

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬСТВА  
НА ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ НАДЕЖНОСТЬ ЗДАНИЙ**

УДК 69.059

**Байбурин Альберт Халитович**

*Профессор кафедры «Технология строительного производства»  
ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет», г. Челябинск,  
кандидат технических наук*

При эксплуатации крупнопанельных зданий часто наблюдаются протечки и промерзания стыков наружных стен. По данным [1] этот вид отказов составляет около трети всех эксплуатационных повреждений жилых зданий. Еще треть повреждений составляют трещины в швах, облицовочных слоях и ограждающих конструкциях. В целом, около 70% обследованных крупнопанельных зданий имеют повреждения наружных стен. Протечки через стены происходят в 38% случаев отказов, связанных с увлажнением, в том числе 36% через вертикальные швы, 32% – горизонтальные швы, 25% – угловые соединения. Причем около 50% отказов стыков приходится на верхние этажи, что связано с повышенным давлением ветра.

Причины эксплуатационных отказов разнообразны: неудачные решения некоторых типов стыков, дефекты изготовления, транспортирования и монтажа панелей, нарушение технологии герметизации стыков, низкое качество устройства связей и замоноличивания стыков, различные эксплуатационные воздействия. Как показали исследования [1-3], основной причиной возникновения и раскрытия трещин в стыках крупнопанельных зданий является перераспределение нагрузок между стенами при развитии неодинаковых деформаций ползучести и усадки сопрягаемых стен и их стыковых соединений, а также температурно-влажностные воздействия.

Раскрытие стыков обуславливается высокой податливостью связей петлевого типа, соединяющих панели в горизонтальном направлении. Стена расчленяется на отдельные вертикальные элементы, число которых соответствует количеству вертикальных рядов панелей. Каждый вертикальный ряд панелей деформируется самостоятельно, а трещины в вертикальных швах компенсируют температурные деформации панелей. Причем ширина раскрытия стыка нижних этажей меньше, так как нагрузка и сила трения в горизонтальных швах выше и деформации меньше. Усадочные явления в панелях наружных стен, интенсивно протекающие в первые месяцы после их монтажа, также могут приводить к необратимому раскрытию вертикальных стыков.

Периодические температурные деформации стыков панелей на одну комнату могут достигать 1 мм, панелей на две комнаты – 2 мм. При-

чем частота появления деформаций 0,4-0,6 мм может составлять 200 раз в год, 0,8-1,0 мм – 10 раз в год, главным образом, в зимний период [3]. Таким образом, применяемые герметики должны эффективно работать в условиях изменения размеров стыка на 10-20%. Согласно Правилам и нормам технической эксплуатации жилищного фонда (2003 г.), регламентируемое раскрытие стыков от температурных деформаций принимается равным для горизонтальных стыков – 0,6-0,7 мм, вертикальных – 2-3 мм. При этом допустимая ширина раскрытия трещин ограничивается величиной: в стыках – до 1 мм, в панелях – до 0,3 мм.

Появление силовых трещин в элементах крупнопанельных зданий связано с действием сложных концентраций нагрузок, вызванных неточностями монтажа панелей, а также неравномерностью по толщине растворяемых швов. Для обследованных в г. Челябинске зданий серии 97 и 121 установлено, что типичные трещины возникают в подоконном поясе панелей (рис. 1).

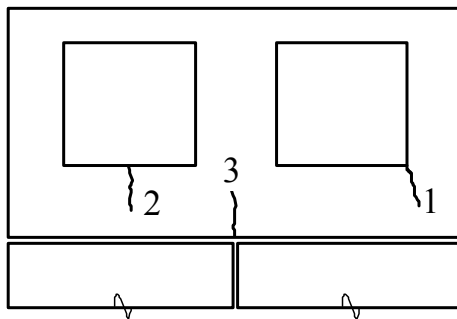


Рис. 1. Виды трещин в панелях

Ширина раскрытия трещин типа 1 и 2 достигает 1,5-2,0 мм. Указанные трещины могут возникать вследствие нагрева внутреннего слоя панелей от радиаторов. В двухмодульных панелях серии 121, установленных на две цокольные панели, часто возникают трещины типа 3. Они являются следствием растягивающих напряжений в средней части панели из-за температурных деформаций цокольных панелей. Подобные трещины были обнаружены и в крупнопанельных зданиях серии 1-464 [1].

Установлено, что в большинстве случаев трещине на внешнем слое панели соответствует трещина на внутреннем слое. При этом доказано существование значительных растягивающих напряжений в подоконном поясе панелей, превосходящих предельные значения при расчетных нагрузках.

В платформенных стыках при плохом качестве растворного шва часто появляются трещины в стеновой панели и концевой части плиты перекрытия. Совместная работа внутренних и наружных стен, препятствующая трещинообразованию, лучше всего обеспечивается при заведении плит перекрытий на наружные стены. При стыках других типов возможны значительные (до 2-3 мм) деформации сдвига в вертикальных стыках с раскрытием трещин до 1,5-2,0 мм [2].

Если взаимосвязь интенсивности отказов стыков и качества их герметизации несомненна и подтверждается опытом эксплуатации, то влияние качества строительно-монтажных работ в целом на повреждаемость крупнопанельных зданий не столь очевидно и нуждается в доказательствах. Логическое обоснование указанного влияния обусловлено следующими экспериментально-теоретическими положениями.

1. Работа здания и напряженно-деформированное состояние его несущих элементов зависит от жесткости конструктивной системы. Кроме характеристик сечений и материалов на жесткость оказывают влияние податливость соединений сборных элементов, швов, стыков и перемычек при растяжении, сжатии, сдвиге, повороте и перекосе.

2. Податливость связей зависит от их вида (петлевые, сварные), характеристик стали, уровня напряжений и качества замоноличивания стыка (ширины раскрытия трещин).

3. Податливость растворных швов при сжатии прямо пропорциональна толщине шва и обратно пропорциональна прочности раствора. При платформенном опирании коэффициент податливости стыка при сжатии определяется податливостью растворных швов, модулем упругости бетона опорной части плиты перекрытия и глубиной опирания плиты.

4. На податливость шпоночных стыков при сдвиге влияет их геометрия, модули упругости материала панели и бетона замоноличивания.

5. Податливость перемычек зависит от характеристик сечения, модуля упругости и модуля сдвига бетона, параметров армирования, а в фазе образования вертикальных трещин – дополнительно от их ширины раскрытия и количества.

Таким образом, наблюдаемые дефекты возведения крупнопанельных зданий [4], а именно: уширенные и неравномерные растворные швы, снижение прочности раствора и бетона в швах и стыках, нарушение геометрии стыков при неточностях монтажа, дефекты устройства связей сборных элементов – приводят к снижению приведенной изгибной жесткости в столбах стен, невыгодному перераспределению усилий, снижению общей жесткости, прочности и устойчивости здания.

На основании изложенного, рассмотрим гипотезу о неблагоприятном влиянии дефектов СМР на интенсивность износа крупнопанельных

## Предотвращение аварий зданий и сооружений

зданий. Для проверки этой гипотезы были обследованы 30 зданий серий 97, 121 и 1.090, причем по девяти из них имелись точные данные о дефектности СМР. При обследовании фиксировались трещины вертикальных швов наружных стен и лестничной клетки, трещины в панелях наружных стен цокольного и 1-го этажей, а также доля выкрошенных и ремонтных швов (табл.1).

Таблица 1

Результаты исследования повреждений  
крупнопанельных зданий

№ здания	Бездефектность $P$	Показатель качества $K_{СМР}$	Трещины в швах				Трещины в панелях		Доля выкрошенных швов, %	Доля ремонтных швов, %
			лестнич. клетки		наружных стен		кол-во	$a_{crc}$ , мм		
			%	$a_{crc}$ , мм	%	$a_{crc}$ , мм				
1	0,63	0,78	85	0,75	44	1,34	–	–	1,3	6,1
2	0,50	0,76	100	1,10	68	1,22	18	0,97	9,2	7,8
3	0,62	0,76	100	0,61	45	0,63	14	0,51	3,3	6,7
4	0,51	0,65	100	1,18	60	1,32	–	–	–	–
5	0,57	0,77	97	0,85	44	0,95	6	0,65	3,9	–
6	0,64	0,82	83	0,66	53	0,73	15	0,62	4,1	1,6
7	0,56	0,69	100	0,58	65	1,24	26	1,08	9,8	3,7
8	0,61	0,80	100	0,73	50	1,15	2	0,35	4,8	–
9	0,85	0,85	60	0,05	36	0,51	1	0,01	–	0,5

Как видим, средняя ширина раскрытия трещин  $a_{crc}$  в вертикальных швах составила 0,05-1,34 мм при максимальных значениях 1,5-2,0 мм, что согласуется с данными [1, 2]. Допустимое по нормам эксплуатации значение  $a_{crc}=1$  мм. Трещины в панелях наружных стен по характеру расположения, как правило, были типичными (рис.1, 2). Ширина их раскрытия в среднем составила 0,35-1,08 мм. Наибольшее количество значительных трещин (до 2,5-3,0 мм) наблюдалось для здания №7, грунтовое основание которого было, предположительно, проморожено. За исключением указанного здания выборка составляет относительно однородную совокупность объектов, продолжительность эксплуатации которых равна 6-7 годам.

Корреляционный анализ представленных в табл.1 данных выявил наличие значимой на уровне 0,05 корреляции (рис.3) между уровнем бездефектности СМР, количеством и шириной раскрытия трещин в верти-

кальных швах панелей наружных стен ( $r = 0,72...0,92$ ), долей выкрошенных и отремонтированных швов ( $r = 0,80$ ), а также между комплексным показателем качества  $K_{СМР}$  [4] и количеством и шириной раскрытия трещин в стеновых панелях ( $r = 0,80...0,82$ ).



Рис. 2. Типичное расположение трещин в двухмодульных (а) и одномодульных (б) панелях

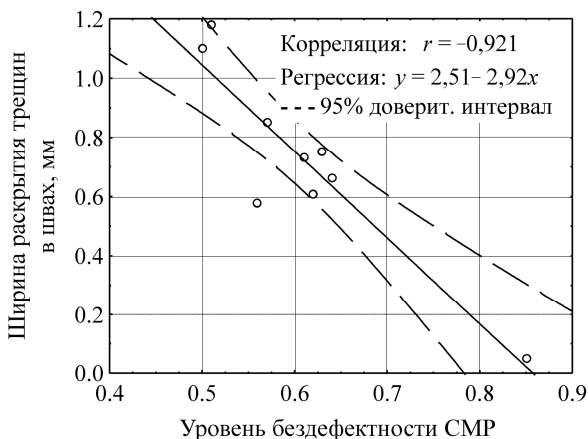


Рис. 3. Зависимость ширины трещин от качества работ

Корреляционные взаимодействия исследованных параметров доказывают, что существует прямая связь между уровнем качества монтажа крупнопанельных зданий и степенью их поврежденности. Так как признаков деформаций оснований в выборке зданий обнаружено не было (кроме здания №7), выявленные повреждения связаны с дефектами сило-

вого сопротивления несущей системы зданий и внешними воздействиями. При достаточной однородности последних гипотезу о неблагоприятном влиянии дефектов СМР на интенсивность износа крупнопанельных зданий можно принять.

Для описания износа используют экспоненциальную зависимость [1, 5] сохранности конструкции

$$v(t) = 1 - \xi(t) = e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

где  $v$  – сохранность (величина, обратная износу  $\xi$ );

$\lambda$  – интенсивность износа.

Свойство сохранности соотносят с запасом несущей способности, вероятностью отказа, резервом по надежности и т.д. Если сохранность интерпретировать через потерю несущей способности  $R(t)/R_0$ , то при учете начальной дефектности, снижающей  $R_0$  и влияющей на интенсивность износа, модель (1) преобразуется к виду

$$R(t) = K_R R_0 e^{-a\lambda t}, \quad (2)$$

где  $R(t)$ ,  $R_0$  – текущее и начальные значения несущей способности;

$K_R$  – показатель снижения несущей способности в результате допущенных дефектов;

$a$  – коэффициент увеличения интенсивности износа  $\lambda$  дефектных конструкций ( $a \geq 1$ ).

Интенсивность износа для различных инженерных сооружений и условий эксплуатации изменяется в довольно широких пределах. Например, в зависимости от степени агрессивности среды скорость коррозии бетона варьируется в пределах от 0,4 до 4–6 мм в год, арматуры – от 0,04 до 1,8 мм в год [5]. Кроме того, интенсивность износа изменяется и с течением времени: по данным [6] увеличивается в конце срока эксплуатации примерно в три раза, при этом  $\lambda$  возрастает с 0,003 до 0,01. Вместе с тем, в период нормальной эксплуатации можно принять приближенную модель (2) и постоянную величину  $\lambda$ . По оценкам [6, 7] для каменных зданий  $\lambda = 0,0037$ , по данным [7] постоянная износа для железобетонных конструкций  $\lambda \approx 0,003–0,005$ .

Оценив влияние начальных дефектов показателем  $K_R$  и принимая физический износ  $\xi$  в момент времени  $t$  равным  $100(1 - R_t/R_0)$ , можем найти коэффициент  $a$  из формулы (2). При этом износ определим по правилам ВСН 53–86(р) «Правила оценки физического износа жилых зданий» как среднюю величину износа наружных панелей  $\xi_n$  и их стыков  $\xi_{cm}$ . Износ стыков примем равным доле ремонтных швов. Несущая способность в момент времени  $t$  с учетом начальной дефектности выразится

$$R_{td} = K_R - \xi / 100. \quad (3)$$

Результаты вычислений по исходным данным обследования зданий сведены в табл.2.

Таблица 2

Результаты вычисления коэффициента  $a$

$T$ , лет	$\xi_{CT}$ , %	$\xi_{II}$ , %	$\xi$ , %	$R_T = \frac{1}{1-\xi/100}$	$R_{TD}$	$K_R$	$\lambda = \frac{1}{-LNR_T/T}$	$A\lambda = \frac{1}{-LNR_{TD}/T}$	$A$
4	5	6	5,5	0,945	0,905	0,96	0,0141	0,0250	1,77
5	6	8	7,0	0,930	0,870	0,94	0,0145	0,0279	1,92
6	9	10	9,5	0,905	0,835	0,93	0,0166	0,0301	1,81
7	12	12	12	0,880	0,790	0,91	0,0183	0,0337	1,84

Таким образом, для крупнопанельных зданий получено среднее значение коэффициента увеличения интенсивности износа с учетом начальных дефектов  $a = 1,84$ , и формула (2) приобретает вид:

$$R_t = K_R R_0 e^{-1,84\lambda t}. \quad (4)$$

По выражению (4) можно найти срок эксплуатации дефектной конструкции до заданного технического состояния и проведения соответствующих восстановительных мероприятий. Например, при  $\lambda = 0,005$  и  $K_R = 0,95$  срок эксплуатации конструкции до проведения среднего ремонта, соответствующего потере несущей способности до  $R_t/R_0 = 0,85$ , будет равен 12 годам.

Для оценки снижения надежности используем выражение индекса надежности (характеристики безопасности):

$$\beta = \frac{\bar{k} - 1}{\sqrt{V_F^2 + \bar{k}^2 V_R^2}}, \quad (5)$$

где  $\bar{k}$  – коэффициент запаса по несущей способности;

$V_R, V_F$  – коэффициенты вариации сопротивления и нагрузки.

Снижение надежности дефектной конструкции в процессе эксплуатации можно оценить, если ввести в (5) показатель снижения несущей способности в результате дефектов  $K_R$  и деградационную функцию (4):

$$\beta = \frac{K_R \bar{k}_0 e^{-a\lambda t} - 1}{\sqrt{V_F^2 + (K_R \bar{k}_0 e^{-a\lambda t})^2 V_R^2}}. \quad (6)$$

Результаты сравнительных расчетов при  $\lambda = 0,005$ ,  $V_F = 0,07$  и  $V_R = 0,135$  и характеристических значениях снижения несущей способности в результате дефектов представлены на рис.4.

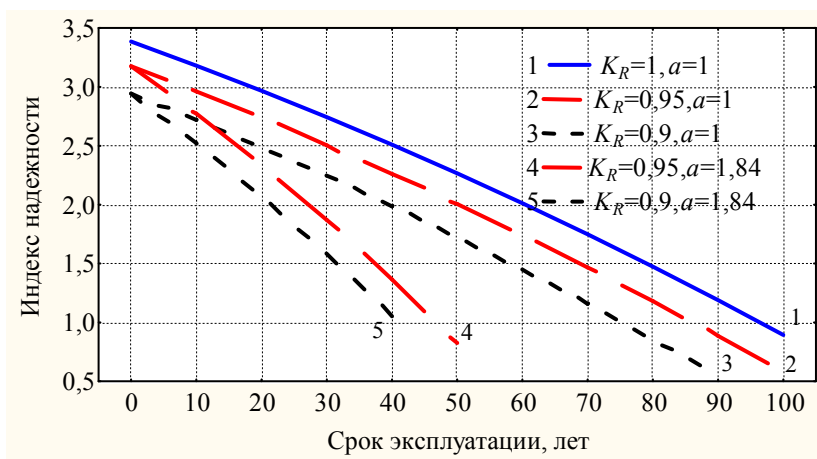


Рис. 4. Снижение надежности в процессе эксплуатации

Таким образом, уже через 10-30 лет эксплуатации надежность дефектных конструкций может снизиться до критических значений, что потребует преждевременных затрат на их восстановление.

Заключение. На основе экспериментально-теоретических положений проведен анализ влияния качества строительства на эксплуатационную надежность крупнопанельных зданий. Исследованы внешние повреждения зданий и доказана их взаимосвязь с уровнем бездефектности строительно-монтажных работ. Уточнена модель физического износа крупнопанельных зданий с учетом начальных дефектов и эксплуатационных повреждений, позволяющая определить срок их безопасной эксплуатации.

### Библиографический список

1. Ройтман А.Г. Деформации и повреждения зданий. – М.: Стройиздат, 1987. – 160 с.
2. Шапиро Г.А., Сендеров Б.В., Фрайнт М.Я. Оценка качества изделий и монтажа крупнопанельных зданий по результатам прочностных натурных испытаний. – М.: Стройиздат, 1976. – 97 с.
3. Ройтман А.Г. Надежность конструкций эксплуатируемых зданий. – М.: Стройиздат, 1985. – 175 с.
4. Байбурин А.Х., Головнев С.Г. Качество и безопасность строительных технологий: Монография. – Челябинск, Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 453 с.



5. Пухонто Л.М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений (силосов, бункеров, резервуаров, водонапорных башен, опорных стен). – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 424 с.
6. Бойко М.Д. Диагностика повреждений и методы восстановления эксплуатационных качеств зданий. – М.: Стройиздат, 1975. – 334 с.
7. Авиром Л.С. Надежность конструкций сборных зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1971. – 216 с.