ПОДАТЛИВОСТЬ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

АВETИСЯН Л.А., ГОМЫРИНА Д.О.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

Аннотация. В статье проанализирован характер распределения температур в помещении от локальных источников пожара на примере комнаты в крупнопанельном здании. С использованием программы Fire Dynamics Simulator (FDS) построены изоповерхности температур, что позволило проследить движение нагретого воздуха в объеме помещения. Рассмотрено влияние высоких температур на податливость связей в вертикальных стыках панелей с учетом неравномерного распределения температуры.

Выявлено, что высокотемпературные воздействия до 980°C в рассматриваемом промежутке времени 120 мин. приводят к увеличению податливости стыковых соединений на (82-84) %. Полученные результаты позволяют оценить степень влияния пониженных прочностных характеристик бетона на податливость дискретных связей.

Ключевые слова: высокотемпературные воздействия, податливость, стыковые соединения, крупнопанельные здания.

FLEXURABILITY OF CONNECTION NODES UNDER HIGH TEMPERATURE ACTIONS

AVETISYAN L.A., GOMYRINA D.O.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Abstract. On the example of the room in the large-pane building the nature of distribution of temperatures indoors from local sources of the fire is analyzed. With the Fire Dynamics Simulator (FDS) program are constructed isosurfaces of temperatures that allowed tracking the movement of heated air indoors. It is considered the influence of high temperatures on pliability of connection in vertical joints of external panels taking into account uneven distribution of temperature on is considered.

It was revealed that the high-temperature effect up to 980°C in the considered period of time 120 minutes leads to an increase in the pliability of the butt connectors by (82-84) %. The received results allow estimating extent of influence of the lowered strength characteristics of concrete, in a consequence of high-temperature influence, on pliability of discrete communications.

Keywords: high-temperature influences, pliability, abutting joint, large-panel buildings.

Введение

Крупнопанельное домостроение – одно из важнейших направлений строительной отрасли. Наиболее активно развитие технологии возведения панельных сооружений происходило после Великой Отечественной войны. Но начиная с 90-х годов наблюдается продолжительный спад интереса к крупнопанельному домостроению с минимумом в 2015-2016 гг. В итоге среди всех новостроек Москвы только 25% приходится на панельные здания. Однако, развитие новых технологий, методик расчета и повышение рыночного спроса привели к новому этапу крупнопанельного домостроения. Уже в 2017 г процент панельных домов среди новостроек г. Москвы поднялся до 35 %. Дополнительным фактором повышения интереса к

технологии крупнопанельного домостроения послужило решение правительства, принятое в 2018 г: «увеличить объем строительства и ввода в эксплуатацию жилой недвижимости до 120 млн. квадратов ежегодно».

Параллельно с ростом объема строительства увеличивается количество чрезвычайных ситуаций техногенного характера в зданиях и сооружениях. Обеспечение безопасности людей, находящихся в зданиях и сооружениях является главной задачей, стоящей перед проектировщиками. Для повышения уровня безопасности крупнопанельных зданий необходимо на стадии проектирования учесть все факторы, которые могут возникнуть в зданиях и сооружениях в стадии эксплуатации. Одной из важнейших задач при возведении панельных зданий является обеспечение достаточной несущей способности стыковых соединений.

Чрезвычайные ситуации техногенного характера, наиболее часто встречающиеся в многоэтажных зданиях - пожар. При пожаре, влияние высоких температур на несущие конструкции здания меняют прочностные и деформативные характеристики материалов конструкций [1-3]. Наиболее опасно это воздействие проявляется в соединении вертикальных и горизонтальных конструкций крупнопанельного здания. Необходимо понимать, как будет работать соединение при высокотемпературном воздействии.

Расчет податливости дискретных связей с учетом полученных результатов и использование их значений при построении расчетной схемы здания позволит повысить безопасность крупнопанельных зданий в условиях пожара.

Рисунок 1 – Виды связей: а) дискретные, б) непрерывные

Рисунок 2 – Узел соединения панелей, Серия 97

Соединение конструкций может быть представлено двумя видами связей [4,5]: дискретные (с применением стальных закладных деталей) и непрерывные (растворные швы) (см. рис. 1).

Для оценки работы связи в составе расчетной схемы здания важным параметром является её податливость.

Существующие методы расчета податливости [6-9] не учитывают воздействие высоких температур. Однако, проведенные экспериментальные и теоретические исследования [10-13] показывают, что температурное воздействие снижает прочностные и деформативные характеристики строительных материалов. Поэтому разработка методики расчета податливости с учетом особенностей высокотемпературного воздействия является актуальной на сегодняшний день задачей.

Необходимо учитывать, что в зависимости от размера помещения, наличия проемов и расположения источников горения характер распределения температуры будет разный. По этой причине важно оценить влияние неравномерного распределения температуры на коэффициент податливости связей, расположенных в разных углах конструкции, и проанализировать его значение.

В данной статье оценка влияния высокотемпературного воздействия на податливость проводится для дискретных связей, соединяющих панели жилого здания.

В качестве жилого здания принимаем крупнопанельный дом, выполненный по Серии 97, класс ответственности – КС-2, предел огнестойкости несущих конструкций R120.

Несущий слой панели выполнен из тяжелого бетона на силикатном заполнителе ($\rho = 2020 \text{ кг/м}^3$, $c = 0,84 \text{ кДж/кг}\cdot\text{С}^\circ$, $\lambda = 0,6 \text{ Вт/м}\cdot\text{С}^\circ$), петлевые выпуски из стали А240, $\varnothing 8 \text{ мм}$ расположены на расстоянии 30 мм от внутренней поверхности панели (см. рис. 2).

Методы исследования

Для оценки характера распределения температур в помещении используем ПК PyroSim – интерфейс для программы Fire Dynamics Simulator (FDS, сертификат соответствия № 0896588).

FDS разработана Национальным институтом стандартов и технологий США (National Institute of Standards and Technology – NIST), создание PyroSim поддержано Национальным научным фондом грантами DMI-0232401 и DMI-0349759.

Программа реализует полевую (дифференциальную) модель пожара, что позволяет получить реальное распределение температур в любой точке помещения в задаваемом промежутке времени [14-16].

За основу модели пожара принимаем комнату размерами 3.0м х 6.0м (см. рис. 3).

Рисунок 3 – Развертка комнаты реалистичное представление

Расположенная в помещении мебель и бытовая техника являются очагами возгорания. Они моделируются поверхностями горения с характеристиками, принимаемыми из встроенной в программу библиотеки реакций и поверхностей горения, для здания I-II степени огнестойкости (пожарная нагрузка $HRR = 200 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2}$, скорость распространения $v = 0,0108 \text{ м/с}$) (см. рисунок 4).

Рисунок 4 – Модель комнаты в PyroSim

Полученный характер распределения температур в пространстве помещения можно наблюдать на полученных изоповерхностях (см. рис. 5-6)

Рисунок 5 – Изоповерхности температуры после 20 секунд пожара

Рисунок 6 – Изоповерхности температуры после 30 минут пожара

Измерение температуры в точках расположения дискретных связей осуществляется с помощью датчиков (Left 1-3, Right 1-3) для твердого тела (см. рис. 7).

Рисунок 7 – Схема расположения датчиков

Они позволяют отслеживать температуру в любой точке сечения с течением времени (см. табл. 1), (см. рис. 8).

Таблица 1 – Температура на внутренней поверхности панели с шагом отслеживания 30 мин.

Название датчика	Время, мин					
	0	30	60	90	120	150
Right 1	20	943	956	962	966	969
Right 2	20	947	959	965	969	972
Right 3	20	957	969	974	977	980
Left 1	20	935	947	953	957	960
Left 2	20	939	951	957	961	964
Left 3	20	956	968	973	977	980

Рисунок 8 – График зависимости температур от времени на поверхности стены

В FDS реализовано решение одномерного численного уравнения теплопроводности для твердой поверхности, что позволяет определить температуру в сечении на определенном расстоянии от обогреваемой поверхности. Рассмотрим полученные значения температуры, в точке расположения петлевых выпусков, с течением времени (см. табл. 2), (см. рис. 9).

Таблица 2 – Температура с шагом отслеживания 30 мин на расстоянии 30 мм от внутренней поверхности стены.

1	Время, мин					
	2	3	4	5	6	7
Название датчика	0	30	60	90	120	150
Right 1, 30 мм	20	465	605	677	726	763
Right 2, 30 мм	20	467	607	680	729	766
Right 3, 30 мм	20	472	614	687	737	775
Left 1, 30 мм	20	461	600	672	720	756
Left 2, 30 мм	20	463	603	674	723	759
Left 3, 30 мм	20	472	613	687	736	775

Рисунок 9– График зависимости температур от времени на расстоянии 30мм от внутренней поверхности стены.

Согласно СП 335.1325800.2017 коэффициент податливости при растяжении определяется по формуле:

$$\lambda_f = \frac{2 \cdot a_{crc}}{\sigma_s} \quad (1)$$

где a_{crc} – ширина раскрытия трещин, нормальных к арматурной связи;

σ_s – растягивающее напряжение в связи.

$$\sigma_s = \frac{N_s}{A_s} \quad (2)$$

Снижение прочностных характеристик бетона при воздействии высоких температур приводит к уменьшению сцепления дискретных связей с бетоном. Соответственно усилие, которое они могут воспринять, будет ниже чем у связей, работающих в нормальных условиях.

Расчет усилия, воспринимаемого анкеруемым стержнем, производится в соответствии с действующим СТО 36554501-006-2006 для растянутой арматуры диаметром меньше 32 мм по формуле:

$$N_s = \frac{\eta_1 \cdot R_{bmt} \cdot u_s \cdot l_s}{\alpha} \quad (3)$$

где η_1 - коэффициент, учитывающий влияние вида поверхности арматуры;

R_{bmt} - нормативное сопротивление бетона осевому растяжению с учетом температурного воздействия;

u_s - периметр поперечного сечения анкеруемого стержня;

l_s - расстояние от конца анкеруемого стержня до рассматриваемого сечения;

α - коэффициент, учитывающий влияние напряженного состояния бетона и арматуры и конструктивного решения элемента в зоне анкеровки на длину анкеровки.

$$R_{bmt} = R_{bt} \cdot \gamma_{bt}, \quad (4)$$

где R_{bt} - нормативное сопротивление бетона осевому растяжению;

γ_{bt} - коэффициент условий работы на растяжение.

Подставив формулы (2-4) в (1) получим зависимость коэффициента податливости от температуры:

$$\lambda_f = \frac{2 \cdot a_{cre} \cdot A_s \cdot \alpha}{\eta_1 \cdot R_{bt} \cdot \gamma_{bt} \cdot u_s \cdot l_s}. \quad (5)$$

Результаты исследования и их анализ

Если проанализировать формулу (5), то видно, что учет температурного воздействия осуществляется вводом одного дополнительного коэффициента. Поэтому для оценки изменения податливости необходимо рассмотреть изменение коэффициента условий работы для бетона в точках расположения связей с течением времени воздействия пожара (см. табл. 3).

Таблица 3 – Значения коэффициентов условий работы на растяжение

Название датчика	Характеристики	Время, мин					
		0	30	60	90	120	150
1	2	3	4	5	6	7	8
Right 1, 30 мм	Температура С	20	465	605	677	726	763
	γ_{bt}	1	0.817	0.58	0.292	0.174	0.137
Right 2, 30 мм	Температура С	20	467	607	680	729	766
	γ_{bt}	1	0.816	0.572	0.280	0.171	0.134
Right 3, 30 мм	Температура С	20	472	614	687	737	775
	γ_{bt}	1	0.814	0.544	0.252	0.163	0.125
Left 1, 30 мм	Температура С	20	461	600	672	720	756
	γ_{bt}	1	0.819	0.6	0.312	0.18	0.144
Left 2, 30 мм	Температура С	20	463	603	674	723	759
	γ_{bt}	1	0.818	0.588	0.304	0.177	0.141
Left 3, 30 мм	Температура С	20	472	613	687	736	775
	γ_{bt}	1	0.814	0.548	0.252	0.164	0.125

Минимальное значение коэффициента условий 0,125, это означает, что через 2,5 часа после возникновения пожара анкерующий стержень будет воспринимать растягивающие усилия в объеме 12,5% от изначального значения. Соответственно податливость возрастет на 87,5%.

Выводы

1. Высокотемпературное воздействие оказывает существенное влияние на податливость дискретных связей. На примере рассматриваемого дома видно, что, при достижении предела огнестойкости (для несущих конструкций R120), податливость связей увеличится на (82-84) %, что может привести к преждевременному разрушению стыковых соединений.

2. Распределение температуры по горизонтали, в комнате, можно принять равномерным. Исследование модели пожара в помещении, при симметричном расположении проема, показало, что разница между температурой связей расположенных на одном уровне незначительна и составляет для связей, в нижних углах панели – (0,74-0,92) %, на расстоянии 0,75 м от нижних углов – (0,66-0,91) %, в верхних углах панели – (0-0,16) %.

3. Анализ коэффициентов условий работы бетона на растяжение при огневых воздействиях показал, что податливость связи зависит от её расположения по вертикали. Для левой грани разница коэффициентов податливости верхней и нижней связи составляет (2,12-2,45) %, для правой грани – (1,45-1,54) %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аветисян Л.А. Анализ каркасного железобетонного здания, подверженного огневому воздействию // Технология Текстильной промышленности, 2018. № 3. URL: http://ttp.ivgpu.com/?page_id=12648 (дата обращения 27.01.19).
2. Тамразян А.Г., Аветисян Л.А. Экспериментальные исследования внецентренно сжатых железобетонных элементов при кратковременных динамических нагрузках в условиях огневых воздействий // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 4. С. 24-28.
3. Ильин Н.А. Последствия огневого воздействия на железобетонные конструкции. М.: Стройиздат, 1979. 131 с.
4. Vella J.P., Vollum R.L., Jackson A. Investigation of headed bar joints between precast concrete panels // Engineering Structures. 2017. No 138. Pp. 351-366.
5. Митасов В.М., Пантелеев Н. Н., Нарушевич А. Н. Экспериментальные исследования новой конструкции стыка стеновых панелей с перекрытием в крупнопанельных зданиях // Известия вузов. Строительство. 2014. № 12. С. 5-12
6. Чистяков Е.А., Зенин С.А., Шарипов Р.Ш., Кудинов О.В. Учет податливости стыковых соединений дискретного типа в расчетах конструктивных систем крупнопанельных зданий // Academia. Архитектура и строительство. 2017. №2. С 123-127.
7. Рекомендации по проектированию стальных закладных деталей для железобетонных конструкций / НИИЖБ. М.: Стройиздат, 1984. 87 с.
8. Дыховичный Ю.А. Конструирование и расчет жилых и общественных зданий повышенной этажности. М. Стройиздат, 1970. – 248 с.
9. Горачек Е. Прочность и жесткость стыковых соединений панельных конструкций; Под ред. Лишака В. И. М., 1980. 192 с.
10. Bai L., Jiang F., Fan B. Reliability analysis of reinforced concrete columns after high temperature under comprehensive considering failure paths // J Nanosci Nanotechnol. 2018. No 2. Pp. 204.
11. Laber K. B., Dyja H. S., Kawalek A. M., Bogatov A. A., Nukhov D. Influence of the temperature and strain rate on the deformability of low-alloy carbon steel // Steel in Translation. 2016. No 46. Pp. 620-623.
12. Аветисян. Л.А., Парфенов С.Г., Пронин А.А. К учету деформативных свойств бетона при расчете железобетонных конструкций в условиях высоких температур // Строительство и реконструкция. 2015. № 6. С. 21-25.
13. Tamrazyan, A.G., Avetisyan, L.A. Behavior of compressed reinforced concrete columns under thermodynamic influences taking into account increased concrete deformability // XXV Polish – Russian – Slovak Seminar “Theoretical Foundation of Civil Engineering”. 2018. Pp. 721-725.
14. Контарь Н.А., Карькин И.Н. Примеры построения расчетных моделей для решения различных задач пожарной безопасности зданий и сооружений. Екатеринбург, 2016. 220 с.
15. Молчадский И.С. Пожар в помещении. М.: ВНИИПО, 2005. 456 с.
16. Бартелеми Б., Крюппа Ж. Огнестойкость строительных конструкций. М.: Химия, 1985. 216 с.

REFERENCES

1. Avetisyan L.A. Analiz karkasnogo zhelezobetonnoogo zdaniya, podverzhennogo ognevomu vozdeystviyu. [Analysis of a frame reinforced concrete building exposed to fire impact.] *Tekhnologiya Tekstil'noy promyshlennosti*. 2018. No 3. URL: http://ttp.ivgpu.com/?page_id=12648 (Data obrashcheniya 27.01.19). (rus)
2. Tamrazyan, A.G., Avetisyan L.A. Prochnost' i nesushchaya sposobnost' szhatykh zhelezobetonnykh elementov pri dinamicheskom nagruzhении v usloviyakh povyshennoy temperatury. [Durability and bearing capacity of compressed reinforced concrete elements under dynamic loading at elevated temperatures] *Promyshlennno-noye i grahdanskoye stroitel'stvo*. 2014. No 4. Pp. 24-28. (rus)

3. Il'in N.A. Posledstviya ognеvogo vozdeystviya na zhelezobetonnyye konstruksii [Consequences of fire impact on reinforced concrete structures]. Moscow: Stroyizdat, 1979. 131 p. (rus)
4. Vella J.P., Vollum R.L., Jackson, A. Investigation of headed bar joints between precast concrete panels. *Engineering Structures*. 2017. No 138. Pp. 351-366.
5. Mitasov V.M., Panteleyev N.N., Narushevich A.N. Eksperimental'nyye issledovaniya novoy konstruksii styka stenovykh paneley s perekrytiyem v krupnopanel'nykh zdaniyakh [Experimental studies of the new design of the junction of wall panels with overlapping in large-panel buildings]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*, 2014. Vol. 672. No. 12. Pp. 5-12. (rus)
6. Chistyakov Ye.A. Uchet podatlivosti stykovykh soyedineniy diskretnogo tipa v raschetakh konstruktivnykh sistem krupnopanel'nykh zdaniy [Consideration of pliability of butt joints of discrete type in the calculations of constructive systems of large-panel buildings] / Chistyakov Ye.A., Zenin S.A., Sharipov R.SH., Kudinov O.V. // *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*, 2017. – No 2. Pp. – 123-127. (rus)
7. Rekomendatsii po proyektirovaniyu stal'nykh zakladnykh detaley dlya zhelezobetonnykh konstruktсий [Recommendations for the design of steel embedded parts for reinforced concrete structures] / NII ZHB. – M.: Stroyizdat, 1984. – 87 p. (rus)
8. Dykhovichnyy Yu.A. Konstruirovaniye i raschet zhilykh i obshchestvennykh zdaniy povyshennoy etazhnosti [Design and calculation of residential and public buildings of high number of storeys]. Moscow: Stroyizdat, 1970. 248 p. (rus)
9. Gorachek Ye. Prochnost' i zhestkost' styko-vykh soyedineniy panel'nykh konstruktсий [Strength and rigidity of joint joints of panel structures]; Edited by Lishak V. I. Moscow, 1980. 192 p. (rus)
10. Bai L., Jiang F., Fan B. Reliability analysis of reinforced concrete columns after high temperature under comprehensive considering failure paths. *J Nanosci Nanotechnol*. 2018. No 2. Pp. 204.
11. Laber K. B., Dyja H. S., Kawalek A. M., Bogatov A. A., Nukhov D. Influence of the temperature and strain rate on the deformability of low-alloy carbon steel. *Steel in Translation*, 2016. No 46. Pp. 620-623.
12. Avetisyan L.A., Parfenov S.G., Pronin A.A. K uchetu deformatsionnykh svoystv be-tons pri raschete zhelezobetonnykh konstruktсий v usloviyakh vysokikh temperature [To account for the deformative properties of concrete in the calculation of reinforced concrete structures at high temperatures]. *Building and Reconstruction*. 2015. No 6 Pp. 21-25. (rus)
13. Tamrazyan A.G., Avetisyan L.A. Behavior of compressed reinforced concrete columns under thermodynamic influences taking into account increased concrete deformability. XXV Polish – Russian – Slovak Seminar “Theoretical Foundation of Civil Engineering”. 2018. Pp. 721-725.
14. Kontar' N.A., Kar'kin I.N. Primery postroyeniya raschetnykh modeley dlya resheniya razlichnykh zadach pozharnoy bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy [Examples of the construction of design models for solving various problems of fire safety of buildings and structures]. Yekaterinburg, 2016. 220 p. (rus)
15. Molchadskiy I.S. Pozhar v pomeshchenii [Fire in the room]. Moscow: VNIPO, 2005. 456 p. (rus)
16. Bartelemi B., Kryuppa ZH. Ognestoykost' stroitel'nykh konstruktсий [Fire resistance of building structures]. Moscow: Khimiya, 1985. 216 p. (rus)

Информация об авторах:

Аветисян Левон Аветисович

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г.Москва, Россия
канд. техн. наук, доц., кафедры железобетонных и каменных конструкций,
E-mail: avetisyanlevon@inbox.ru

Гомырина Дарья Олеговна

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г.Москва, Россия,
магистр,
E-mail: d.o.gomyrina@mail.ru

Information about authors:

Avetisyan Levon Avetisovich

National research Moscow state university of civil engineering, Moscow, Russia,
candidate in tech. sc., docent, associated prof. of the dep. reinforced concrete and stone structures,
E-mail: avetisyanlevon@inbox.ru

Gomyrina Dar'ya Olegovna

National research Moscow state university of civil engineering, Moscow, Russia,
master,
E-mail: d.o.gomyrina@mail.ru