в зоните по контура на фасадните калканни панели, където те се състоят само от слой стоманобетон (фиг. 15). Сравнително малки разлики на температурата, по външните и вътрешните повърхности се наблюдават и по фасадните панели, които са с отвори за прозорци. Също така дограмата на сградата е в незадоволително състояние, поради което големи загуби на топлина се реализират именно през нея.

4.2. Проектиране на топлоизолацията на елементи на сградата

Детайлни изчисления са извършени за фасаден калканен панел, състоящ се от три слоя – стоманобетон, топлоизолация, стоманобетон и мазилка (фиг. 18).



Фиг. 18. Структура и характерни сечения на фасаден калканен панел

Извършените изчисления за определяне на коефициента на топлопреминаване показват, че и за двете сечения („1-1“ и „2-2“ на фиг. 18), коефициентът на топлопреминаване е по-висок от максимално допустимия и е както следва:

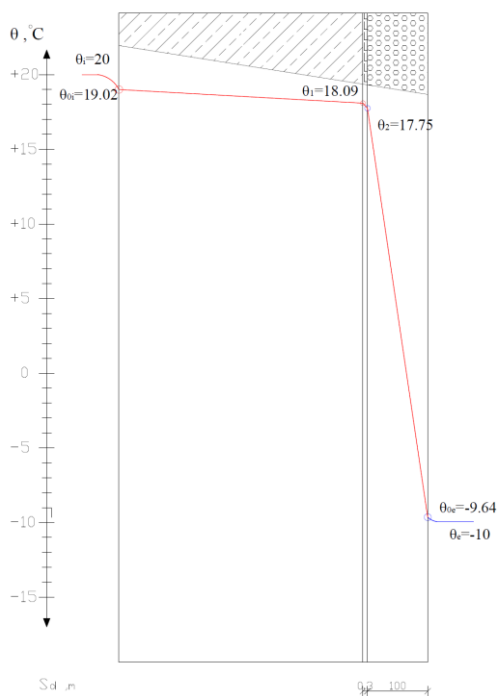
– за сечение 1-1 $U_1 = 0,53 > U_{\max} = 0,28 \text{ W/m}^2\text{°C}$;

– за сечение 2-2 $U_1 = 3,23 > U_{\max} = 0,28 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

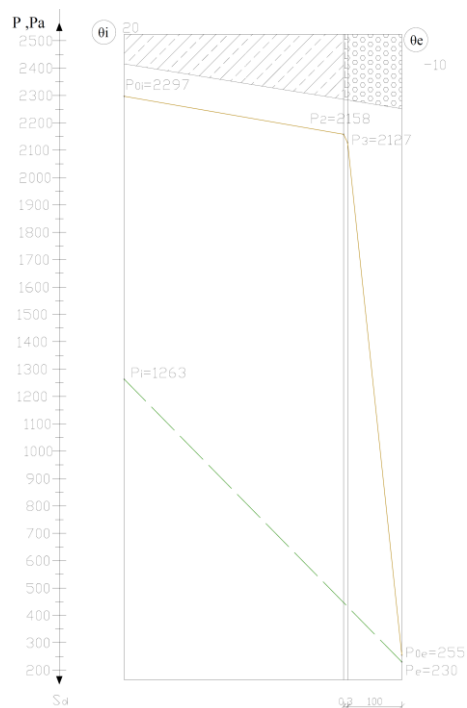
От извършените изчисления за определяне на влажностния режим, след изчертаването на линията на температурата и парциалното налягане и определената температура на оросяване $\theta_s = 10,9 \text{ °C}$ е установено, че има условия за образуване на конденз както в сечение „1-1“ между слоеве 2 и 3 (между топлоизолационния слой и външния стоманобетонен слой на стенния панел), така и по вътрешната повърхност на ограждащата конструкция при сечение „2-2“ (стоманобетонен стенов панел), като е необходимо проектиране на допълнителен топлоизолационен слой.

Прието е топлоизолацията на фасадите на сградата да се реализира с използването на топлоизолационен слой от експандиран полистирен с $\lambda = 0,031 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Оразмеряването е извършено за сечение „2-2“, като е определена необходимата дебелина на топлоизолационния слой 10 cm. При така определената дебелина, изчисленията по отношение на температурно-влажностния режим показват, че коефициента на топлопреминаване в сечение „1-1“ е със стойност $U_1 = 0,2 < U_{\max} = 0,28 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Също така, след построяване на линиите парциалното налягане е установено, че няма условия за образуване на конденз (фиг. 20).

Може да се заключи, че специално при фасадни панели за ЕПЖС, със сходни на разглежданите в настоящата статия характеристики, топлоизолационен слой с дебелина 10 cm и с коефициент на топлопроводност $\lambda = 0,031 \text{ W/m}^2\text{°C}$ е достатъчен за осигуряване на необходимия температурно-влажностен режим.



Фиг. 19. Температурна линия за периода на кондензация за сечение „2-2“ с допълнителен ТИ слой



Фиг. 20. „P“ и „P_{max}“ линия за сечение „2-2“ (за периода на кондензация) с допълнителен ТИ слой

4.3. Специфични детайли за изпълнение на изолационните работи

Ефективното реализиране на обновяването на съществуващите сгради и в частност на ЕПЖС може да се извърши само с прилагането на конкретни технически решения и детайли, произлизащи от спецификата на всяка една сграда. Примерни решения за изпълнението на детайли за изолиране на междуетажна плоча, намираща се над неотапливаем етаж, цокъл на сградите, преход на топлоизолацията от цокъла към стените по фасадите, разположени под терена, оформяне на топлоизолация около прозорци и врати, допълнително армиране около отвори по фасадата, дюбелиране, за ремонт на плоски покриви и други са представени в Ръководство за енергийно ефективно обновяване на ограждащите конструкции на сгради [8].

За конкретната сграда, обект на настоящата статия, е задължително изпълнението на хидроизолацията на санитарните възли и баните, с цел недопускане на течове, които биха компрометирали конструкцията и връзките между отделните панели.

По отношение на топлоизолацията и топлоизолационната система, освен детайлите, дадени в посоченото по-горе ръководство, следва да се обърне съществено внимание на изпълнението на бордовете и на връзката между хидроизолацията и топлоизолацията при връзката стенен панел-покривен панел (предвид това, че трите корпуса на сградата са с различна етажност – шест, седем и осем етажни). Примерни решения за изпълнение на връзката стенен панел-покривен панел е представен на фиг. 21.



Фиг. 21. Примерен детайл за изпълнение на връзката стенен панел-покривен панел

5. Изводи и заключения

От извършеното обследване на конструкцията на едропанелната жилищна сграда могат да се направят следните основни изводи:

- не са налице признаци, които да индикират за слягания на земната основа;
- разкритите хоризонтални дюбелни съединения са в добро състояние и са добре изпълнени по отношение на запълване на тялото на съединението с бетон;

- в отделни зони (основно около санитарните възли) е констатирано наличието на следи от течове, като в тези зони се наблюдават обрушвания и калциеви извличания на бетона, корозия и разкриване на армировката на панелите;
- якостта на натиск на бетона в панелите, дюбелните съединения и сутеренните стени отговаря на изискванията на проекта и на номенклатурата като цяло;
- не са констатирани съществени отклонения от проектното местоположение и диаметъра на армировката.

От извършеното обследване на елементи на сградата с инфрачервена термография и последвалото топлотехническо оразмеряване на топлоизолацията на сградата могат да се направят следните изводи:

- налице са зони със значително топлопреминаване, като характерен топлинен мост се наблюдава по контура на фасадните калканни панели;
- фасадните панели с отвори за прозорци, както и дограмата на сградата, също не отговарят на изискванията за топлотехническа ефективност;
- възможно решение за осигуряване на топлоизолацията на фасадните стени е полагането на топлоизолационен слой с дебелина 10 cm и с коефициент на топлопроводност $\lambda = 0,031 \text{ W/m}^2\text{°C}$, както и изпълнението на конкретно разработени специфични детайли.

Може да се заключи, че за привеждане както на конкретната сграда, така и на други ЕПЖС, към съвременните изисквания, е необходимо предприемането на действия в две основни направления – осигуряване на конструкцията на сградата и постигане на нужното ниво на енергийна ефективност. С цел осигуряване на дълготрайността и експлоатационната годност на конструкцията е необходимо извършването на допълнително конструктивно обследване, в това число и чрез механично разкриване на характерни дюбелни съединения, както и прилагане на конкретни технически и технологични решения за възстановяване на компрометираните конструктивни елементи. Необходимо е също допълнително задълбочено енергийно обследване на сградата и нейните оградящи елементи, и прилагането на конкретни мерки за осигуряване на енергийната ѝ ефективност.

ЛИТЕРАТУРА

1. Национална програма за обновяване на жилищни сгради, 2005.
2. НИСИ. Специализирано проучване за състоянието на жилищните сгради, построени по ЕПЖС и тяхното разположение в жк на гр. София, НИСИ, София, 1998.
3. *Митев, И.* Безскелетно-панелни сгради. Техника, София, 1985.
4. Наредба № 5 от 28.12.2006 г. за техническите паспорти на строежите.
5. *Димов, Д.* Безразрушителни изпитвания на строителни конструкции. Дайрект Сървисиз, София, 2011.

6. Димов, Д. Обследване и изпитване на строителните конструкции. ИК DL&M, София, 2016.

7. Хрисчев, Л., В. Славчев, М. Генчев. Обследване на дюбелни съединения на едропанелна жилищна сграда чрез методи за безразрушителен и разрушаващ контрол. Сборник с доклади на XVII Международна научна конференция ВСУ'2017.

8. БАИС. Ръководство за енергийно ефективно обновяване на ограждащите конструкции на сгради. София, 2016.

INVESTIGATION OF STRUCTURAL ELEMENTS OF LARGE PANEL BUILDING

L. Hrishev¹, B. Petrov², R. Orlinov³, K. Spasov⁴

Keywords: investigation, large panel building, panels, dowel connections

ABSTRACT

The article presents the results of construction and thermal engineering survey of a large panel building. The building is a student hostel, located in Sofia, built in 1977. On the basis of visual and instrumental investigation, some defects related to the exploitation of the building are identified, the strength of the concrete, the diameter and the concrete cover of reinforcing bars of some of the panels are determined. After analysis of archival documentation and on the basis of the results of the investigation, formwork and reinforcement plans of some of the building panels are prepared. Using the infrared thermography, areas of façade panels with clearly defined temperature bridges are defined. Calculations for design the thermal insulation layer to be laid on the façade of the building are made. On the basis of the investigations, conclusions about the condition of the building elements are made.

¹ Lachezar Hrishev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Construction Technology and Mechanisation", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, email: l.hrishev@abv.bg

² Bogomil Petrov, Prof. Dr. Eng., Dept. "Building Materials and Insulations", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: bwp_fce@uacg.bg

³ Radoslav Orlinov, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. "Reinforced Concrete Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: dti@mail.bg

⁴ Kristiyan Spasov, Eng., UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: kristiyan.spasov93@gmail.com