

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич

Должность: ректор

Дата подписания: 11.06.2024 12:57:40

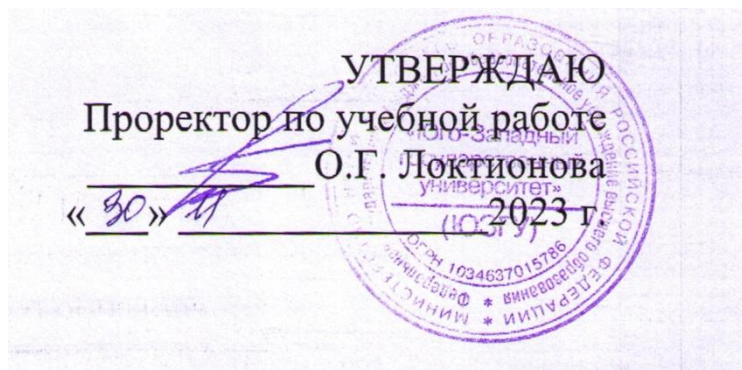
Уникальный программный ключ: Федеральное государственное бюджетное

9ba7d3e34c012eba476ffd2d064cf2781953be730df2374d16f3c0ce536f0f6

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра уникальных зданий и сооружений



ЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОТ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ОБРУШЕНИЯ

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине
«Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения»
для студентов направления подготовки 08.04.01
«Строительство», направленность (профиль) «Строительство
объектов тепловой и атомной энергетики»

УДК 69.07

Составитель: А.Г. Колесников

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *Осовских Е.В.*

Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения: методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения» для студентов направления подготовки 08.04.01 «Строительство», направленность (профиль) «Строительство объектов тепловой и атомной энергетики»/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.Г. Колесников. - Курск, 2023.- 29 с. - Библиогр.: с. 29.

Методические указания содержат основные сведения о методике расчета зданий и сооружений на прогрессирующее разрушение. Приводится пример расчета на прогрессирующее обрушение конструкций жилого многоэтажного здания.

Предназначены для студентов направления подготовки 08.04.01 «Строительство», направленность (профиль) «Строительство объектов тепловой и атомной энергетики».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать

формат 60x84 1/16

Усл. Печ. Лист 1,69. Уч.-изд.л. 1,53. Тираж 100 экз. Заказ

Бесплатно

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

СОДЕРЖАНИЕ

1 Общие требования.....	4
2 Расчет панельного жилого дома.....	6
2.1 Общие сведения о конструктивном решении.....	6
2.2 Проверка ячеек выбранных схем локальных разрушений на четыре механизма прогрессирующего обрушения.....	7
2.3 Исходные данные для расчета.....	10
2.4 Несущая способность отдельных конструктивных элементов.....	11
2.5 Проверка защиты от прогрессирующего обрушения конструкций типового этажа.....	14
2.6 Локальное разрушение по схеме №1.....	16
2.6.1 Оценка возможности возникновения механизма прогрессирующего обрушения первого типа.....	16
2.6.2 Оценка возможности возникновения механизма прогрессирующего обрушения второго типа.....	16
2.6.3 Оценка возможности возникновения механизма прогрессирующего обрушения третьего типа.....	17
2.7 Оценка возможности возникновения механизма прогрессирующего обрушения четвертого типа.....	20
2.8 Дополнительная проверка прочности сохранившихся стен вокруг локального разрушения конструкций при перераспределении усилий.....	22
Библиографический список.....	29

1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Здания и сооружения в зависимости от уровня ответственности должны быть защищены от прогрессирующего обрушения при локальном разрушении. Для этого необходимо обеспечить несущую способность как конструктивной системы сооружения в целом, так и отдельных элементов в зоне локального разрушения. По требованию заказчика в задании на проектирование (в дополнение к необходимым требованиям по несущей способности) допускается установление дополнительных требований.

При реконструкции зданий или сооружений по результатам обследования технического состояния в соответствии с ГОСТ 31937 в целях обеспечения их защиты от прогрессирующего обрушения проектирование следует выполнять для здания или сооружения в целом или самостоятельного конструктивного блока в частях, ограниченных деформационными швами, в границах которых проводят реконструкцию.

При капитальном ремонте проектирование защиты от прогрессирующего обрушения требуется для зданий и сооружений повышенного уровня ответственности в случаях, если предусматриваются замена отдельных элементов несущих строительных конструкций на аналогичные или иные улучшающие показатели таких конструкций элементы и/или восстановление указанных элементов. При капитальном ремонте для зданий и сооружений нормального уровня ответственности допускается выполнять проектирование защиты от прогрессирующего обрушения в соответствии с заданием на проектирование.

При техническом перевооружении опасного производственного объекта, осуществляемом одновременно с его реконструкцией, необходимо обеспечить устойчивость к прогрессирующему обрушению для здания или сооружения в целом или для самостоятельного конструктивного блока в частях, ограниченных деформационными швами, в границах которых проводят техническое перевооружение.

Защита сооружения от прогрессирующего обрушения обеспечена, если для любых элементов и их соединений соблюдается условие элементов и их соединений.

Конструкции, для которых требования по несущей способности не удовлетворяются, необходимо усилить, либо следует принять

другие меры, повышающие сопротивление конструкций прогрессирующему обрушению.

При расчете несущих конструкций одного (любого) этажа здания и сооружения зону локального разрушения определяют кругом площадью не менее 28 м^2 (диаметр 6,0 м) для зданий и сооружений

- при высоте до 75 м, не менее 80 м^2 (диаметр 10 м) для зданий и сооружений высотой от 75 до 200 м и

- не менее 100 м^2 (диаметр 11,5 м) для зданий и сооружений высотой более 200 м:

- пересекающихся стен на участках от места их пересечения (в частности, от угла здания) до ближайшего проема в каждой стене или до следующего вертикального стыка со стеной другого направления или на участке указанного размера (при размещении центра круга в месте пересечения стен);

- отдельно стоящей стены от края до ближайшего проема или на участке указанного размера (при размещении центра круга в центре тяжести сечения стены);

- колонн (пилонов), ядер жесткости или колонн (пилонов) с примыкающими к ним участками стен, расположенных на участке указанного размера [при размещении центра круга в центре тяжести сечения одной из колонн (пилон)].

В одноэтажных производственных зданиях следует рассматривать разрушение или удаление несущей конструкции на участке двух смежных шагов в однопролетных зданиях и смежных пролетах многопролетных зданий.

Для большепролетных зданий и сооружений в качестве локального разрушения следует рассматривать разрушение (удаление) одного из несущих элементов, в других случаях — согласно заданию на проектирование в зависимости от типа сооружения, но не менее одного из несущих элементов.

Зона локального разрушения может располагаться в любом месте сооружения и не должна приводить к прогрессирующему обрушению всего сооружения.

Для оценки устойчивости зданий и сооружений против прогрессирующего обрушения следует рассматривать наиболее опасные локальные разрушения щиту зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения необходимо обеспечивать наиболее рациональными средствами:

- при разработке архитектурно-планировочных решений следует учитывать возможность возникновения локального разрушения в результате аварийного воздействия;

- в многоэтажных зданиях и сооружениях применяют конструктивные меры, повышающие степень статической неопределимости конструкции (повышение неразрезности конструкции, уменьшение числа шарнирных соединений и пр.);

- применяют материалы и конструктивные решения, обеспечивающие развитие в конструктивных элементах и их соединениях пластических деформаций.

2 РАСЧЕТ ПАНЕЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА

2.1 Общие сведения о конструктивном решении

Рассматривается двухсекционный жилой дом. Конструктивная схема секций - перекрестно-стеновая с поперечными и продольными внутренними несущими стенами. Высота техподполья 3,0 м, первого этажа - 3,3 м, типового этажа - 2,8 м. В местах понижения отметок высота техподполья - переменная до 3,7 м. Внутренние стены: - техническое подполье - сборные бетонные панели как горизонтального формования, так и кассетного производства, из бетона класса В30 толщиной 140 мм, 180 мм, 220 и 260 мм; - первый этаж - сборные бетонные панели как горизонтального формования, так и кассетного производства, из бетона класса В22,5 и В30 толщиной 140 мм, 180 мм и 220 мм; - типовые этажи - сборные бетонные панели как горизонтального формования, так и кассетного производства, из бетона класса В22,5 и В30 толщиной 140 мм, 180 мм и 220 мм. Высота перемычек над проемами во внутренних стеновых панелях типового этажа - 560 мм. Панели перекрытий - плоские железобетонные плиты толщиной 140 мм из бетона класса В20 (в зоне ЛЛУ и коридора - В22,5). Ограждающие конструкции: - техническое подполье - самонесущие трехслойные железобетонные панели толщиной 310, 350 и 390 мм из бетона класса В22,5 с утеплителем из ПСБ; - 1-17 этажи - навесные (с индексом «НП» для 1-го этажа и «Н» - для типового) трехслойные железобетонные панели толщиной 280 мм, 310 мм, 350 мм, 390 мм из бетона класса В22,5 с утеплителем из ПСБ. Перегородки высотой 3,11 м для первого этажа и 2,62 м для типовых этажей из бетона класса В 15. Горизонтальные стыки - платформенные (контактные в уровне низа

технического подполья) на цементном растворе марки М200 толщиной растворных швов 10 и 20 мм.

2.2 Проверка ячеек выбранных схем локальных разрушений на четыре механизма прогрессирующего обрушения

Расчет будем вести кинематическим методом предельного равновесия с одновременным анализом конструктивных условий, необходимых для обеспечения пластичного поведения конструкций в предельном состоянии.

Расчет на заданную эксплуатационную нагрузку и особое аварийное воздействие, т.е. воздействие гипотетических локальных разрушений несущих конструкций ведется по первичной и вторичной расчетным схемам. Гипотетические локальные разрушения несущих конструкций учитываются так, что расчетная модель конструктивной системы здания рассматривается в нескольких вариантах, каждый из которых соответствует одному из возможных локальных разрушений конструкций.

В соответствии с указанным алгоритмом защита от прогрессирующего обрушения сводится к следующим частным задачам:

а) назначение схем расчетных локальных разрушений несущих конструкций здания;

б) анализ сопротивления прогрессирующему обрушению отдельных конструктивных элементов, потерявших опору в результате локального разрушения: плит перекрытия, внутренних стеновых панелей, конструктивных элементов лоджий;

в) анализ возможных механизмов прогрессирующего обрушения при каждом из заданных расчетных локальных разрушений и определение количества и мощности различного типа связей между сборными элементами, необходимых для обеспечения устойчивости здания.

В качестве расчетных схем рассматривается разрушение (удаление) участка внутренней стены от фасада до ближайшего проема в ней или (если проем отсутствует) до следующего вертикального стыка с несущей стеной перпендикулярного направления, а также примыкающих простенков наружных стен одного этажа.

Конструкции, потерявшие опору, образуют пространственную консольную систему, для которой расположение локального

разрушения по высоте здания в общем случае не имеет значения: «каждый этаж должен нести сам себя». Расчетная модель конструкций, потерявших опору в результате локального разрушения, состоит в общем случае из пластинчатых элементов, соединенных между собой и с неповрежденными конструкциями здания связями, моделирующими реальные сварные металлические или растворные узлы.

При каждом выбранном локальном разрушении рассматриваются следующие механизмы прогрессирующего обрушения и проверяется условие равновесия

$$F < S, \quad (1)$$

где F , S - соответственно работы внутренних сил (S_i) и внешних нагрузок (G_i) на возможных перемещениях рассматриваемого механизма:

$$F = \sum S_i w_i, \quad (2)$$

$$S = \sum G_i u_i. \quad (3)$$

Механизм прогрессирующего обрушения первого типа характеризуется одновременным поступательным смещением вниз всех внутренних стеновых панелей (или отдельных их частей), расположенных над локальным разрушением. Такое смещение возможно при разрушении связей сдвига между продольными и поперечными внутренними стеновыми панелями или при разрушении надпроемных перемычек и плит перекрытия. Поскольку в рассматриваемых блок-секциях плиты перекрытия заведены под продольные и поперечные стены (платформенный стык) и образуют практически неразрушимую связь сдвига, в расчете механизм прогрессирующего обрушения первого типа рассматривается только для схем, где несущая поперечная стена ослаблена проемом.

Механизм прогрессирующего обрушения второго типа характеризуется одновременным поворотом каждой внутренней стеновой панели, расположенной над локальным разрушением, вокруг своего мгновенного центра вращения. При этом разрушаются растянутые связи этих панелей с неповрежденной стеновой панелью S_2 и связи сдвига S_3 (см. рисунок 1) с плитами перекрытия, расположенными над и под рассматриваемой стеновой панелью.

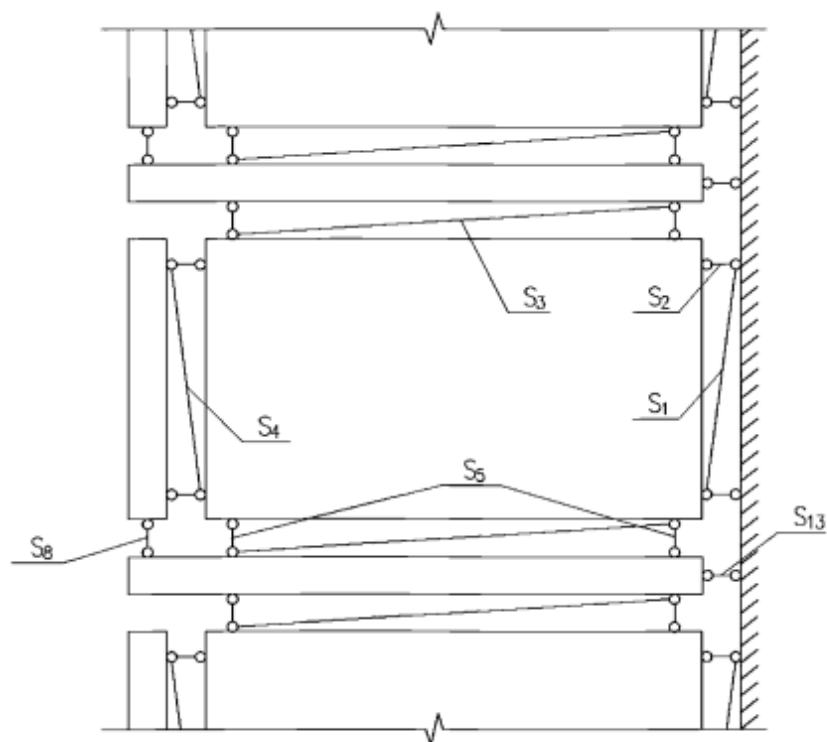


Рисунок 1 - Расчетная схема с обозначением связей

Работа связей сдвига S_3 обеспечивается платформенным стыком, обжатый этими связями. Конструкция связей (в случае, если они необходимы по расчету) рассчитывается на вертикальную растягивающую силу, равную по величине S_3 , но не менее 50 кН (на каждую связь) и не менее веса стеновой панели, деленному на количество связей по длине панели.

Механизм прогрессирующего обрушения третьего типа характеризуется обрушением одних лишь плит перекрытия, расположенных непосредственно над локальным разрушением, и конструкций, теряющих при этом опору. При этом могут разрушаться растянутые связи S_5 между плитами перекрытия и внутренней стеновой панелью над ними и между плитами перекрытия и наружной стеновой панелью над ними.

Механизм прогрессирующего обрушения четвертого типа характеризуется перемещением конструкций лишь одного этажа, расположенного непосредственно над локальным разрушением. Этот механизм предполагает сочетание поступательного перемещения поперечной стеновой панели (как в первом механизме) с изломом плит перекрытия, характерным для третьего механизма. Поскольку в рассматриваемых блок - секциях плиты перекрытия заведены под продольные и поперечные внутренние стеновые панели

(платформенный стык) и образуют практически неразрушимую связь сдвига, в расчете механизм прогрессирующего обрушения четвертого типа рассматривается только для схем, где несущая поперечная стеновая панель ослаблена проемом. При этом разрушаются растянутые связи S_5 и S_6 между стеной и плитами перекрытия под и над ней соответственно.

2.3 Исходные данные для расчета

На рисунке 2 приведен план расположения конструкций типового этажа жилого дома с указанием мест локальных разрушений. Для примера рассмотрено два варианта локального разрушения. Веса наружных и внутренних стеновых панелей приведены в таблицах 1 и 2. Нормативные нагрузки на плиты перекрытия типового этажа приняты в соответствии с СП 20.13330 и указаны в таблице 3.

Таблица 1 - Вес наружных стеновых панелей

Изделия	Длина, м	Вес 1 п.м., кН/м	Вес изделия, кН
H7231-330	7,19	8,51	61,20
H7235-335	7,19	7,98	57,40
ИЗ 631-04	3,58	11,28	40,4

Таблица 2 - Вес внутренних стеновых панелей

Изделие	Толщина, м	Участок панели	Высота, м	Вес, кН/м пог. м.
Внутренняя стеновая панель	0,18	Простенок	2,63	11,84
		Перемычка	0,56	2,52
	0,22	Простенок	2,63	14,47
		Перемычка	0,56	3,08

Расчет проводится на особое сочетание нагрузок, включающее постоянные нагрузки (собственный вес и вес пола) с коэффициентом надежности по нагрузке, равным 1, и кратковременные нагрузки с коэффициентом надежности по нагрузке, в соответствии с СП 20.13330, равным 0,5.

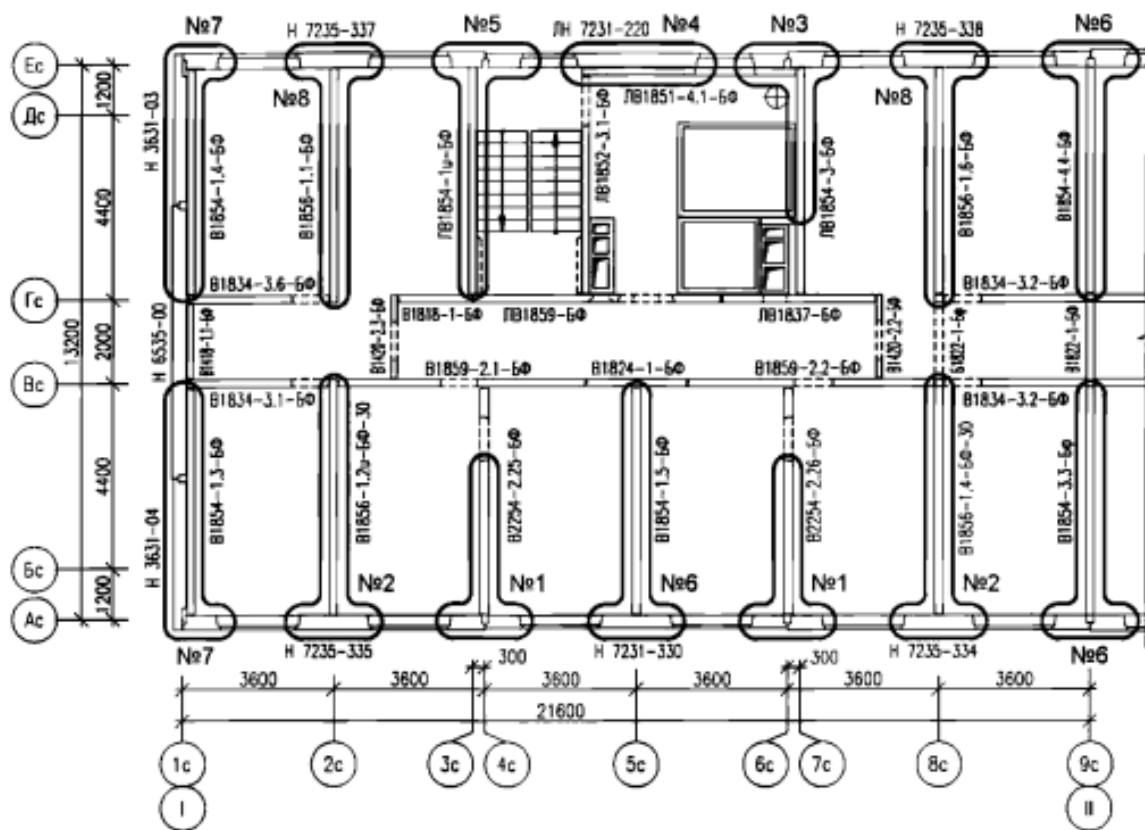


Рисунок 2 - План расположения стен с указанием мест локальных разрушений

Таблица 3 - Нормативные нагрузки на плиты перекрытия типового этажа

Плиты перекрытия	Нагрузки			Всего(q) кН/м ²
	Постоянная		Временная	
Перекрытие в квартире с полом	собственный вес (g) кН/м ²	вес пола (g) кН/м ²	кратковр. (q _i) кН/м ²	5,10
	3,50	1,00	0,75	

2.4 Несущая способность отдельных конструктивных элементов

Расчетные характеристики материалов определены в соответствии с методикой расчета и приведены в таблице 4.

Наружные стены. В расчете учитывалось сопротивление только внутреннего бетонного слоя трехслойных панелей. Армирование перемычек наружных стен и их несущая способность по изгибу приведены в таблице 5.

Таблица 4 - Расчетные характеристики материалов

Класс	Вид нагружения	Коэффициент надежности по материалу	Коэффициент условий работы	Нормативное сопротивление МПа	Расчетное сопротивление МПа
Бетон					
B22.5	сжатие	1.00	1.25×1.15×0.8 5	16.75	20.47
	растяжение	1.00		1.45	1.77
B20	сжатие	1.00	1.25×1.15×0.8 5	15.00	18.33
	растяжение	1.00		1.35	1.65
Арматура					
A400	растяжение	1.00	1.1	400	440.00
B500		1.00		500	550.00

Таблица 5 - Несущая способность по изгибу перемычек наружных и внутренних стеновых панелей

Зона растяжения	Высота сечения, мм	Растянутая арматура	Расстояние до ц.т. арматуры а, мм	Предельный изгибающий момент, кН*м
Наружные стеновые панели				
Н 7235-335, Н 7231-330				
Перемычка под оконным проемом				
вверху	533	1Ø4B500	30	3.46
вверху	533	1Ø4B500	100	2.98
вверху	533	1Ø4B500	200	2.29
внизу	533	1Ø4B500	185	2.39
внизу	533	1Ø4B500	35	3.43
Перемычка над оконным проемом				
вверху	410	1Ø10A400	25	12.93
вверху	410	1Ø10A400	145	8.79
внизу	410	1Ø10A400	183.5	7.46
внизу	410	1Ø10A400	23.5	12.99
Внутренние стеновые панели				
B2254-2.25-Бф				
Перемычка над дверным проемом				
вверху	560	2Ø12A400	55	49.14
вверху	560	2Ø12A400	130	29.17
внизу	560	2Ø12A400	120	29.87
внизу	560	2Ø12A400	55	49.14

В таблице 6 определена работа внутренних сил наружных стеновых панелей при перемещении края на $w = 1$.

Таблица 6 - Работа внутренних сил наружных и внутренних стеновых панелей при перемещении на $w=1$

Тип	Марка панели	Перемычка над оконным проемом		Перемычка под оконным проемом		Перемычка над дверным проемом		Ширина проема		Работа		
		M'_{sup}	M''_{sup}	M'_{inf}	M''_{inf}	M'_{sup}	M''_{sup}			b_{sup}	b_{inf}	Верхняя перемычка
		W_{sup}	W_{inf}	W								
1	H7235-335	21,72	20,44	8,72	5,82			1,95	1,95	21,58	7,46	29,03
	H7231-330	21,72	20,44	8,72	5,82			1,95	1,95	21,62	7,46	29,08
	B2254-2.25-Бф					78,31	79,00	1,00	1,00	157,31		157,3
2	H7235-335	21,72	20,44	8,72	5,82			1,95	1,95	21,58	7,46	29,03
	H7231-330	21,72	20,44	8,72	5,82			1,95	1,95	21,62	7,46	29,08
	B2254-2.25-Бф					78,31		1,00	1,00	78,31		78,31
4	B2254-2.25-Бф					78,31	79,00	1,00	1,00	157,31		157,31

Плиты перекрытия запроектированы на работу при опирании по трем сторонам. Несущая способность сечений плит перекрытия по изгибу была определена при растяжении нижних (верхних) волокон при изгибе в плоскости параллельной фасаду $m_1(m_1)$ и перпендикулярной ему $m_2(m_2)$. Армирование и несущая способность плит перекрытия приведены в таблице 7.

Наиболее вероятные механизмы разрушения плит перекрытия при прогрессирующем обрушении показаны ниже для каждой из схем (см. рисунки 3 - 6).

Пластический шарнир с растяжением верхней зоны обозначен сплошной линией, с растяжением нижней зоны - пунктирной. На плане указаны перемещения отдельных точек перекрытия, используемые в расчете. Учитывая величины предельных моментов и геометрию примыкающих внутренних стеновых панелей вычислялась величина работы внутренних сил на перемещениях плит перекрытия F_p в зависимости от типа механизма прогрессирующего обрушения.

Таблица 7 - Армирование и несущая способность по изгибу плит перекрытия

Марка плиты	Размеры		Армирование				Несущая способность по изгибу			
	L, м	l, м	F1	F2	F1'	F2'	m1, кНм/м	m2, кНм/м	m1', кНм/м	m2', кНм/м
ПЗ656-26-Бф, ПЗ656-25-Бф	5.59	3.58	14Ø12АШ+ 48Ø5Вр1	2Ø12АШ + 2Ø5Вр1+ 14Ø4Вр1	2Ø6 АШ + 7Ø4Вр1	2Ø10АШ + 9Ø5Вр1	24.78	7.20	1.57	5.51
ПЗ656-224- Бф	5.59	3.58	16Ø12АШ+ 48Ø5Вр1	4Ø12АШ + 105Вр1+ 14Ø4Вр1	2Ø6 АШ + 10Ø4Вр1	2Ø10АШ+ 9Ø5Вр1	26.70	10.07	2.01	5.51

2.5 Проверка защиты от прогрессирующего обрушения конструкций типового этажа

Представленный ниже расчет выполнялся без учета работы металлических связей даже в тех случаях, когда они предусмотрены в проекте. В случае необходимости применения связей для каждой рассмотренной схемы локального разрушения определялись усилия, которые должны восприниматься этими связями.

Работа внутренних сил плит перекрытия F_p приведена в таблице 8. В таблице 9 вычисляется работа внешних сил на перемещениях плит перекрытия типового этажа.

Таблица 8 - Работа внутренних сил на перемещение плит перекрытия

Схема	Механизм	Плита	Геометрические характеристики					Перемещение	Работа		
			L, м	l, м	e, м	s, м	d, м		w	F _p , кН	F _{p, бор} , кН
1	1	ПЗ656-26-Бф	5,59	3,58	0,8	0,8	1,97	1	41,36	19,83	61,19
		ПЗ656-224-БФ						1	53,35	22,38	75,72
	2	ПЗ656-26-Бф						1	5,72	19,62	25,33
		ПЗ656-224-БФ						1	6,56	22,25	28,81
	3	ПЗ656-26-Бф						1	5,68		5,68
		ПЗ656-224-БФ						1	5,85		5,85
	4	ПЗ656-26-Бф						4,62	26,71		26,71
		ПЗ656-224-БФ						4,62	29,60		29,60
7	3	ПЗ656-25-БФ					1	3,95		3,95	

Таблица 9 - Работа внешних сил на перемещение плит перекрытия

Схема	Механизм	Марка плиты	q, кН/м ²	A, м ²	a	b	c	Si, кН	S, кН	Формула
1	1	ПЗ656-26-БФ	5,10	1,88	0,00	0,00	1,00	3,20	36,74	qA(a+b+c)/3
				13,15	0,50	0,50	0,50	33,54		
		ПЗ656-224-БФ		1,79	0,00	0,00	1,00	3,04	36,58	
				13,15	0,50	0,50	0,50	33,54		
	2	ПЗ656-26-БФ		5,85	0,00	0,00	0,84	8,36	10,18	
				0,85	0,00	0,84	1,00	2,66		
				0,38	0,84	1,00	1,00	1,83		
		ПЗ656-224-БФ		5,66	0,00	0,00	0,83	7,99	9,86	
				0,89	0,00	0,83	1,00	2,77		
				0,39	0,83	1,00	1,00	1,87		
	3	ПЗ656-26-БФ		7,08	0,00	0,00	1,00	12,04	12,04	
		ПЗ656-224-БФ		6,94	0,00	0,00	1,00	11,80	11,80	
4	ПЗ656-26-БФ	7,08	0,00	0,00	4,62	55,61	55,61			
	ПЗ656-224-БФ	6,94	0,00	0,00	4,62	54,50	54,50			
7	3	ПЗ656-25-БФ		8,48	0,00	0,00	1,00	14,41	14,41	

2.6 Локальное разрушение по схеме №1

Рассматривается обрушение конструктивной ячейки в осях «2с-5с» и «Ас-Вс» *i*-го (любого кроме последнего) этажа. Первично разрушается простенок внутренней стеновой панели В2254-2.25-Бф по оси «4с» от наружных стеновых панелей до дверного проема и примыкающие к нему простенки наружных стеновых панелей Н 7235-335 и Н 7231-330 по оси «Ас». Проверяется невозможность обрушения зависших над локальным разрушением плит перекрытия и стеновых панелей.

2.6.1 Оценка возможности возникновения механизма прогрессирующего обрушения первого типа

Схема возможного обрушения приведена на рисунке 3. Участок внутренней стеновой панели В2254-2.25-Бф от наружных стеновых панелей до дверного проема с примыкающими к ней простенками наружных стеновых панелей Н7235-335 и Н7231-330 постепенно смещается вниз вместе с краями плит перекрытия. При этом перемычки внутренней стеновой панели и наружных стеновых панелей разрушаются с образованием двух пластических шарниров каждая. В плитах перекрытия образуются пластические шарниры с растяжением верхней и нижней зоны. Работа внутренних сил определена в таблице 8, внешних сил - в таблице 9. В таблице 10 выполнены проверки защиты от прогрессирующего обрушения конструкций.

Условие защиты от прогрессирующего обрушения выполнено, $F > S$.

2.6.2 Оценка возможности возникновения механизма прогрессирующего обрушения второго типа

Схема возможного обрушения приведена на рисунке 3. Внутренняя стеновая панель В2254-2.25-Бф разрушается по перемычке с возникновением одного верхнего пластического шарнира. Мгновенным центром вращения внутренней панели является сжатая фибра ее перемычки. Наружные стеновые панели Н7235-335 и Н7231-330 ломаются по перемычке, и их простенки перемещаются вниз. В плите перекрытия образуются пластические шарниры с растяжением верхней и нижней зоны. Работа внутренних сил определена в таблице 8, внешних сил - в таблице 9.

Таблица 10 - Проверка условия защиты от прогрессирующего обрушения по схеме №1. Механизм Прогрессирующего обрушения первого типа

Конструктивный элемент	Работа внутренних сил			Работа внешних сил			R=F-S, кН
	Прочность, S	Перемещение, w	Работа, F, кН	Нагрузка, G, кН	Перемещение, u	Работа, S, кН	
H7235-335	157,31	1,0	29,03	30,60	0,50	15,30	13,73
H7231-330			29,08	28,70	0,50	14,35	14,73
B2254- 2.25-Бф			157,31	57,90	1,00	57,90	99,41
ПЗ656-26- Бф			61,19			36,74	24,45
ПЗ656- 224-Бф			75,72			36,58	39,14
ВСЕГО			352,34			160,87	191,47

Условие защиты от прогрессирующего обрушения выполнено, $F > S$.

В таблице 11 выполнены проверки защиты от прогрессирующего обрушения конструкций.

Таблица 11 - Проверка условия защиты от прогрессирующего обрушения по схеме №1. Механизм прогрессирующего обрушения второго типа

Конструктивный элемент	Работа внутренних сил			Работа внешних сил			R=F-S, кН
	Прочность, S	Перемещение, w	Работа, F, кН	Нагрузка, G, кН	Перемещение, u	Работа, S, кН	
H7235-335	78,31	1,00	29,03	30,60	0,50	15,30	13,73
H7231-330			29,08	28,70	0,50	14,35	14,73
B2254- 2.25-Бф			157,31	57,90	1,00	57,90	99,41
ПЗ656-26- Бф			61,19			36,74	24,45
ПЗ656- 224-Бф			75,72			36,58	39,14
ВСЕГО			352,34			160,87	191,47

Условие защиты от прогрессирующего обрушения выполнено, $F > S$.

2.6.3 Оценка возможности возникновения механизма прогрессирующего обрушения третьего типа

Происходит обрушение только плит перекрытия, расположенных над локальным разрушением. В плитах перекрытия образуются пластические шарниры с растяжением верхней зоны.

Схема возможного обрушения приведена на рисунке 6. Работа внутренних сил определена в таблице 8, внешних сил - в таблице 9.

В таблице 12 выполнена проверка обеспеченности защиты конструкций.

Таблица 12 - Проверка условия защиты от прогрессирующего обрушения по схеме №1. Механизм прогрессирующего обрушения третьего типа

Конструктивный элемент	Работа внутренних сил			Работа внешних сил			R=F-S, кН
	Прочность, S	Перемещение, w	Работа, F, кН	Нагрузка, G, кН	Перемещение, u	Работа, S, кН	
ПЗ656-26- Бф			5,68			12,04	-6,36
ПЗ656- 224-Бф			5,85			11,80	-5,95

Условие защиты от прогрессирующего обрушения нарушено, $F < S$.

$S_s = 7,31$ кН в углу плиты ПЗ656-26 Бф на пересечении осей «4с» и «Ас»; $S_s = 6,84$ кН в углу плиты ПЗ656-224 Бф на пересечении осей «4с» и «Ас».

Условие защиты от прогрессирующего обрушения против прогрессирующего обрушения нарушено, $F < S$. Необходимо установить связь растяжения $S = 7,31$ кН между плитой перекрытия ПЗ656-26-БФ и наружной стеновой панелью и связь растяжения $S = 6,84$ кН между плитой перекрытия ПЗ656-224-БФ и наружной стеновой панелью в углах плит перекрытия на пересечении осей «Ас» и «4с» на расстоянии не более 400 мм от края плит.

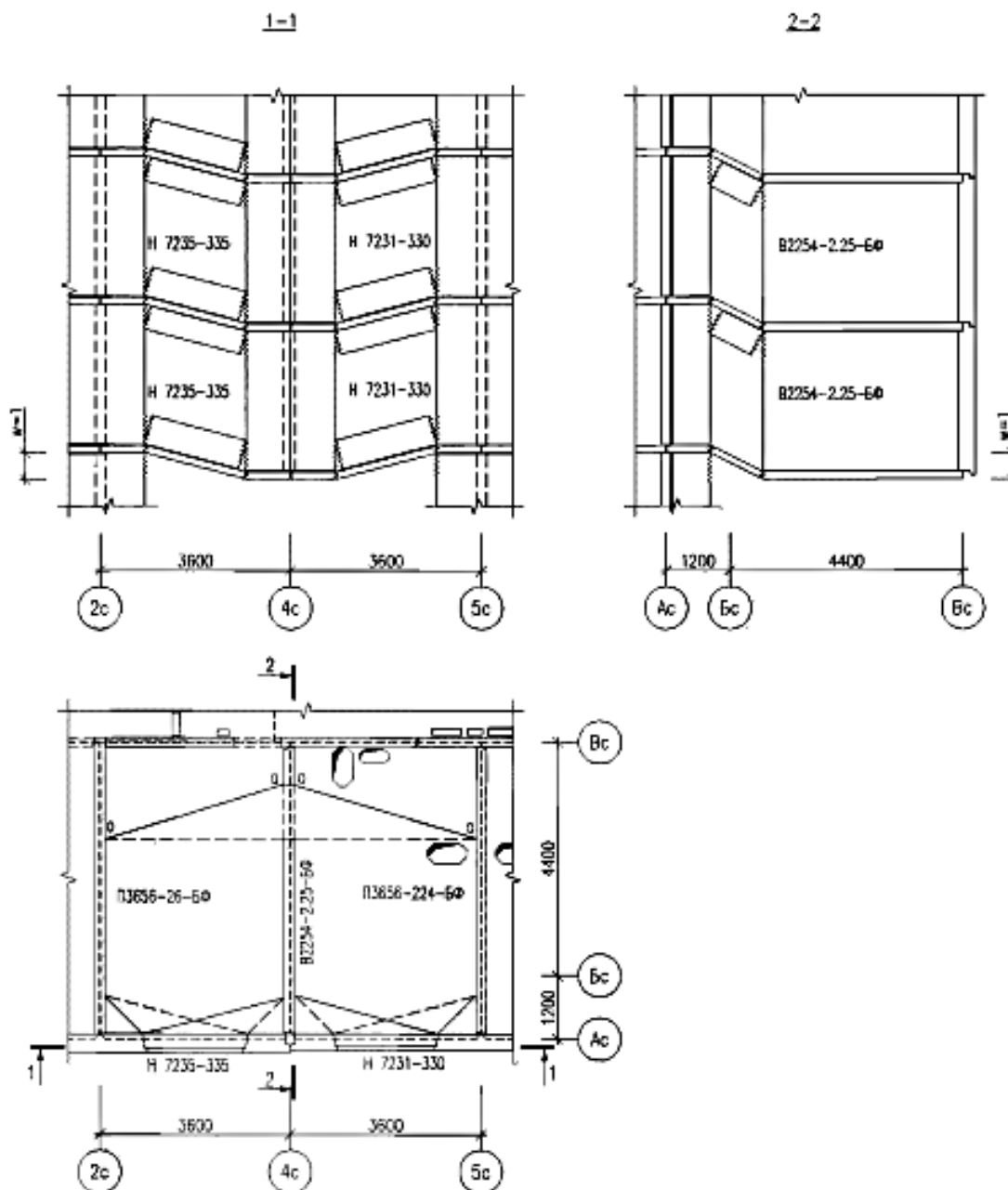


Рисунок 3 - Схема №1. Механизм прогрессирующего обрушения первого типа

Чтобы была обеспечена работа плит перекрытия по второму механизму и их разрушение происходило в краевой зоне с образованием уже рассмотренных шарниров, необходимо, чтобы внутренняя работа плит в краевой зоне второго механизма была меньше, чем работа поставленных связей растяжения на единичном перемещении.

Для этого необходимо увеличить значение связей до следующих величин: $S = 20\text{кН}$ между плитой перекрытия П3656-26-БФ и наружной стеновой панелью и связь растяжения $S = 23\text{ кН}$ между плитой перекрытия П3656-224-БФ и наружной стеновой панелью в углах плит перекрытия на пересечении осей «Ас» и «4с».

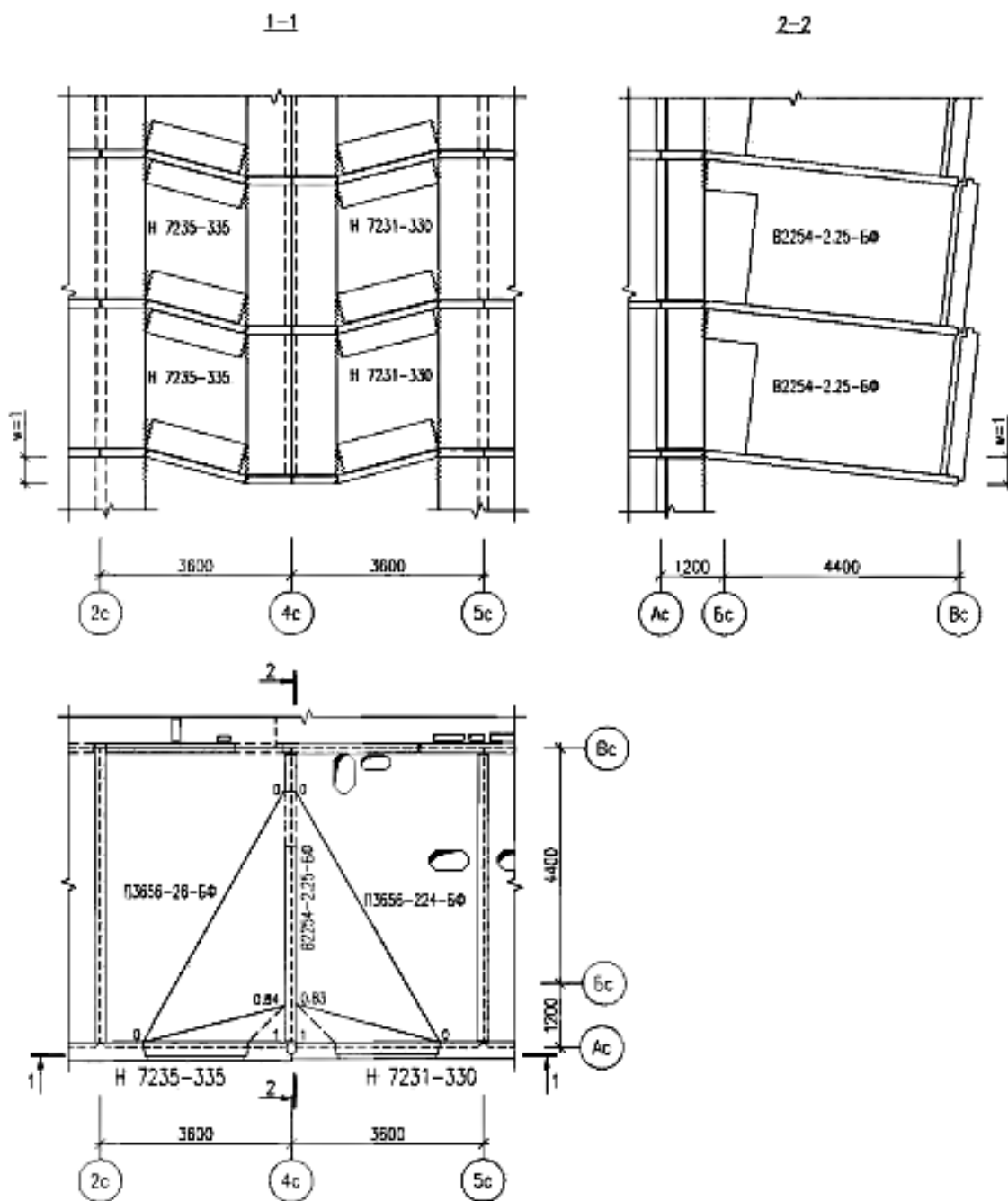


Рисунок 4 - Схема №1. Механизм прогрессирующего обрушения второго типа

2.7 Оценка возможности возникновения механизма прогрессирующего обрушения четвертого типа

Участок внутренней стеновой панели B2254-2.25-Бф от наружных стеновых панелей до дверного проема постепенно смещается вниз, при этом перемычка внутренней стеновой панели разрушается с образованием двух пластических шарниров. В плитах

перекрытия образуются пластические шарниры с растяжением верхней зоны. Схема возможного обрушения приведена на рисунке 5.

Поскольку внутренняя стеновая панель В2254-2.25-Бф при разрушении по первому механизму «держит себя», а плиты перекрытия защищены от обрушения с помощью установки связей растяжения S, механизм прогрессирующего обрушения четвертого типа невозможен.

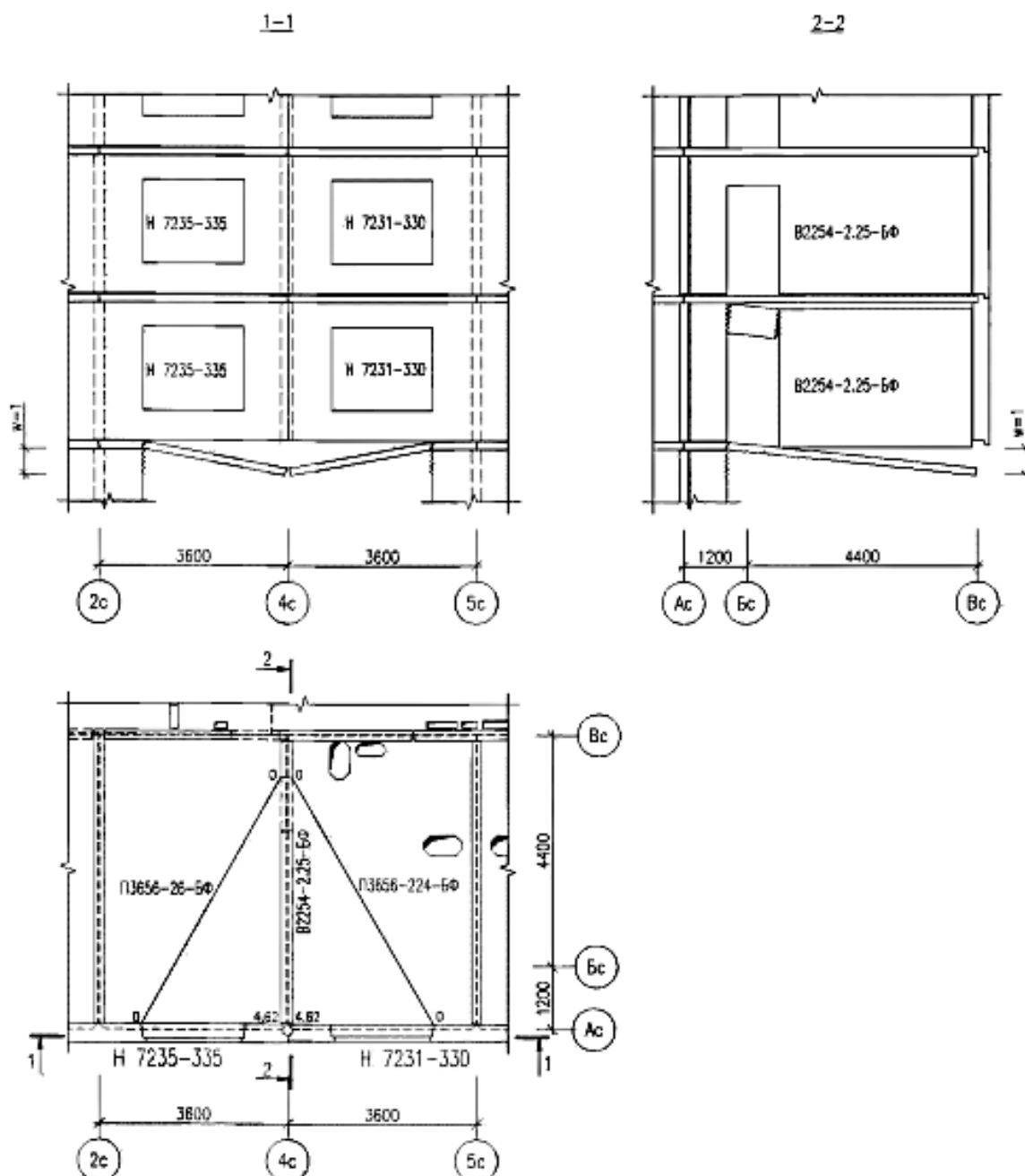


Рисунок 5 - Схема №1. Механизм прогрессирующего обрушения четвертого типа

2.8 Дополнительная проверка прочности сохранившихся стен вокруг локального разрушения конструкций при перераспределении усилий

В случае внезапного удаления одного из конструктивных элементов допускаются локальные разрушения отдельных вертикальных несущих элементов в пределах одного этажа, но эти первоначальные разрушения не должны приводить к обрушению или разрушению конструкций, на которые передается нагрузка, ранее воспринимавшаяся удаленным и примыкающими конструктивными элементами. В несущих конструкциях, не расположенных над локальным разрушением, воздействие локального разрушения приводит к увеличению напряжений и усилий. Необходимо сравнить усилия, действующие в несущих элементах при их максимальном нагружении с усилиями, возникающими при локальном разрушении вертикального элемента, расположенного близко к рассматриваемому. Для этого необходимо выполнить расчет на эксплуатационные нагрузки рассматриваемого жилого дома с помощью пакета прикладных программ методом конечных элементов. В расчете была принята модель панельного здания, базирующаяся на способе эквивалентных столбов (жесткость столба определяется жесткостью стены, стыка и перекрытия в пределах этажа). На рисунке 6 приведена расчетная схема секций жилого дома.

Для расчета по защите от прогрессирующего обрушения исходная расчетная модель была изменена согласно нормам, для расчета на особое сочетание нагрузок для аварийного воздействия (расчетные сопротивления материалов были приняты равными их нормативным значениям, применены дополнительные коэффициенты условий работы при расчете по защите от прогрессирующего обрушения, значения нагрузок приняты в соответствии с СП 296.1325800 и СП 20.13330).

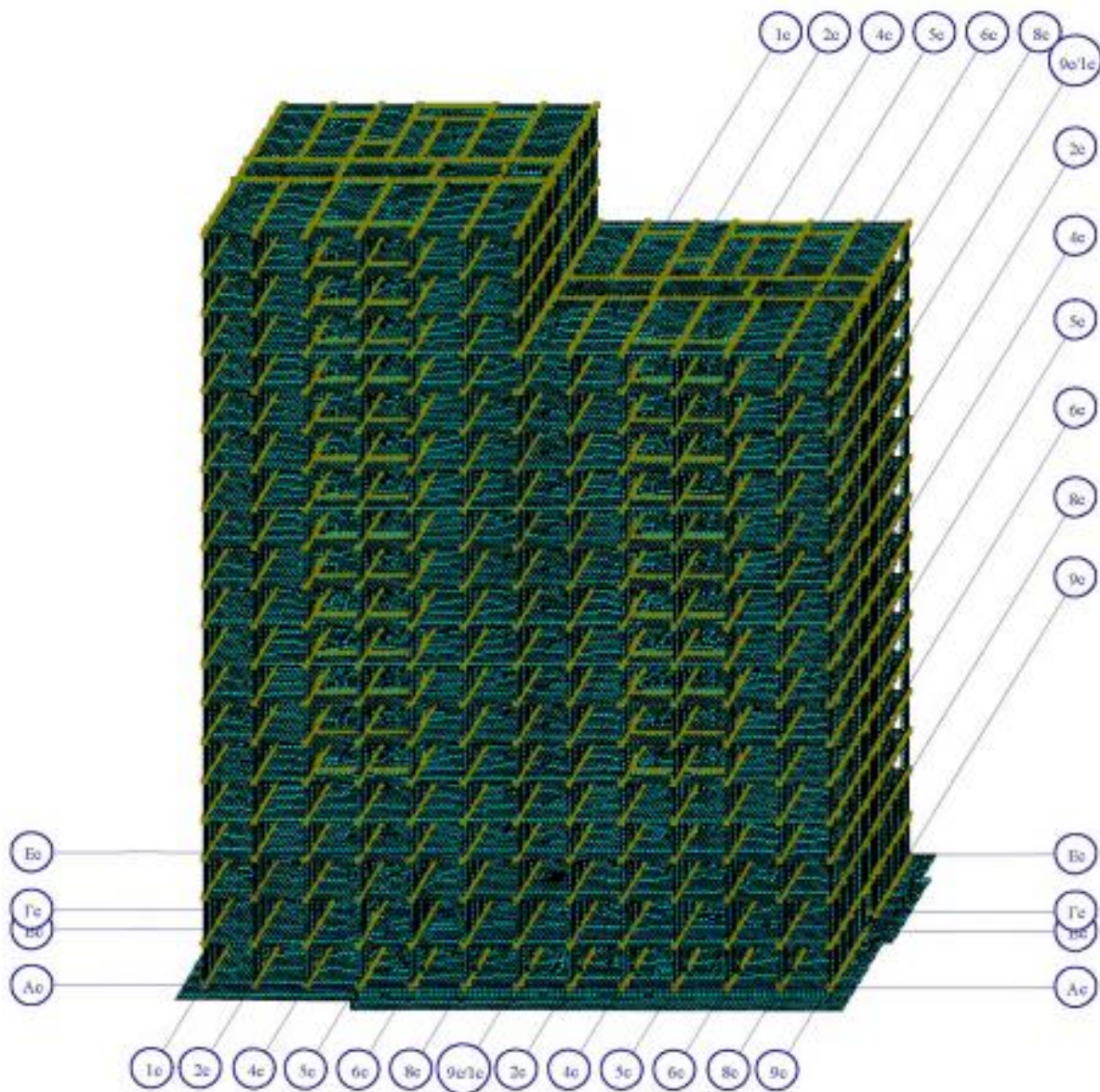


Рисунок 6 - Расчетная модель двухсекционного жилого дома

Для удобства проведения расчетов локальное разрушение конструкции столба в пределах поврежденного этажа моделировалось снижением значения модуля упругости ее конечных элементов (в 1000 раз). В соответствии с рекомендациями были рассмотрены наиболее опасные схемы расположения локальных разрушений конструкций № 1 и №2, а именно, расположенные на 1-м этаже (рисунок 7 а, б).

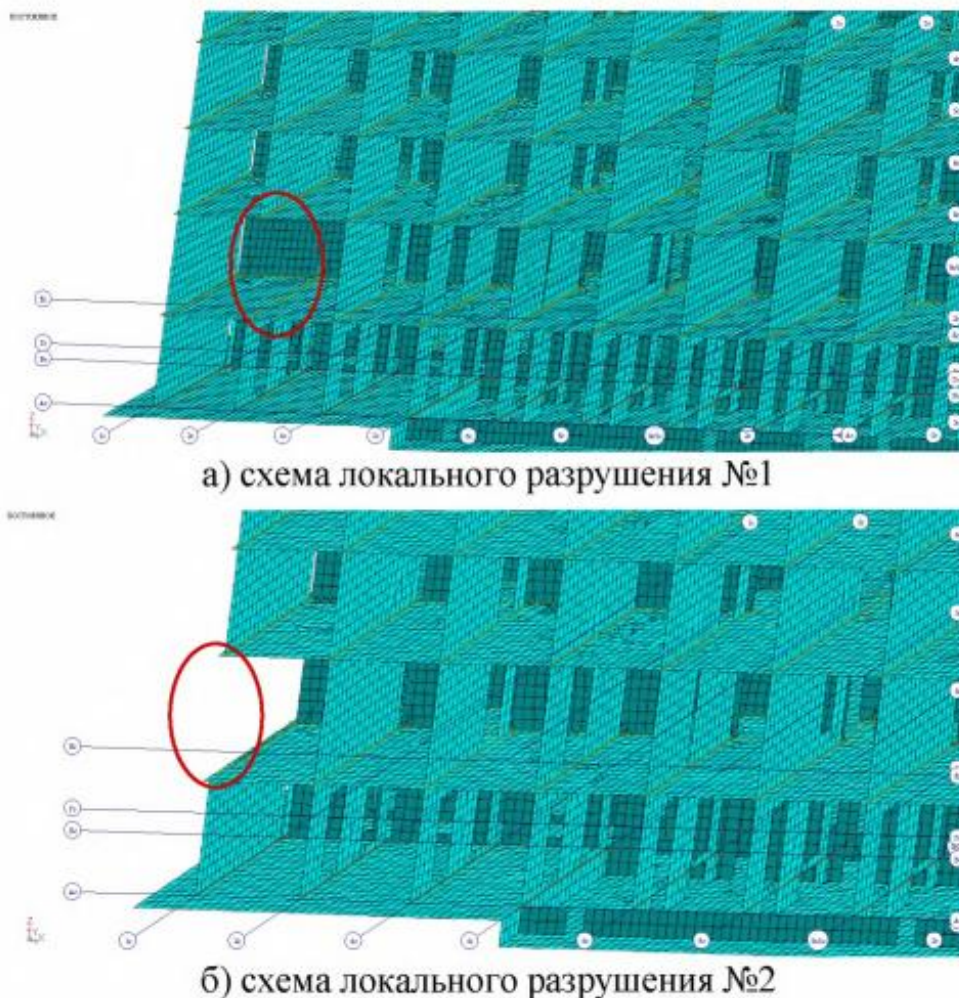


Рисунок 7 - Рассмотренные локальные разрушения

Для данного здания при соотношении высоты этажа к толщине стены проверка прочности стены по среднему сечению не требуется. В данном случае необходима только проверка платформенных стыков по прочности.

В таблице 13 приведены усилия в стенах 1-го этажа от максимального расчетного сочетания нормативных нагрузок в несущих стеновых панелях, в которых воздействие локального разрушения №1 приводит к увеличению напряжений и усилий.

В таблице 14 приведены аналогичные результаты для локального разрушения №2.

В данных таблицах приведены:

1) Усилия в стеновых панелях в случае локального разрушения согласно модели для расчета по защите от прогрессирующего обрушения;

2) Несущая способность платформенного стыка, определяемая по формуле:

$$N_{max} = R_c h t \left(1 - \frac{2e_{0h}}{h} \right), \quad (4)$$

где R_c для опорного сечения вычисляется по формуле:

$$R_c = R_{bw} \eta_m \eta_j, \quad (5)$$

t - толщина стены,

h - ширина простенка (размер по длине стены в уровне расположения проемов),

e_{0h} - эксцентриситет продольной сжимающей силы,

R_{bw} - расчетная прочность бетона стены при сжатии (призменная прочность) с коэффициентом надежности по материалу $\gamma_f = 1$ определяемая для тяжелых, легких и ячеистых бетонов по СП 63.13330 с учетом приведенных в нормах коэффициентов условий работы по материалу,

η_m - коэффициент, учитывающий влияние горизонтальных растворных швов,

η_j - коэффициент, учитывающий конструктивный тип стыка, неравномерность распределения сжимающей нагрузки между опорными площадками стыка и эксцентриситет продольной силы относительно центра стыка в соответствии с СП 335.1325800.

На рисунке 8 приведены номера простенков (столбов) 1-го этажа жилого дома. На рисунке 9 приведены номера простенков (столбов) 2-го этажа жилого дома. В таблице 13 представлены - усилия в стеновых панелях 1-го этажа при локальном разрушении № 1.

Таблица 13 - Усилия в стеновых панелях 1-го этажа при локальном разрушении № 1.

Номер простенка	Усилие в случае локального разрушения	Несущая способность платформенного стыка
41	483.553	687.55
42	150.304	391.826
43	297.52	569.762
44	84.988	214.55
46	222.061	394.551
47	123.718	312.66
48	137.428	150.955
74	138.1	324.485
75	432.304	652.242
80	190.273	350.797
81	259.724	379.391

Из таблицы 13 видно, что условие прочности платформенных стыков на 1-м этаже в случае локального разрушения № 1 выполняется для всех простенков, $N < N_{\max}$.

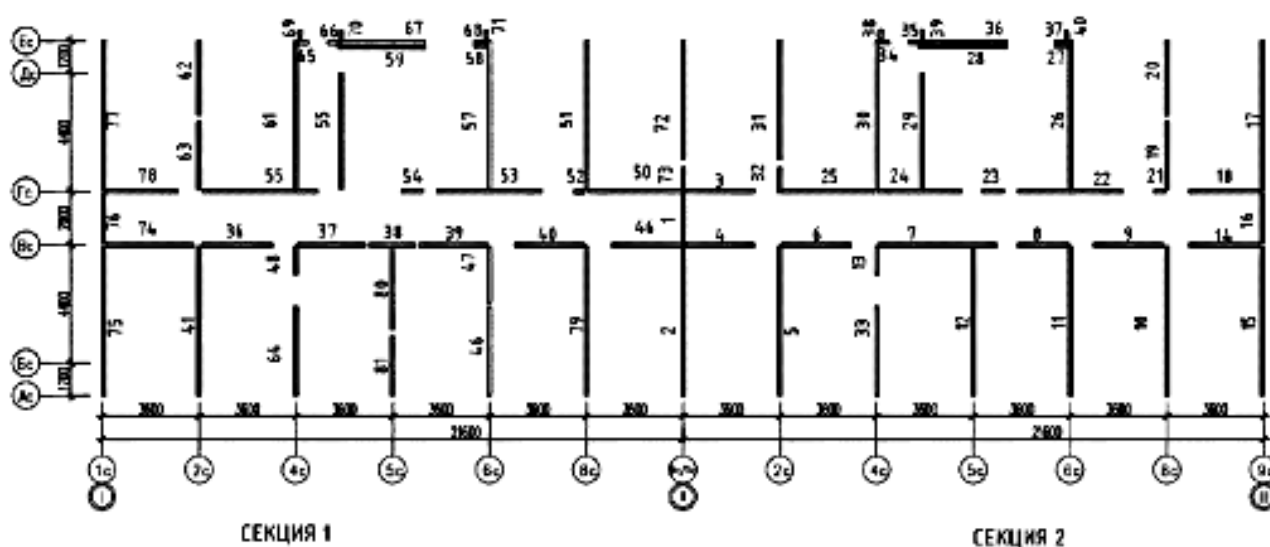


Рисунок 8 - Номера простенков 1-го этажа жилого дома

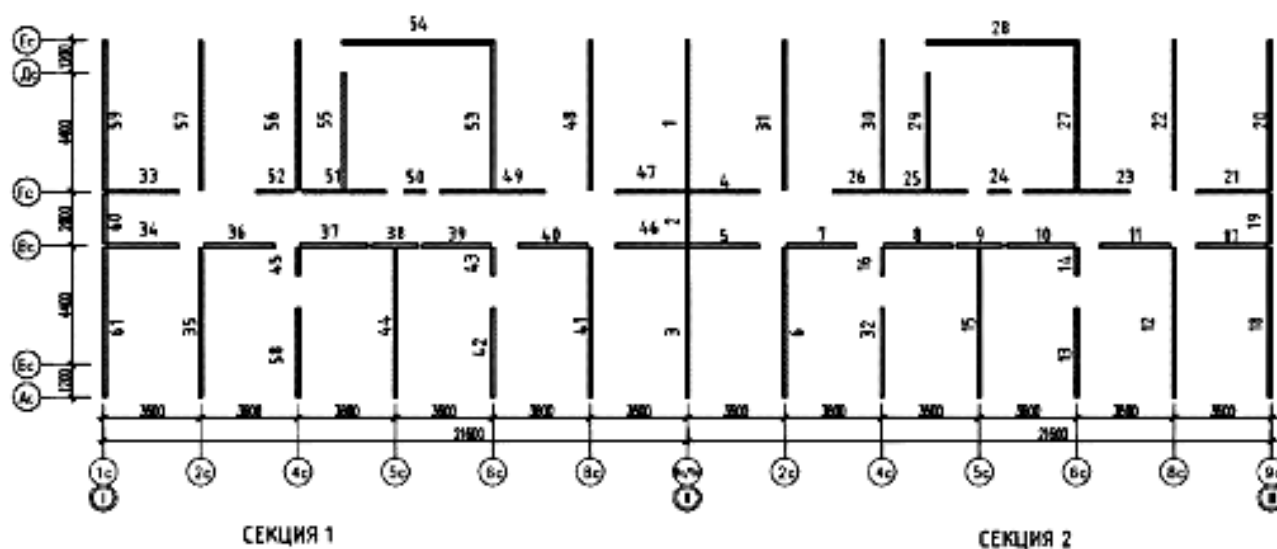


Рисунок 9 - Номера простенков 2-го этажа жилого дома

Таблица 14 - Усилия в стеновых панелях 1-го этажа при локальном разрушении № 2

Номер простенка	Усилие в случае локального разрушения	Несущая способность платформенного стыка
41	554,081	850,254
42	115,695	354,547
74	328,904	395,402
76	164,705	216,014
77	414,431	963,616
78	157,448	348,282

Из таблицы 14 видно, что условие прочности платформенных стыков на 1-м этаже в случае локального разрушения № 2 выполняется для всех простенков, $N < N_{\max}$.

В таблицах 15-16 приведены аналогичные результаты для стеновых панелей 2-го этажа.

Таблица 15 - Усилия в стеновых панелях 2-го этажа при локальном разрушении № 1

Номер простенка	Усилие в случае локального разрушения	Несущая способность платформенного стыка
34	127,177	311,642
35	456,172	834,502
36	151,513	273,703
37	153,495	320,324
38	124,456	264,746
39	114,547	348,412
42	267,046	662,768
43	49,252	131,627
44	414,823	650,67
45	113,931	93,65
61	399,852	706,171

Из таблицы 15 видно, что условие прочности платформенных стыков на 2-м этаже в случае локального разрушения № 1 выполняется для всех, кроме простенка №45. Условие прочности будет выполняться, если повысить класс бетона стеновой панели по оси «4с» между осями «Ас» и «Вс» до В30.

Таблица 16 - Усилия в стеновых панелях 2-го этажа при локальном разрушении № 2

Номер простенка	Усилие в случае локального разрушения	Несущая способность платформенного стыка
33	163,009	373,003
34	260,857	420,9
35	517,887	1042,048
36	129,616	330,171
59	382,799	893,351
60	132,472	214,273

Из таблицы 16 видно, что условие прочности платформенных стыков на 2-м этаже в случае локального разрушения № 2 выполняется для всех простенков, $N < N_{\max}$.

При полном расчете здания в качестве возможных локальных разрушений в соответствии с необходимо рассматривать все схемы локальных разрушений, проверяя при этом по всей высоте здания стеновые панели на прочность от воздействия каждого локального разрушения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федоров, Виктор Сергеевич. Строительные конструкции : учебное пособие для студентов вузов, обуч. по направлению подготовки бакалавриата "Строительство", профиль "Промышленное и гражданское строительство" / В. С. Федоров, Я. И. Швидко, В. Е. Левитский. - Москва : Кнорус, 2020. - 396 с.
2. Колчунов, В. И. Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях : Научное издание / Колчунов В. И. , Ключева Н. В. , Андросова Н. Б. , Бухтиярова А. С. - Москва : Издательство АСВ, 2014. - 208 с.
3. СП 385.1325800.2018. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Введ. 2019-01-06. М.: Стандартиформ, 2008. 24 с.
4. Федеральный закон №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Москва, 2010. - 20 с.
5. Федеральный закон № 184-ФЗ «О техническом регулировании». Москва, 2002. - 20 с.
6. Федеральный закон № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации». Москва, 2004. - 84 с.
7. Федеральный закон № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». Москва, 1997. - 24 с.