

материалоемкость имеют здания с формой сферы, куба, длинного параллелепипеда с уменьшением изрезанности фасадов. Неблагоприятной формой являются здания узкие, длинные или в виде высокой башни, для них свойственна наибольшая энергоёмкость. Традиционная прямоугольная форма здания шириной 12 м является наименее предпочтительной.

Удачный выбор формы, ориентации и размеров здания дает возможность в теплый период года уменьшить воздействие солнечной радиации на оболочку здания, и, следовательно, снизить затраты на его охлаждение. С помощью этого происходит улучшение экологической составляющей, уменьшение эксплуатационных затрат, благодаря чему здание становится более привлекательной для строительства.

Список литературы

1. Исследование влияния формы здания на его энергоэффективность / М.В. Рубцова, Е.А. Шевченко, Э.Е. Семенова - Текст: непосредственный // Инженерные системы и сооружения. - 2020. - № 3-4 (41-42). - С. 30-35.
2. Рубцова М.В. Проектные решения отеля на воде с учетом энергосбережения / М.В. Рубцова, Э.Е. Семенова - Текст: непосредственный // Строительство и реконструкция: сборник научных трудов 2-й Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров. Юго-Западный государственный университет. - Курск.- 2020. - С. 170-173.
3. Слимек И. В. Анализ отечественного и международного опыта проектирования и строительства энергоэффективных зданий / И. В. Слимек, М. П. Диндиенко, Н. В. Сергеева // ВЕСТНИК АлтГТУ. - 2018. № 1. - С. 281-286.
4. Постановление правительства РФ. О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам установления первоочередных требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений: Утвержден Постановлением Правительства Российской Федерации от 7 марта 2017 г. N 275. - Текст: непосредственный.
5. Чужинова Ю.Ю. Актуальность проблемы энергосбережения и пути ее решения / Ю.Ю. Чужинова, Э.Е. Семенова - Текст : непосредственный // Научный вестник ВГАСУ. Серия: высокие технологии. Экология. - 2014. - № 1. - С. 138-141.
6. Оптимизация геометрии формы архитектурных объектов повышения их энергоэффективности. - Текст: электронный. // DocPlayer.ru: сервер публикации документов. - 2021. - URL: <http://docplayer.ru/27400496-2-lekciya-optimizaciya-geometrii-formy-arhitekturnyh-obektov-s-celyu-povysheniya-ih-energoeffektivnosti.html> (дата обращения: 11.12.2020).
7. Семенова Э.Е. Исследования зависимости энергоэффективности здания от геометрической формы / Э.Е. Семенова, А.А. Тютюрев - Текст : непосредственный // Научный вестник ВГАСУ. Высокие технологии. Экология. - 2011. - № 1. - С. 102-104.
8. Головнев С.Г. Оценка влияния архитектурно-планировочных решений гражданских зданий на энергоэффективность / С.Г. Головнев, А.Е. Русанов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. - 2013. - № 4. - С. 76-79.
9. Савин В.К. Энергетическая эффективность и формообразование зданий / В.К. Савин, Н.В. Савина // Вестник МГСУ. - 2011. - № 3. - С. 152-157.
10. Прокопенко К.И. Влияние формы здания на его энергопотребление / К.И. Прокопенко // Архитектура жилых и общественных зданий - 2014. - № 4. - С. 181-186.
11. Семенова Э.Е. Влияние объемно-планировочного решения на энергоэффективность здания / Э.Е. Семенова, Г.В. Пономарева / - Текст : непосредственный // Строительство и реконструкция: сборник научных трудов научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет. - Курск.- 2019. - С.105-109.

© М. В. Рубцова, Э. Е. Семенова

Ссылка для цитирования:

Рубцова М. В., Семенова Э. Е. Учет влияния формы здания на его энергоэффективность // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 2 (36). С. 10–15.

УДК 624.04; 69.07

DOI 10.52684/2312-3702-2021-36-2-15-20

РАСЧЁТ МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

С. С. Рекунов, А. Ю. Косова, С. Ю. Иванов, И. С. Завьялов

Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

В статье приведён анализ существующих расчётных практик для решения проблем живучести конструкций зданий и сооружений. Отдельно рассмотрены вопросы прогрессирующего обрушения зданий при действии сейсмических нагрузок. Отмечено, что для обеспечения надёжности конструкций зданий и сооружений при особых воздействиях необходимо чёткое регулирование в системе нормативной документации Российской Федерации. Большинство расчётов на прогрессирующее обрушение выполнено для зданий каркасного типа. В данной работе предложен один из подходов к решению проблемы живучести на примере расчёта многоэтажного здания стеновой конструктивной системы на прогрессирующее обрушение при последовательном отказе наиболее нагруженных стен первого этажа. Показано изменение напряжённо-деформированного состояния несущих конструкций здания при последовательном отказе стен первого этажа на каждом этапе расчёта.

Ключевые слова: надёжность, живучесть, прогрессирующее обрушение, сейсмическое воздействие, локальное разрушение, отказ.



CALCULATION OF A MULTI-STOREY BUILDING FOR PROGRESSIVE COLLAPSE UNDER SEISMIC IMPACT

S. S. Rekunov, A. Yu. Kosova, S. Yu. Ivanov, I. S. Zavyalov
Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

The article provides an analysis of existing computational practices for solving the problems of survivability of structures of buildings and structures. The issues of progressive collapse of buildings under the influence of seismic loads are considered separately. It is noted that in order to ensure the reliability of the structures of buildings and structures under special impacts, it is necessary to have a clear regulation in the system of regulatory documentation of the Russian Federation. Most calculations for progressive collapse are made for frame buildings. In this paper, one of the approaches to solving the problem of survivability is proposed on the example of calculating a multi-storey building of a wall structural system for progressive collapse with a sequential failure of the most loaded walls of the first floor. The change in the stress-strain state of the building's load-bearing structures with successive failure of the walls of the first floor at each stage of the calculation is shown.

Keywords: reliability, survivability, progressive collapse, seismic impact, local destruction, failure.

В современной практике строительства становится всё больше уникальных, высотных объектов, возведённых в сложных условиях, в том числе в сейсмически опасных районах. Среди учёных и специалистов, занимающихся вопросами количественной оценки надёжности и отдельного её направления – живучести, – всё больший интерес привлекают исследования объектов при запроектных нагрузках, приводящих к возникновению прогрессирующего обрушения.

Привлечение задач живучести к решению вопросов минимизации повреждений и прогнозирования возникновения локальных повреждений строительных конструкций в настоящее время достаточно обосновано и полностью оправдано [1]. Решение задач по обеспечению защиты конструктивных систем зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения при аварийных повреждениях, локальных разрушениях, стихийных воздействиях (в том числе сейсмических) находит в отдельных нормативных документах последнего поколения [2–5]. Однако некоторые общие формулировки в основных регламентирующих документах до сих пор не дают чётких указаний (например, по выбору метода расчёта), оставляя много вопросов и «свобод» проектировщикам. В соответствии с п.5.2.6 [2] расчет на прогрессирующее обрушение допускается не выполнять, если «...предусмотрены специальные мероприятия, исключающие прогрессирующее обрушение сооружения или его части», без дальнейшего уточнения, что представляют собой «специальные мероприятия». При этом также существует проблема взаимосвязи нормативных документов, допускающая разночтение их отдельных положений [6].

Прогрессирующее обрушение может быть вызвано не только взрывом, пожаром, ударом, землетрясением или другим специфическим воздействием, но и выходом конструкции из строя по причине некачественного монтажа, неправильного проектирования или эксплуатации объекта [7, 8]. В связи с этим отдельное внимание уделяется ответственным объектам различного назначения, эксплуатируемым в особых условиях и подлежащих выполнению работ по реконструкции в

связи с истощением несущей способности элементов их конструкций [9, 10].

В общетехнической литературе под живучестью понимают способность системы сохранять свойства, необходимые для выполнения требуемых функций при наличии неблагоприятных воздействий, не предусмотренных условиями нормальной эксплуатации, вызывающими повреждение (отказ) элементов системы. Применительно к строительным конструкциям термин «живучесть» подразумевает способность конструкции выполнять частично или полностью свое функциональное назначение после повреждения [11].

Впервые проблема живучести нашла свое место в предложении Н.С. Стрелецкого относительно использования понятия о третьем предельном состоянии как состоянии с недопустимым уровнем повреждений [12]. Самое главное условие живучести – выполнение функциональных требований к объекту после возникновения аварийной ситуации. Для зданий и сооружений это, в первую очередь, эвакуация людей из опасной зоны, прекращение работы опасного оборудования и т. д.

Изначально понятие живучесть применялось к сейсмостойкому строительству. В частности, появилась идея выделения так называемых главных несущих конструкций, безотказность которых обеспечивает здание или сооружение от полного разрушения при аварийных воздействиях [7]. В настоящее время в отечественных строительных нормах нет третьей группы предельного состояния, но они предусматривают «Особые предельные состояния – состояния, возникающие при особых воздействиях и ситуациях и превышение которых приводит к разрушению сооружений с катастрофическими последствиями».

Проблема прогрессирующего разрушения является одним частным случаем проблемы живучести. Впервые термин «прогрессирующее обрушение» был использован в 1968 году, когда в Лондоне произошел взрыв бытового газа в 22-этажном здании «Ronan Point», который привел к обрушению бокового фасада. При анализе обрушения комиссия по расследованию причин аварии в своем отчетном докладе использовала

термин «прогрессирующее обрушение». В «Ronan Point» взрывом была разрушена наружная панель на 18 этаже, которая служила опорой для вышележащих панелей. После отказа одной панели все вышележащие панели, потеряли опору и также разрушились, а их обломки создали дополнительную нагрузку для нижележащих конструкций, что и привело к цепочке отказов, что и стало основной причиной, вызвавшей прогрессирующее обрушение. Для предотвращения или ограничения прогрессирующего разрушения предложено много методов защиты зданий и сооружений [6, 11, 13–15].

Прогрессирующее обрушение возникает при воздействии на конструкции особых нагрузок [13]. Такие нагрузки делятся на нормированные и аварийные. Нормативные нагрузки регулируются в нормативных документах (например, [3, 4]): сейсмические нагрузки, нагрузки от пожара и др. Если воздействие не регламентировано нормативным документом, то оно определяется как аварийное (взрыв, отказ несущего элемента) и расчеты проводят по [5].

При реализации разных особых нагрузок (нормативные или аварийные) происходят различные аварийные ситуации, что, в свою очередь, ведет к различным подходам при защите конструкции от прогрессирующего обрушения [15]. При расчете здания в сейсмически опасных районах необходимо исследовать динамические характеристики конструкций. Наиболее разрушающими формами колебаний являются формы с низкой частотой, так как может возникнуть явление резонанса. Корректировать частоты собственных колебаний возможно с помощью изменения жесткости элементов каркаса. Наиболее приемлемым соотношением и расположением жесткостей строительных конструкций, является то соотношение, при котором здание наименее отклоняется по вертикали и крутильные колебания для первых двух форм так же является минимальные [16, 17].

Большинство расчётов на прогрессирующее обрушение выполнено для зданий каркасного типа на отказ одной из колонн каркаса. В данной работе предложен один из подходов к решению проблемы живучести на примере расчёта многоэтажного здания стеновой конструктивной

системы на прогрессирующее обрушение при последовательном отказе стен первого этажа.

Для исследования динамических характеристик выбран 16 этажный монолитный жилой дом. В программном комплексе «ЛИРА» была создана расчетная модель здания.

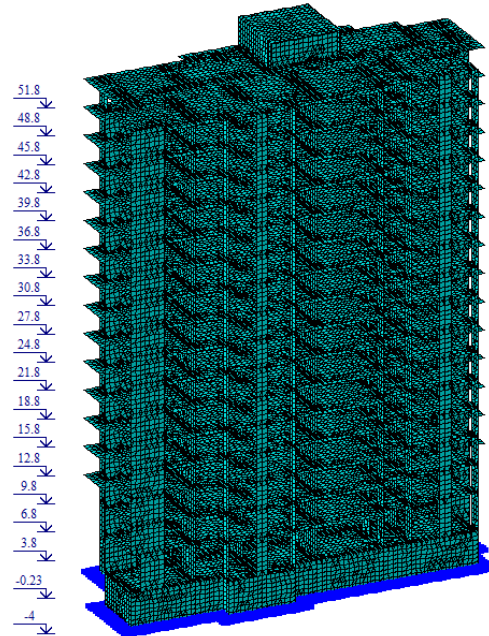


Рис. 1. Расчетная схема в ПК «ЛИРА»

При разработке пространственной расчетной модели все несущие элементы моделировались как пластинчатые конечные элементы с шестью степенями свободы на узлах. В исходной расчетной схеме учтены нагрузки: постоянные (вес строительных конструкций), временные нагрузки (полезная нагрузка, снеговая нагрузка с учетом снеговых мешков и ветровая нагрузка с учетом пульсации). Расчет был выполнен на основные статические и динамические нагрузки. Ветер и сейсмика учитывались в модуле «Динамика+».

В расчете основное внимание уделялось вертикальным конструкциям первого этажа, так как конструкции первого этажа передают перемещения фундамента, вызванные землетрясением, на верхние этажи здания и, соответственно, подвержены наибольшему воздействию.

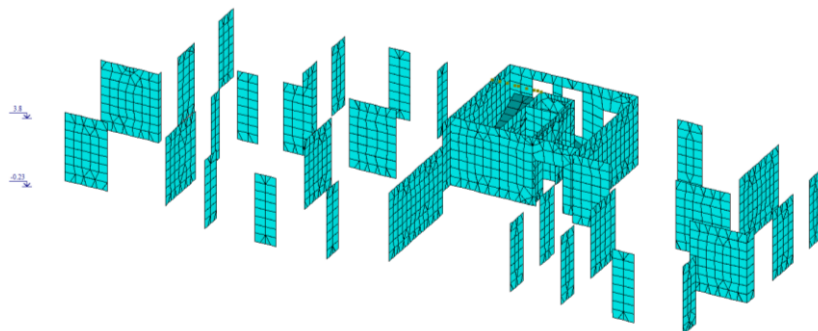


Рис. 2. Схема расположения вертикальных несущих конструкций типового этажа

Для анализа здания на прогрессирующее разрушение все несущие стены были предварительно пронумерованы (рис. 3). При анализе результатов расчета необходимо выявить

элементы с возможностью возникновения локального повреждения.

Расчет оптимально вести в табличной форме. Фактическое значение нагрузки на каждую стену взято из результатов расчета (рис. 4).

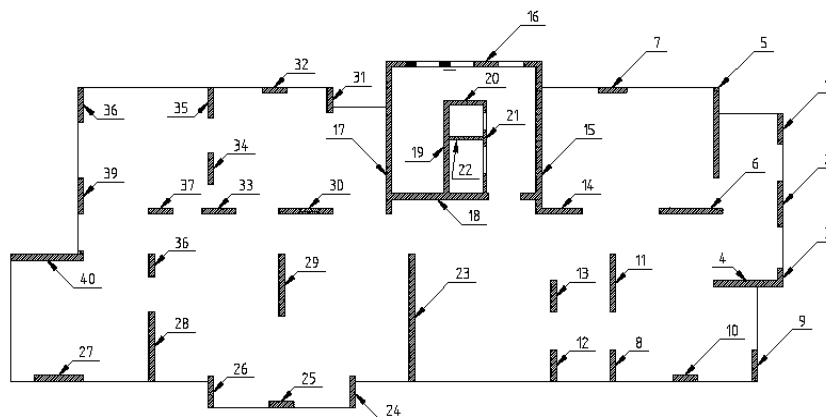


Рис. 3. Нумерация несущих стен первого этажа

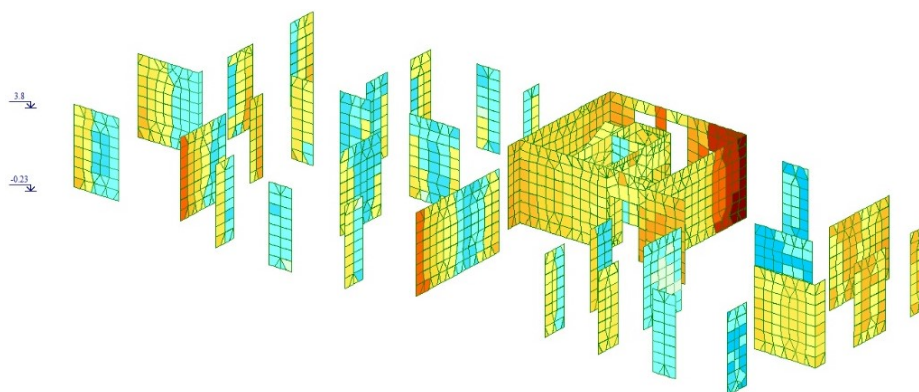


Рис. 4. Результаты расчета здания в уровне первого этажа

В результате анализа расчета, для стен первого этажа, в которых фактическая нагрузка оказалась больше несущей способности, была изменена жесткость несущих элементов путём уменьшения их толщины. После чего был выполнен новый расчёт с изменёнными жесткостными характеристиками. Также был выполнен перерасчёт предельной несущей способности для каждой стены.

Данный цикл операций выполнялся четыре раза, в результате чего было получено процентное

расхождение фактической нагрузки и несущей способности для каждой стены по каждому расчету. На рисунке 5 показаны несущие стены первого этажа с превышением в них допустимых внутренних усилий и дефицитом несущей способности.

На рисунке 6 приведены графики, на которых показано превышение фактической нагрузки над несущей способностью на каждом этапе расчёта.

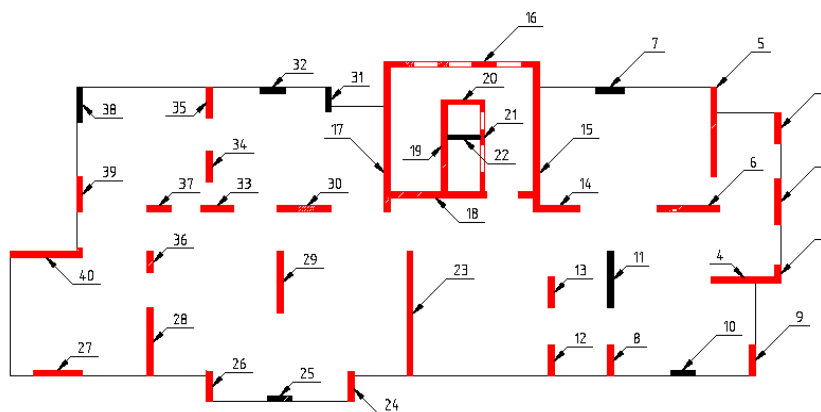


Рис. 5. Схема расположения стен с дефицитом несущей способности

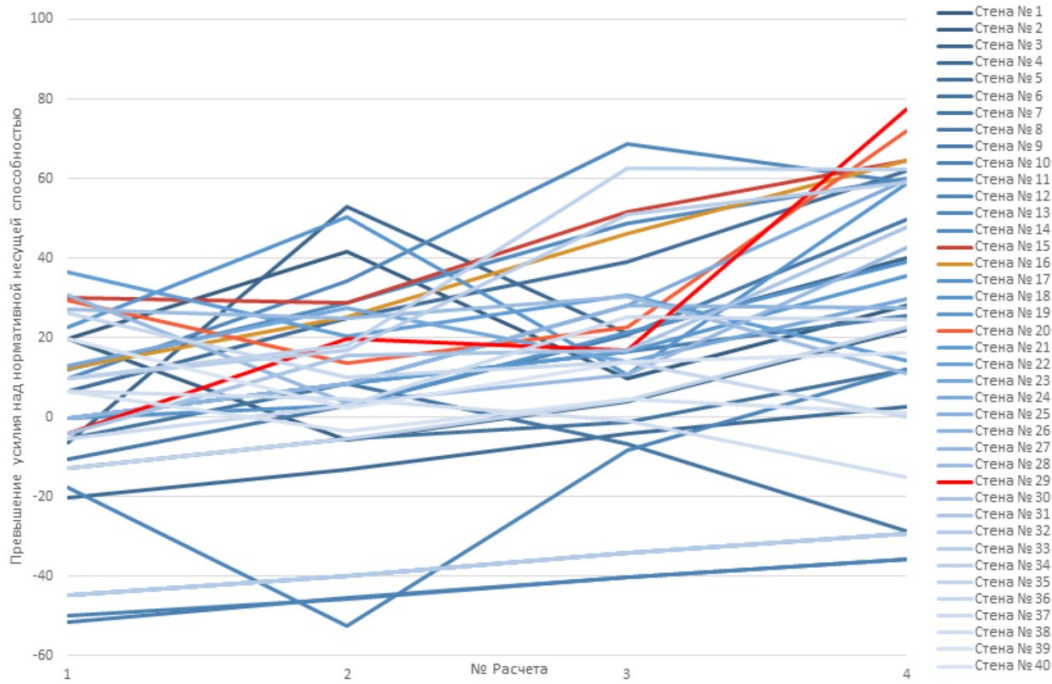


Рис. 6. Графики изменения несущей способности стен первого этажа

Анализируя графики, можно сделать вывод, что быстрее всего разрушится стена № 29 (рис. 7).

На следующем этапе расчёта из расчетной схемы была удалена стена 29 и добавлена нагрузка от неё на перекрытия.

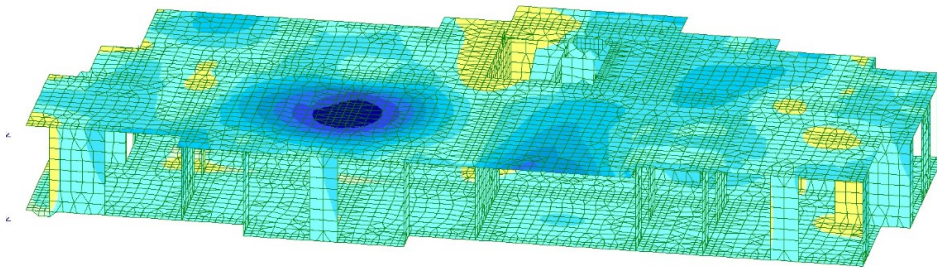


Рис. 7. Мозаика перемещений по оси Z после удаления стены № 29

В результате расчета было установлено, что перемещения и усилия в изменённой конструкции не являются критическими, поэтому необходимо продолжение расчёта. С этой целью из расчетной схемы была удалена стена № 20 (см. график на рис. 6) и выполнен новый расчёт, который также не показал критических изменений в характере распределения усилий и перемещений. На

последующих шагах были удалены из расчетной схемы стены 15 и 16.

Дальнейший расчёт на прогрессирующее обрушение не потребовался, так как после последовательного удаления стен № 29, 20, 15, 16 усилия и деформации в остальных конструкциях значительно превысили допустимые значения, что характеризует полное разрушение здания (рис. 8).

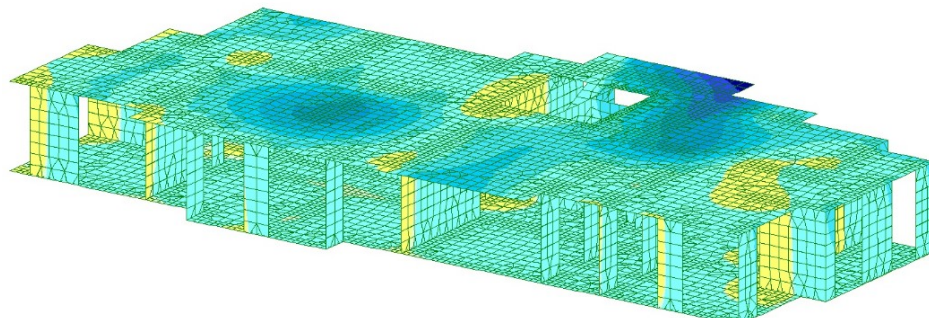


Рис. 8. Мозаика перемещений по оси Z после удаления стен 29, 20, 15 и 16

Заклучение

В результате проведённого исследования был выполнен анализ существующих практик решения задач живучести в вопросах поведения несущих конструкций здания после отказа их элементов при сейсмическом воздействии. Предложен алгоритм и представлен пример расчёта

многоэтажного здания стеновой конструктивной системы на прогрессирующее обрушение, демонстрирующий изменения напряжённо-деформированного состояния его несущих конструкций при последовательном отказе стен первого этажа. Показан процесс изменения несущей способности конструкций на каждом этапе расчёта.

Список литературы

1. Колчунов В.И. Некоторые проблемы живучести железобетонных конструктивных систем при аварийных воздействиях / В. И. Колчунов, Н. В. Федорова // Вестник НИЦ «Строительство». – 2018. – 1(16). – С. 115-119
2. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований.
3. СП-296.1325800.2017 Здания и сооружения. Особые воздействия.
4. СП-14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах
5. СП-385.1325800.2018 Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения.
6. Расчет строительных конструкций на прогрессирующее обрушение: нормативные требования / И. И. Ведяков, П. Г. Еремеев, П. Д. Одесский [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 4. – С. 16-24. – DOI 10.33622/0869-7019.2019.04.16-24.
7. Перельмутер А. В. Прогрессирующее обрушение и методология проектирования конструкций // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2004. № 6. С. 17–21.
8. Перельмутер А. В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. М. : Издательство АСВ, 2007. 256 с.
9. Воронкова, Г. В. Особенности реконструкции ферм покрытия с изменением расчетной схемы в условиях действующего предприятия / Г. В. Воронкова, Е. В. Гурова, Г. М. Карасев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2017. – № 48(67). – С. 27-37.
10. Мониторинг разрушения и обмеления водных объектов, берегоукрепительных сооружений в дельте реки Волги в рамках программы "Экология безопасного строительства" / Т. В. Золина, С. П. Стрелков, Н. В. Купчикова [и др.] // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2020. – Т. 47. – № 4. – С. 132-140. – DOI 10.21822/2073-6185-2020-47-4-132-140.
11. Расторгуев Б.С. Обеспечение живучести зданий при особых динамических воздействиях // Сейсмостойкое Строительство. Безопасность Сооружений, 2003, №4, С.45 -48.
12. Стрелецкий Н. С. Избранные труды / сост. Е. И. Беленя, Н. Н. Стрелецкий, Н. П. Мельников и др. ; под ред. Е. И. Беленя. М., Стройиздат, 1975. 422 с.
13. Алмазов В.О. Сопротивление прогрессирующему разрушению. Расчеты и конструктивные мероприятия. /В.О. Алмазов // Вестник ЦНИИСК 2009 б/н. С. 179-193.
14. Алмазов В.О. Динамика прогрессирующего обрушения монолитных многоэтажных каркасов: Монография / В.О. Алмазов, Као Зуй Кхой. – М.: Издательство АСВ, 2013.-128 с.
15. Алмазов В.О. Проблемы прогрессирующего разрушения / Алмазов В.О. // Строительство и реконструкция. Научно-технический журнал. 2014 № 6 (56). С. 3-11.
16. Мкртычев О.В., Райзер В.Д. Теория надежности в проектировании строительных конструкций. М. : Издательство АСВ, 2016. 908 с.
17. Лепешкина Д.О. Прогрессирующее обрушение в областях высокой сейсмической активности с применением PushoverAnalysis / Д.О. Лепешкина // Alfabuild 2017 № 2(2) С. 45-48.

© С. С. Рекунов, А. Ю. Косова, С. Ю. Иванов, И. С. Завьялов

Ссылка для цитирования:

Рекунов С. С., Косова А. Ю., Иванов С. Ю., Завьялов И. С. Расчёт многоэтажного здания на прогрессирующее обрушение при сейсмическом воздействии // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 3 (36). С. 15–20.

УДК 624.138

DOI 10.52684/2312-3702-2021-36-2-20-25

МЕТОДЫ ТЕРМИЧЕСКОГО УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ

К. Г. Кондрашин¹, В. Н. Пилипенко², Е. М. Голубничева¹

¹Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Россия;

²Астраханский государственный университет, г. Астрахань, Россия

В практике строительства на лёссах и лёссовых грунтах известны многочисленные случаи значительных и неравномерных осадок фундаментов зданий и сооружений вследствие способности просадочных грунтов значительно уменьшаться в объеме (уплотняться) при увлажнении, что вызывает опасные и часто аварийные деформации, а иногда и полное разрушение этих сооружений. Термические способы укрепления лёссовых грунтов позволяют полностью ликвидировать их просадочные свойства и одновременно повысить несущую способность грунтов на глубину до 10–15 м. В данной статье рассматриваются физико-химические реакции грунта при пиролизе углеводородов. Исследуются несколько применяемых методов, их положительные и отрицательные моменты, возможность комбинирования методов и применение различного сырья для пиролиза. Особое внимание уделено лёссовидным - просадочным грунтам.

Ключевые слова: термическое укрепление, лёссовидные грунты, процессы, способы.