

tion about current indicators of quality assessment of traffic management and function of public transport]. Transportnye sistemy Sibiri. Razvitie transportnoi sistemy kak katalizator rosta ekonomiki gosudarstva [Transport systems in Siberia. Development of transport system as accelerator of growth of economics of the state]. Krasnoyarsk, 2016. pp. 522-528.

9. Solodyankina S.V. Pulyaevskaya E.V. Metodika primeneniya instrumentov landshaftnogo planirovaniya v gradostroitel'stve [An apply methods of landscape planning tools in urban planning]. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Proceedings of Irkutsk State Technical University]. Irkutsk, 2013. 10 № (81). pp. 150-154.

10. Shagimuratova A.A. Rol' jeleznodorozhnogo transporta v formirovanii sistemy transportno-peresadochnykh uzlov na primere Germanii [Role rail transport in building of system of transport nodes using example of Germany]. Internet-journal «Naukovedenie» [Internet-magazine «Sociology of science»]. Vol.8, no 2, 2016. <http://naukovedenie.ru/PDF/122TVN216.pdf>. DOI: 10.15862/122TVN216.

11. Dott. Nicola Desiderio. Requirements of Users and Operators on the Design and Operation of Intermodal Interchanges. Dott. Nicola Desiderio. Technical University of Darmstadt. Darmstadt. 33 p.

12. Edwards Brian. Sustainability and the design of transport interchanges: Book. B. Edwards. USA, 2011. 194 p.

13. Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000) Transportation Research Board, National Research Council. - Washington, D.C., U.S.A., 2000. 1207 p.

14. Highway Capacity Manual 2010 (HCM 2010) Transportation Research. Available Board-<http://hcm.trb.org/?qr=1>.

15. Airport Development Reference Manual. 9th Edition. International Air Transport Association. Available [http://docshare.tips/iata-airport-development-reference-manual-jan-2004\\_574f22a6b6d87f7d0a8b62e0.html](http://docshare.tips/iata-airport-development-reference-manual-jan-2004_574f22a6b6d87f7d0a8b62e0.html)

16. Daamen W. A quantitative assessment on the design of a railway station. Computers in railways VIII Congress Proceedings WIT Press 2002. p. 191-200.

17. Li-Ya Yao, Xin-Feng Xia, Li-Shan Sun. Transfer Scheme Evaluation Model for a Transportation Hub based on Vectorial Angle Cosine. Sustainability. China 2014, 6. p. 4152-4162.

18. Piotr Olszewski. Quantitative assessment of public transport interchanges. Piotr Olszewski, Piotr Krukowski. Warsaw University of Technology. Association for European Transport and Contributors. Warsaw, Poland, 2012. 12 p.

19. Fruin, J.J. Pedestrian planning and design, New York: Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners Inc. 1971. 206 p.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Копылова Татьяна Александровна (Иркутск, Россия) – соискатель на кафедре «Менеджмент и логистика на транспорте», специалист по связям с общественностью пресс-службы ИРНИТУ. (664074, г.Иркутск, ул. Лермонтова, 83, e-mail: kopylova.T.irkutsk@gmail.com).*

*Tatiana A. Kopylova (Irkutsk, Russia) – competitor at the Department of Transport Management and Logistics, public relations specialist of the press service of Irkutsk National Research Technical University, (644074, Irkutsk, Lermontov street, 83, e-mail: kopylova.T.irkutsk@gmail.com).*

УДК 624.046

## ЖИВУЧЕСТЬ ЗДАНИЙ СО СБОРНЫМИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМИ ПЕРЕКРЫТИЯМИ

Ю.В. Краснощеков  
ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследования живучести многоэтажного здания при аварийном отказе несущего элемента сборного железобетонного перекрытия. Проведение подобных исследований предусмотрено нормами проектирования с целью обеспечения

безопасности зданий и сооружений и исключения прогрессирующего разрушения конструкций. В процессе исследования выполнен анализ возможных отказов отдельной плиты сборного настила перекрытия, определена сила удара падающей конструкции на расположенное ниже перекрытие с учетом коэффициента динамичности и проверена возможность прогрессирующего разрушения здания. Рассмотрен конкретный случай отказа плиты перекрытия в результате аварийного обрушения карнизной части наружной кирпичной стены 5-этажного жилого дома. Выявлена необходимость резервирования прочности конструкций перекрытия из многослойных плит. Функцию резервирования выполняют межплитные связи из бетонных шпонок, которые обычно предусмотрены для обеспечения жесткости дисков перекрытий и устойчивости здания при действии горизонтальных нагрузок. Выполнена оценка несущей способности типовых бетонных шпонок по методике российских норм проектирования при действии на перекрытия аварийной нагрузки интенсивностью, рекомендованной европейскими нормами проектирования зданий и сооружений. В выводах отмечена целесообразность использования конструктивных связей сборных перекрытий с целью исключения прогрессирующего обрушения многоэтажных зданий.

**Ключевые слова:** безопасность зданий, аварийная нагрузка, прогрессирующее обрушение, сборные железобетонные конструкции, межплитные шпоночные связи.

#### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Нормы проектирования требуют проведения исследований живучести зданий и сооружений при отказе ключевых несущих элементов.

2. Для обеспечения живучести многоэтажных зданий при разрушении плиты сборного перекрытия верхних этажей необходимо резервирование прочности плит.

3. Межплитные связи в виде бетонных шпонок обеспечивают живучесть многоэтажного здания при ширине сборных железобетонных плит до 1,8 м.

#### ВВЕДЕНИЕ

Основное условие проектирования зданий и сооружений повышенного уровня ответственности – это обеспечение безопасности [1]. Согласно межгосударственному стандарту [2] надежность строительных конструкций таких зданий и сооружений должна быть обеспечена, в частности, за счет выбора конструктивных решений, которые при аварийном выходе из строя или локальных повреждениях отдельных несущих элементов не приводят к прогрессирующему обрушению сооружения. Там же введен термин «прогрессирующее (лавинообразное) обрушение: Последовательное (цепное) разрушение строительных конструкций, приводящее к обрушению всего сооружения или его частей вследствие начального локального повреждения». Расчет на прогрессирующее разрушение производится для зданий и сооружений классов КС-3 и КС-2 с массовым нахождением людей. Рекомендательный

перечень зданий и сооружений с массовым нахождением людей приведен в приложении Б стандарта. К ним отнесены, в частности, здания (жилые, офисные, административные, общественные и др.) высотой 5 этажей и более.

Аварийное воздействие в результате отказа несущего элемента конструкции является частным случаем особого воздействия, не задаваемого в нормативной документации. В сложных конструктивных системах зданий и сооружений имеется множество несущих элементов. У проектировщиков часто возникает вопрос, об отказах каких именно элементов идет речь в каждом конкретном случае. Поиск таких элементов не приведет ли к многократному увеличению объема строительных расчетов [3]?

К сожалению, в действующих нормах проектирования [4] отсутствует даже раздел по аварийным воздействиям. Отмечается лишь, что частным случаем особого воздействия может быть отказ работы несущего элемента конструкции, создающий аварийные ситуации с возможными катастрофическими последствиями. Однако в перечне аварийных воздействий отказы несущих элементов не упоминаются. Малоутешительный ответ проектировщикам содержит п. 4.7 СП: «для зданий и сооружений повышенного уровня ответственности дополнительные требования к воздействиям необходимо устанавливать в нормативной документации на отдельные виды сооружений, а также в заданиях на проектирование с учетом рекомендаций, разработанных в рамках научно-технического сопровождения проектирования».

Опыт строительства свидетельствует о том, что здание или сооружение следует проектировать таким образом, чтобы в случае разрушения любого отдельного элемента весь объект или его наиболее ответственная часть сохраняла работоспособность в течение периода времени, достаточного для принятия срочных мер (например, эвакуации людей при пожаре). Безотказность этих элементов должна обеспечивать строительный объект от полного разрушения при аварийных воздействиях, даже если его дальнейшее использование по назначению окажется невозможным без капитального ремонта [5]. Актуальность проблемы обусловлена тем, что существующая практика конструирования не учитывает возможность прогрессирующего разрушения [6]. Идея проектирования конструкций с учетом катастрофических воздействий сформулирована относительно недавно [7, 8].

Свойство конструкций сохранять при аварийных воздействиях способность к выполнению основных функций, не допуская лавинообразного (каскадного) развития возмущений и отказов обычно связывают с термином «живучесть» [9, 10]. В европейских нормах EN 1991-1-7, на которые следует ссылаться после утверждения Национальных приложений к Еврокоду [11], живучестью (robustness) названо свойство конструкции противостоять таким событиям, как пожар, взрыв, удар или результат человеческих ошибок без возникновения повреждений, которые были бы непропорциональны причине, вызвавшей повреждение. Здесь же приведена классификация особых (аварийных) воздействий, в которой отмечены возможные причины аварий зданий и сооружений или значительные повреждения их несущих конструкций:

- ошибки в проектах, в том числе связанные с несовершенством требований норм;
- дефекты материалов;
- недоброкачественное производство работ;
- недостатки эксплуатации зданий, в том числе их инженерного оборудования;
- небрежность, некомпетентность, а иногда и случаи вандализма (в частности, самовольная перепланировка квартир с ослаблением несущих конструкций).

Живучесть – это системное свойство, актуальность исследования которого возрастает с усложнением строительных объектов [12, 13, 14].

При расчете конструкций нормами предусмотрено обязательное рассмотрение ава-

рийной ситуации, соответствующей исключительным условиям работы сооружения, которые могут привести к существенным социальным, экологическим и экономическим потерям. Надежность сооружения для каждой расчетной ситуации должна быть обеспечена расчетом по всем предельным состояниям, в том числе по особому предельному состоянию, возникающему при особых воздействиях и ситуациях, и превышение которого приводит к разрушению сооружения с катастрофическими последствиями. Полувероятностная модель надежности, реализованная в методе предельных состояний, предполагает анализ напряженно-деформированного состояния конструктивной системы с оценкой прочности и устойчивости при разрушении одного или нескольких несущих элементов (моделирование возможной ситуации разрушения) [15, 16]. Подобную модель предлагал для третьей группы предельных состояний (по живучести) В.Д. Райзер [17]. Для увеличения живучести используют различные стратегии [18, 19].

В общем случае расчет на живучесть сводится к расчету устойчивости здания и сооружения против прогрессирующего разрушения с учетом пластических деформаций при предельных нагрузках. В работе [20] предлагается выполнять расчет на живучесть в 2 этапа. На первом этапе производится расчет в эксплуатационной стадии, предшествующей локальному разрушению. Расчет с выключенными элементами выполняется на втором этапе с учетом физической и геометрической нелинейности на действие нагрузки от усилия, определенного на первом этапе с увеличением на коэффициент, учитывающий динамический эффект локального разрушения. По мнению авторов, такой расчет является компьютерным моделированием процесса приспособления конструкции к новой расчетной ситуации.

При исследовании живучести каркасных зданий с рамной схемой обеспечения пространственной жесткости обычно рассматривается случай отказа одной из колонн нижнего этажа. В результате больших перемещений конструкция может адаптироваться к новой ситуации с возможным изменением расчетной схемы. При этом расчетная схема перекрытия над удаленной колонной в связи с большими перемещениями рассматривается в виде мембраны. Для поиска эффективного решения перекрытий здания со связевым каркасом разработаны варианты обеспечения живучести путем усиления перекрытия [21].

В работе [22] показано, что в каркасных зда-

ниях с безбалочными железобетонными перекрытиями при превышении определенных размеров сетки колонн определяющим является расчет против прогрессирующего разрушения с учетом пластических деформаций при предельных нагрузках. При этом принимаются во внимание только особые сочетания нагрузок, включающие постоянные и длительные временные нагрузки с коэффициентами сочетания и надежности равными единице, а также наиболее опасные схемы локального разрушения. Величины перемещений (прогибов) и ширина раскрытия трещин в конструкциях не регламентируются, а устойчивость должна быть обеспечена при минимальной жесткости конструктивных элементов и узловых соединений, соответствующих максимально допустимым деформациям бетона и арматуры. Критерии несущей способности в этом случае те же, что и в обычных расчетах по предельным состояниям.

Расчет конструкций сооружений повышенного уровня ответственности (класса КС-3) рекомендуется проводить на основе результатов специальных теоретических и экспериментальных исследований. Расчет допускается не проводить, если предусмотрены специальные мероприятия, исключающие прогрессирующее обрушение сооружения.

В статье рассмотрен конкретный пример исследования на живучесть 5-этажного жилого здания (класс КС-2) с несущими кирпичными стенами при отказе одной из плит настила сборного железобетонного перекрытия.

### **АНАЛИЗ ЖИВУЧЕСТИ ЗДАНИЯ ПРИ ОТКАЗЕ (РАЗРУШЕНИИ) НЕСУЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ПЕРЕКРЫТИЯ**

В соответствии с действующими нормами при проектировании 5-этажного жилого здания (класс КС-2) с несущими кирпичными стенами следует выполнить расчет на прогрессирующее обрушение. Основными несущими элементами здания являются фундаменты, стены и перекрытия. Если рассматривается возможность применения традиционного конструктивного решения перекрытий со сборными настилами из железобетонных плит, проектировщик обязан предусмотреть возможность прогрессирующего обрушения здания или его части при отказе отдельной плиты перекрытия (локальном разрушении перекрытия верхнего этажа) в результате аварийного воздействия: взрыва, пожара, несанкционированных перепланировок и т.п.

Железобетонный настил – это несущая конструктивная система из расположенных в горизонтальной плоскости элементов, взаимосвязанных и взаимодействующих при нагружении поперечной нагрузкой. Настил является основной несущей частью (подсистемой) конструктивных систем перекрытий (покрытий) зданий. Существуют различные способы членения настилов на элементы в зависимости от конструктивного решения и технологии изготовления перекрытия (покрытия). Особенно тщательно отработаны способы членения сборных систем, основным элементом которых являются железобетонные изделия в виде плит.

Сборные элементы различают по размерам, форме и конфигурации поперечного сечения, армированию и несущей способности, а также способам соединения между собой и с опорными элементами перекрытий. Основные размеры элементов унифицированы. Наиболее распространены плиты плоские сплошные или многопустотные. Взаимосвязь элементов обеспечивается замоноличиванием швов бетоном или раствором, реже с помощью сварки закладных деталей или выпусков арматуры.

Расчетные модели (схемы) настила формируют на основе конструктивных схем и механизма взаимодействия элементов. Наиболее проста и доступна расчетная схема настила в виде плоской системы – пластины с безмоментными связями между элементами (рис. 1).

Типовые плиты обычно рассчитывают по балочной статически определимой схеме. Поэтому отказ их возможен в результате разрушения по одному из сечений: нормальному или наклонному. Наиболее опасно хрупкое разрушение бетона сжатых зон, разрушение анкеровки арматуры в опорной зоне или внезапное смещение плиты с опоры (отказ опорного элемента).

Отказ опоры едва не случился при обрушении карнизного участка наружной стены, показанного на рис. 2.

На рис. 2 видно, что одна из плит (над оконным проемом) практически лишена торцевой опоры и не обрушилась только благодаря связи со смежными плитами.

Возможное разрушение плиты сопровождается её падением с ударным воздействием на расположенные ниже конструкции. Если нижний настил от такого удара разрушается, то возможно прогрессирующее обрушение значительной части здания с катастрофическими последствиями. Такую ситуацию допустить нельзя.

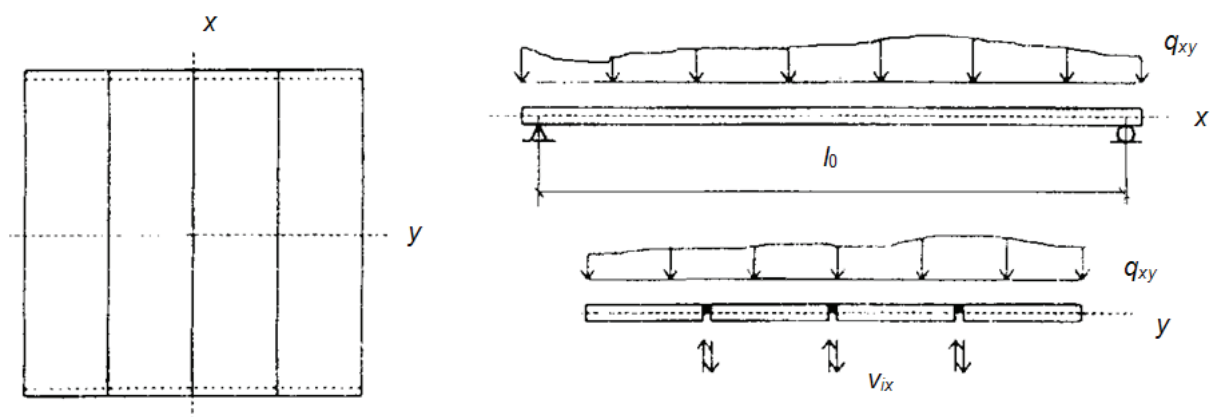


Рисунок 1 – Пример расчетной схемы сборного настила



Рисунок 2 – Обрушение наружной стены жилого здания

Например, плита пролетом 6 м и шириной  $b = 1,2$  м рассчитана на нагрузку  $15 \text{ кН/м}^2$  (с учетом собственного веса  $3 \text{ кН/м}^2$ ). Несущая способность плиты по поперечной силе  $Q = 15 \cdot 6 \cdot 1,2/2 = 54 \text{ кН}$ . При падении плиты одним концом возникает статическая нагрузка, равная половине веса плиты  $P = 3 \cdot 6 \cdot 1,2/2 = 10,8 \text{ кН}$ .

Сила удара может быть представлена эквивалентной статической силой  $F = k_d P$ , равной

весу элемента с учетом коэффициента динамичности  $k_d$ . Чтобы не произошло прогрессирующего обрушения, коэффициент динамичности в приведенном примере не должен превышать  $k_d = 54/10,8 = 5$ .

Коэффициент динамичности определяется в зависимости от высоты этажа  $h$  и деформации  $f_{st}$  конструкции, подвергшейся удару, от статического приложения нагрузки  $P$  [23]

$$k_d = 1 + \sqrt{1 + 2h/f_{st}}. \quad (1)$$

Величина коэффициента динамичности при жестком ударе (если  $f_{st} \rightarrow 0$ ) может быть очень большой. Например, максимальный прогиб плиты пролетом 6 м не должен превышать  $f_{st} = 600/150 = 4$  см. Даже при падении груза на середину пролета плиты с высоты этажа  $h = 3$  м коэффициент динамичности  $k_d = 13,3 > 5$ . Чем ближе к опоре плиты приходится удар, тем меньше одамливость конструкции, тем больше величина коэффициента динамичности и вероятность прогрессирующего обрушения.

Чтобы исключить прогрессирующее обрушение, конструктивная система настила должна обладать значительными резервами прочности. Резервирующую функцию могут выполнять межплитные связи, обеспечивающие взаимодействие плит настила.

Возможность учета взаимодействия элементов перекрытий предусмотрена европейскими нормами проектирования железобетонных конструкций (EN 1992-1-1). Согласно нормам, если при расчете учитывается поперечное распределение нагрузок между соседними (смежными) элементами, то должны быть предусмотрены соответствующие соединения для передачи поперечного усилия (рис. 3).

Поперечное распределение нагрузок должно быть основано на расчете или испытаниях. Для настилов с элементами шириной  $b$  при равномерно распределенной полезной нагрузке  $p$  (кН/м<sup>2</sup>) и отсутствии более точного расчета поперечное усилие на единицу длины стыкового соединения по европейским нормам допускается определять по формуле

$$v = pb/3. \quad (2)$$

В настоящее время межплитные соединительные связи предусматривают для обеспечения жесткости диска перекрытия на горизонтальные нагрузки (ветровые или сейсмические). В сочетаниях нагрузок и воздействий должно учитываться только одно особое воздействие без учета кратковременных нагрузок, поэтому работу межплитных связей можно учитывать при расчете на аварийную нагрузку.

Согласно EN 1991-1-7 ключевые элементы для обеспечения живучести должны быть рассчитаны на аварийную равномерно распределенную нагрузку 34 кН/м<sup>2</sup> [24]. Эта величина равномерно распределенной нагрузки эквивалентна по изгибающему моменту сосредоточенной силе  $F = 34 \cdot 6 \cdot 1,2/2 = 122$  кН, приложенной в середине пролета плиты длиной 6 м и шириной 1,2 м. Удар такой силы производит элемент массой около 0,9 т ( $P = 9$  кН), падающий с высоты этажа 3 м на расположенное ниже перекрытие (при  $f_{st} = 4$  см и  $k_d = 13,3$ ).

Железобетонные плиты перекрытий изготавливают с углублениями на боковых гранях для образования после их замоноличивания прерывистых или непрерывных шпонок, обеспечивающих совместную работу плит на сдвиг в горизонтальном и вертикальном направлениях [25]. На боковых гранях многопустотных плит предусматривают прерывистые углубления чаще всего круглой формы, при заполнении которых бетоном класса не менее В15 образуется шпоночный шов в виде системы взаимосвязанных шпоночных элементов. При шаге шпонок 0,2 м, регламентируемом для многопустотных плит, число шпонок в шве может быть весьма большим.

Прочность одиночных шпонок сборных железобетонных конструкций, образуемых бетоном или раствором замоноличивания, проверяют из условий работы на действие сдвигающих усилий  $Q$  [26]:

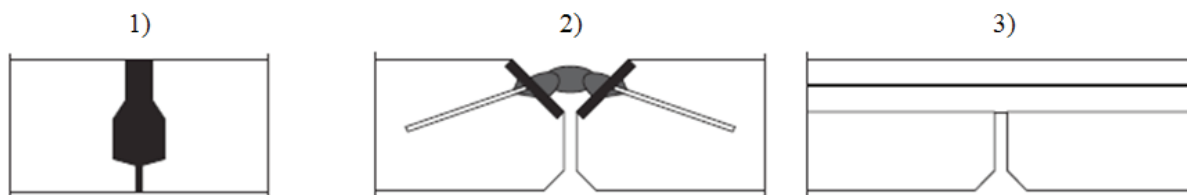


Рисунок 3 – Типы соединений между элементами настилов по EN 1992-1-1: 1) бетонные или растворные; 2) сварные или болтовые; 3) железобетонные

$$t_k > Q/R_{b/k} \text{ или } A_{loc} > Q/R_b; \quad (3)$$

$$h_k > Q/2R_{bt/k} \text{ или } A_{sh} > Q/2R_{bt}, \quad (4)$$

где  $t_k$ ,  $h_k$  и  $l_k$  – глубина, высота и длина шпонки;  $A_{loc}$  и  $A_{sh}$  – площади смятия и среза шпонки;  $R_b$  и  $R_{bt}$  – расчетные сопротивления бетона сжатию и растяжению.

При номинальных размерах шпонок круглопустотных плит  $t_k = 12,2$  мм,  $d = 120$  мм,  $A_{loc} = t_k d$  и  $A_{sh} = 0,785d^2$  расчетная несущая способность одиночной шпонки составляет: на смятие  $Q = 12,4$  кН, на срез  $Q = 17$  кН (класс бетона В15).

По европейским нормам прочность шпоночного бетонного соединения характеризуется сопротивлением срезу по контакту, равному 0,5 сопротивления растяжению. Это соответствует несущей способности типовой шпонки  $Q = 17/4 = 4,25$  кН. По формуле (2) определено условие обеспечения живучести сборных настилов в виде ограничения ширины сборной плиты  $b \leq 4,25 \cdot 3/34 \cdot 0,2 = 1,875$  м.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Живучесть многоэтажных зданий со сборными железобетонными перекрытиями рекомендуется определять в следующей последовательности:

- анализ возможных отказов отдельного элемента и их причин;
- оценка ударного воздействия при падении элемента или его частей на расположенные ниже конструкции;
- принятие мер по обеспечению живучести здания при возможном прогрессирующем обрушении перекрытий.

Шпоночные соединения круглопустотных плит в сборных настилах способны воспринимать аварийные воздействия в результате любых отказов отдельной плиты. Однако бетонные шпонки разрушаются хрупко, а эффективная работа связей, препятствующих прогрессирующему обрушению конструкций, возможна лишь при обеспечении их пластичности. Поэтому соединения элементов сборных железобетонных перекрытий следует проектировать в соответствии с рекомендациями [27].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 25.12.2009. №384-ФЗ. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений.

2. ГОСТ 27751-2014. Межгосударственный стандарт. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету. – М.: Стандартинформ, 2015. – 14 с. Введен 01.07.2015.

3. Кранцфельд, Я.Л. Об одной разновидности «особых нагрузок» / Я.Л. Кранцфельд. // Строительная механика и расчет сооружений, №4, 2013. – С. 86-87.

4. СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07-85\*. Нагрузки и воздействия». – М.: Минстрой России, 2017. – 80 с. Введен 04.06.2017.

5. Перельмутер, А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций / А.В. Перельмутер. – М.: Издательство АСВ, 2007. – 256 с.

6. Starossek U., Wolff M. Design of collapse-resistant structures [Конструирование структур, устойчивых к обрушению]. JCSS and IABSE workshop on Robustness of structures, building research establishment, Garston, Watford, UK. – 2005.

7. Abrams D.P. Consequence-based engineering approaches for reducing loss in mid-America [Инженерные подходы, основанные на следствии для уменьшения потерь, в Центральной Америке]. Conference on Apr 4, 2002 at Notre-Dame University. – 2002.

8. Ключева, Н.В. Исследование живучести железобетонных рамно-стержневых пространственных конструкций в запредельных состояниях / Н.В. Ключева, А.С. Бухтиярова, С.И. Колчунов // Промышленное и гражданское строительство, №2, 2012. – С. 55-59.

9. Santa Fe Institute. Working definitions of robustness [Рабочее определение надежности]. Rs-2001-009 Edition. – 2001.

10. Райзер, В.Д. К проблеме живучести зданий и сооружений / В.Д. Райзер. // Строительная механика и расчет сооружений, №5, 2012. – С. 77-78.

11. СП 205.1325800.2014. Национальное приложение. EN 1991-1-7:2006. Еврокод 1. Воздействия на строительные конструкции. Часть 1-7. Общие воздействия. Случайные воздействия. Введен 17.12.2014.

12. Краснощеков, Ю.В. Научные основы исследований взаимодействия элементов железобетонных конструкций / Ю.В. Краснощеков. – Омск: СибАДИ, 1997. – 276 с.

13. Де Бьяджи, В. Повышение живучести сооружения с помощью усложнения конструктивных схем / В. Де Бьяджи. // Вестник ТГАСУ. – 2015, №4. – С. 92-100.

14. Шиянов, С.М. О живучести несущих конструкций сложных технических систем / С.М.

Шиянов, П.В. Шепелина, В.В. Куранцов, А.И. Кормилицин. // Двойные технологии. – 2013, №1 (67). – С. 17-19.

15. Кудишин, Ю.И. К вопросу о живучести строительных конструкций / Ю.И. Кудишин, Д.Ю. Дробот. // Строительная механика и расчет сооружений, №2, 2008. – С. 36-43.

16. Свентиков, А.А. Оценка прогрессирующего разрушения пространственных висячих стержневых покрытий / А.А. Свентиков. // Строительная механика и расчет сооружений, №5, 2010. – С. 34-38.

17. Райзер, В.Д. Теория надежности сооружений / В.Д. Райзер. - М.: Издательство АСВ, 2010. – 384 с.

18. Knoll F., Vogel T. Design for Robustness [Конструирование надежности]. International Association for Bridge and Structural Engineering, Zurich.

19. Starossek U., Haberland M. Robustness of structures [Надежность конструкций]. International Journal of Lifecycle Performance Engineering. 2012. - № 1. – Р. 3-21.

20. Назаров, Ю.П. К проблеме обеспечения живучести строительных конструкций при аварийных воздействиях / Ю.П. Назаров, А.С. Городецкий, В.Н. Симбиркин. // Строительная механика и расчет сооружений, №4, 2009. – С. 5-9.

21. Краснощеков, Ю.В. Расчет каркасного здания на прогрессирующее обрушение при аварийном отказе колонны / Ю.В. Краснощеков. // Строительная механика и расчет сооружений, №1, 2017. – С. 54-58.

22. Тихонов, И.Н. Расчет и конструирование железобетонных монолитных перекрытий зданий с учетом защиты от прогрессирующего обрушения / И.Н. Тихонов, М.М. Козелков. // Бетон и железобетон, №3, 2009. – С. 2-8.

23. Беляев, Н.М. Соппротивление материалов / Н.М. Беляев. - М.: Наука, 1965. – 856 с.

24. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 1: Воздействия на сооружения. Стандарты EN 1991-1-1 и 1-3-1-7: пер. с англ. /Х. Гульванесян, П. Формичи, Ж.-А. Калгаро при участии Д. Хардинга. - М.: МГСУ, 2011. – 340 с.

25. Краснощеков, Ю.В. Прочность и надежность шпоночных швов / Ю.В. Краснощеков. // Вестник СибАДИ. – 2015, №3 (43). – С. 46-51.

26. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52.01.2003. – М.: 2013. – 156 с.

27. Рекомендации по защите жилых зданий с несущими кирпичными стенами при чрезвычайных ситуациях. Правительство Москвы – Москомархитектура. – М.: 2002. – 14 с.

## LIVING BUILDINGS WITH STONE REINFORCED CONCRETE FLOORS

Yu. V. Krasnoshchekov

**Abstract.** The article presents the results of the study of the survivability of a multi-storey building in the event of an emergency failure of a load-bearing element of precast reinforced concrete floor. Carrying out of such researches is stipulated by norms of designing with the purpose of maintenance of safety of buildings and constructions and exception of progressive destruction of designs. In the course of the research, the analysis of possible failures of an individual slab of precast flooring was carried out, the impact force of the falling structure on the below-mentioned overlap was taken into account, taking into account the dynamic factor and the possibility of progressive destruction of the building was verified. A concrete case of a failure of a slab is considered as a result of emergency collapse of the cornice part of the external brick wall of a 5-storey residential building. The necessity of reserving the strength of the structure of overlap from hollow-core slabs is revealed. The backup function is performed by interplate connections from concrete keys, which are usually provided to ensure the rigidity of the discs of the floors and the stability of the building under the action of horizontal loads. The load-bearing capacity of typical concrete keys has not been evaluated by the method of Russian design standards under the effect of overlapping the emergency load with the intensity recommended by European standards for the design of buildings and structures. In the conclusions, the expediency of using structural ties of prefabricated ceilings with the purpose of excluding the progressive collapse of multi-storey buildings was noted.

**Key words:** building safety, emergency load, progressive collapse, prefabricated reinforced concrete structures, interlace keyways.

## REFERENCES

1. Federalnyy zakon ot 25.12.2009. № 384-F3. *Technicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy I soorugenij*. [The Federal Law of 25.12.2009. № 384-F3. Technical regulations on the safety of buildings and structures].
2. GOST 27751-2014. *Megdunarodnyy standart. Nadeznost stroitelnykh konstrukzij i osnovanij. Osnovnye pologeniya po raschetu*. [Interstate standard. Reliability of building structures and foundations. Basic provisions for the calculation]. Moscow, Standartinform, 2015. 14 p.
3. Kranzfeld Ya.L. Ob odnoj raznovidnosti «osobych nagruzok» [On one variety of “special loads”]. *Stroitel'naja mehanika I raschet soorugenij*, 2013, no 4, pp. 86-87.
4. SP 20.13330.2016 “SNIP 2.01.07-85\*. *Nagruzki I vosdeystviya*”. [SNIP 2.01.07-85\*. Loads and effects]. Moscow, Minstroj Rosii, 2017. 80 p.
5. Perelmuter A.V. *Izbrannye problem nadeznosti I bezopasnosti stroitelnykh konstrukzij* [Selected problems of reliability and safety of building structures]. Moscow. Izdatelstvo ASV, 2007. 256 p.
6. Starossek U., Wolff M. Design of collapse-resistant structures. JCSS and IABSE workshop on Robustness of structures, building research establishment, Garston, Watford, UK. 2005.
7. Abrams D.P. *Consequence-based engineering approaches for reducing loss in mid-America*. Conference on Apr 4, 2002 at Notre-Dame University. 2002.
8. Klyueva N.V., Bukhtiyarova A.S., Kolchunov S.I. *Issledovanie givuchesti gelezobetonnykh ramno-stergnevykh prostranstvennykh konstrukzij v zapredelnykh sostojaniyakh* [Investigation of the survivability of reinforced concrete frame-rod spatial structures in extraneous states]. *Promyshlennoe I gragdanskoje stroitelstvo*, 2012, no 2, pp. 55-59.
9. Santa Fe Institute. Working definitions of robustness. Rs-2001-009 Edition. 2001.
10. Raiser V.D. K problem givuchesti zdaniy I [To the problem of survivability of buildings and structures], *Stroitel'naja mehanika I raschet soorugenij*. 2012, no 5, pp. 77-78.
11. SP 205.1325800.2014. *Nazionalnoe prilozhenie. EN 1991-1-7:2006. Evrocod 1. Vozdeystviya na stroitelnye konstrukzii. Chast 1-7. Obshchie vozdeystviya. Sluchajnye vozdeystviya* [National Annex. EN 1991-1-7: 2006. Eurocode 1. Effects on building structures. Part 1-7. General effects. Accidental effects].
12. Krasnoshchekov Yu.V. *Nauchnye osnovy issledovaniy vzaimodeystviya elementov gelezobetonnykh konstrukzij* [Scientific foundations of research on the interaction of elements of reinforced concrete structures]. Omsk. SibADI, 1997. 276 p.
13. De Biaggi B. *Povyshenie givuchesti soorugenija s pomoshchju uslogneniya konstruktivnykh schem* [Improving the survivability of a structure by complicating constructive schemes]. *Vestnik TGASU*. 2015, no 4, pp. 92-100.
14. Shiyanov S.M. Shepelina P.V., Kurantsov V.V., Kormilitsin A.I. O givuchesti nesushchikh konstrukzij slognykh technicheskikh system [On the survivability of load-bearing structures of complex technical systems]. *Dvojnnyel technologii*. 2013, no. 1 (67), pp. 17-19.
15. Kudishin Yu.I., Drobot. D.Yu. K voprosu o givuchesti stroitelnykh konstrukzij [To the question of the survivability of building structures]. *Stroitel'naja mehanika I raschet soorugenij*. 2008, no 2, pp. 36-43.
16. Sventikov A.A. *Ozenka progressirujushchego razrusheniya prostranstvennykh visjachih stergnevykh pokrytij* [Estimation of the progressive destruction of the spatial hanging pivot coatings]. *Stroitel'naja mehanika I raschet soorugenij*. 2010, no 5, pp. 34-38.
17. Raiser V.D. *Teorija nadeznosti soorugenij* [Theory of the reliability of structures]. Moscow. Izdatelstvo ASV, 2010. 384 p.
18. Knoll F., Vogel T. *Design for Robustness*. International Association for Bridge and Structural Engineering Zurich.
19. Starossek U., Haberland M. *Robustness of structures*. International Journal of Lifecycle Performance Engineering. 2012, № 1, pp. 3-21.
20. Nazarov Yu.P., Gorodetsky A.S., Simbirkin V.N. K problem obespecheniya givuchesti stroitelnykh konstrukzij pri avarijnykh vozdeystviyakh [To the problem of ensuring the survivability of building structures during emergency]. *Stroitel'naja mehanika I raschet soorugenij*. 2009, no 4, pp. 5-9.
21. Krasnoshchekov Yu.V. *Raschet karkasnogo zdaniya na progressirujushchee obrushenie pri avarijnom otkaze kolonny* [Calculation of a frame building for a progressive collapse in case of emergency failure of a column]. *Stroitel'naja mehanika I raschet soorugenij*. 2017, no 1, pp. 54-58.
22. Tikhonov I.N., Kozelkov M.M. *Raschet I konstruirovaniye gelezobetonnykh monolitnykh perekrytij zdaniy s uchedom zashchity ot progressirujushchego obrusheniya* [Calculation and construction of reinforced concrete monolithic ceilings of buildings taking into account protection against progressive collapse]. *Beton i gelesobeton*, 2009, no 3, pp. 2-8.

23. Belyaev N.M. Soprotivlenie materialov [Resistance of materials]. Moscow. Nauka, 1965. 856 p.

24. Gulvanesyan Ch., Formici P., Kalgaro J.-A., Harding D. Rukovodstvo dlja proektirovshchikov k Evrokodu 1 [Guidance for designers to Eurocode 1: Impacts on structures. Standards EN 1991-1-1 and 1-3-1-7] Moscow. MGSU, 2011. 340 p.

25. Krasnoshchekov Yu.V. Prochnost i nadezhnost shponochnykh chvov [Durability and reliability of keyways]. *Vestnik SibADI*, 2015, no. 3 (43). pp. 46-51.

26. SP 63.13330.2012. Betonnye i gelezobetonnnye konstrukcii. Osnovnye pologenija. Aktualizirovannaja redakcija SNIIP 52.01.2003 [Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions. Updated version of SNIIP 52.01.2003]. Moscow. 2013. 156 p.

27. Rekomendazii po zashchite zdaniy s nesushchimi kirpichnymi stenami pri chrezvychajnykh situacijach [Recommendations for the protection of residential buildings with load-bearing brick walls in emergency situations]. Moscow. Moscomarchitectura. 2002. 14 p.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Краснощекоев Юрий Васильевич (Омск, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций ФГБОУ ВО «СибАДИ». (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: uv1942@mail.ru).*

*Yuri V. Krasnoshchekov (Omsk, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of building structures, Omsk «SibADI». (644080, Mira, 5 prospect, Omsk, Russian Federation, e-mail: uv1942@mail.ru).*

УДК 697.92: 628.83

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ЖИЛЫХ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЗДАНИЙ С ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫМ МЕХАНИЧЕСКИМ УДАЛЕНИЕМ ВОЗДУХА

*М. А. Кривошеин  
ФГБОУ ВО «ОмГТУ», г. Омск, Россия*

**Аннотация.** В статье рассмотрены некоторые аспекты прогнозирования работы систем вентиляции жилых многоквартирных зданий с децентрализованным механическим удалением воздуха и естественным притоком. Представлены физическая и математическая модели системы вентиляции жилого многоквартирного здания с децентрализованным механическим удалением воздуха и алгоритм расчета подобных систем. Приведены результаты расчетов системы вентиляции двухкомнатной квартиры верхнего этажа многоквартирного жилого дома и системы вентиляции десятиэтажного жилого дома с децентрализованным механическим удалением воздуха.

**Ключевые слова:** вентиляция, аэродинамический расчет, децентрализованное удаление воздуха, приточные клапаны

### ВВЕДЕНИЕ

Системы вентиляции зданий, в вытяжных каналах которых устанавливаются индивидуальные вентиляторы, принято называть системами вентиляции с децентрализованным механическим удалением воздуха [1] (по терминологии АВОК - системы механической вытяжной вентиляции с индивидуальными вентиляторами [2]).

Аэродинамический расчет подобных систем, как правило, заключается в подборе вентиляторов по требуемому расходу воздуха и потерям давления в сети [2]. При этом все вентиляторы принимаются с одинаковыми характеристиками, а сопротивление приточных устройств (если оно учитывается) – считается постоянным во времени.

Однако на практике режим работы подобных систем вентиляции существенно отлича-