

ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ ОТДЕЛЬНО СТОЯЩИХ ФУНДАМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ИХ РАЗРУШЕНИЯ

Игорь Дьяков

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Адрес: Украина, г.Симферополь, ул.Киевская 181

e-mail: karta3@mail.ru

Аннотация. Живучесть фундаментов играет существенную роль в стойкости здания к прогрессирующему разрушению, что должно учитываться в соответствующих расчетах. Экспериментальные исследования в области работы отдельно стоящих фундаментов позволили выявить этапы процесса разрушения конструкций и соотношение разрушающей нагрузки, расчетной и регламентированной несущей способности. Величина запаса живучести фундаментов зависит от значительного числа факторов, среди которых: геометрические характеристики конструкции и ее конструктивные особенности, прочностные характеристики материалов, эксцентриситет приложения внешней нагрузки и другие.

Ключевые слова: отдельно стоящие фундаменты, живучесть конструкции, прогрессирующее разрушение

ВВЕДЕНИЕ

В Мире растет число аварий зданий и сооружений, приносящих не только материальный и моральный ущерб, но и человеческие жертвы. Это активизировало внимание к исследованиям в области стойкости к прогрессирующему разрушению зданий и сооружений, живучести строительных конструкций и систем [9], их надежности и долговечности [8]. Одними из причин прогрессирующего разрушения зданий и сооружений является запределные нагрузки на фундаменты и их локальное повреждение. С одной стороны потеря способности одного или группы фундаментов к восприятию нагрузки, в том числе запределной, может самостоятельно привести к прогрессирующему разрушению объекта. С другой стороны при повреждении отдельных несущих вертикальных элементов здания (колонн, опор и т.д.) происходит перераспределение усилий на другие вертикальные элементы и, соответственно, на их фундаменты воздействуют запределные нагрузки.

В большинстве расчетных моделей, применяемых для определения стойкости здания или сооружения к прогрессирующему разрушению, возможность повреждения и разрушения фундаментов не рассматривается [3,7]. Отсутствуют и исследования живучести фундаментных конструкций. Таким образом, для комплексной оценки стойкости зданий к прогрессирующему разрушению необходимы методики определения живучести фундаментов, разработка которых требует проведения целенаправленных исследований.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Исследованиями в области работы отдельно стоящих фундаментов на изгиб и продавливание, их взаимодействия с грунтовым основанием

занимались многие ученые. В результате исследований разработаны различные методики расчета фундаментов на продавливание и изгиб, в том числе учитывающие трансформацию эпюры нормальных контактных напряжений в грунте основания под подошвой конструкций [10]. Вместе с тем исследования не затрагивали работу фундамента с повреждениями, так как их наличие рассматривается строительными нормами как разрушение конструкции. Не ставилась целью исследований оценка максимального уровня нагрузки, который фундамент может воспринять в аварийной ситуации, сопровождающейся воздействием запределных нагрузок.

Исследования в области прогрессирующего разрушения зданий и сооружений, живучести отдельных конструкций проведены: Н.В.Клюевой [7], И.Н.Тихоновым, Козелковым М.М., Демидовым А.Р. [12] и др. Они затрагивают большепролетные конструкции, многоэлементные структуры, многоэтажные каркасные и панельные здания, пространственные оболочки и другие конструкции. Подобные исследования в области живучести фундаментов отсутствуют.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель статьи – проанализировать результаты экспериментальных исследований и на их основе рассмотреть вопросы живучести отдельно стоящих фундаментов, оценить имеющиеся запасы несущей способности конструкций, обеспечивающие восприятие запределных нагрузок.

Задачи статьи:

- на основе результатов экспериментальных исследований выявить стадии разрушения отдельно-стоящих фундаментов;
- оценить имеющиеся запасы несущей способности конструкций,

- обеспечивающие восприятия
запредельных нагрузок.
- выявить основные факторы, влияющие на живучесть отдельно стоящих фундаментов;
 - определить направления дальнейших исследований.

части, эксцентриситет приложения внешней нагрузки. Испытания проводили в грунтовой лотке размерами 4,0 x 4,0 x 4,0 м, заполненном песком средней крупности. Измеряли: уровень внешней нагрузки, нормальные контактные напряжения под подошвой фундамента, напряжения в рабочей арматуре, напряжения в сжатой зоне бетона плитной части, осадку и деформации плиты.

Для проведения измерений использовали мессдозы, тензометрию, датчики напряжения в бетоне М20-ВРМ, индикаторы и прогибомеры часового типа. После проведения испытания для изучения характера внутренних трещин все конструкции были распилены вертикальными резами в длинном направлении плиты.

Рассмотрим результаты некоторых из экспериментов.

У Образца Ф-1-4 первые нормальные трещины в плите образовались при внешней нагрузке 50 кН (17% от разрушающей нагрузки) (рис.1).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

Для изучения процесса разрушения железобетонных отдельно стоящих фундаментов и их живучести были проанализированы результаты экспериментальных исследований, проведенных в 80-90 годы в НАПКС [6].

Исследования выполняли на крупноразмерных моделях отдельно стоящих фундаментов размерами в плане 1,0 x 1,5 м с толщиной плиты 0,1; 0,15; 0,3 м, что соответствует гибким и жестким фундаментам. Варьировали: толщину плиты, процент армирования плитной

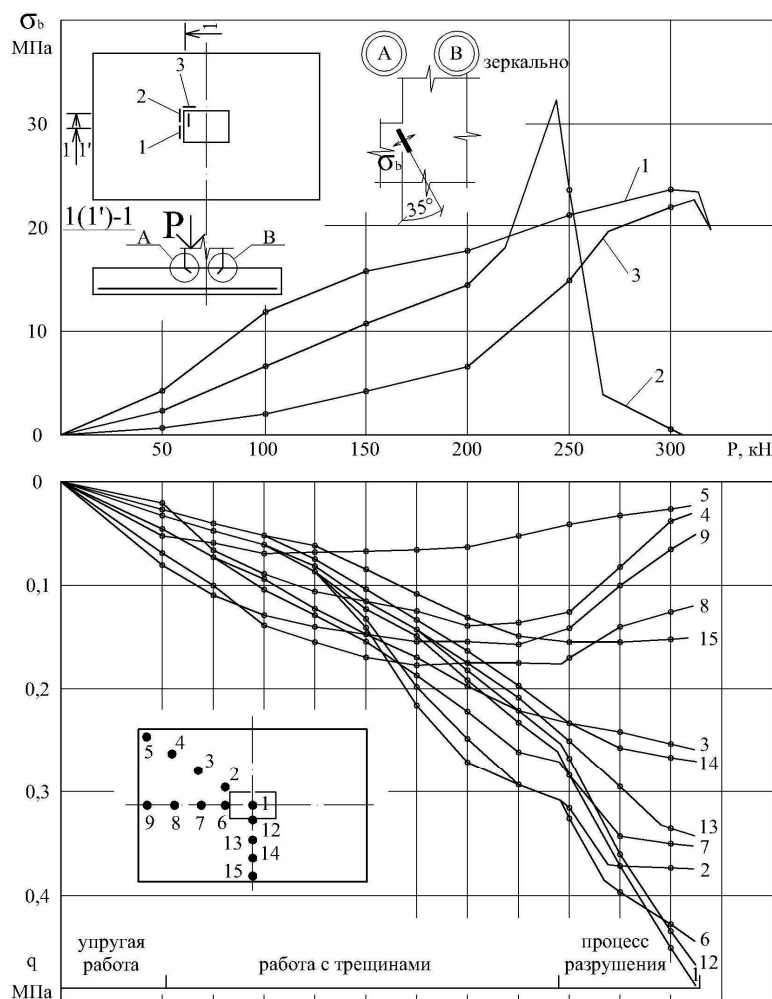


Рис.1. Зависимость напряжений в сжатой зоне бетона плиты и нормальных контактных напряжений под подошвой фундамента Ф-1-4 от уровня внешней нагрузки
Fig.1. The dependence of the stress in the compression zone of concrete slabs and normal contact stresses under the sole foundation of F-1-4 from the level of the external load

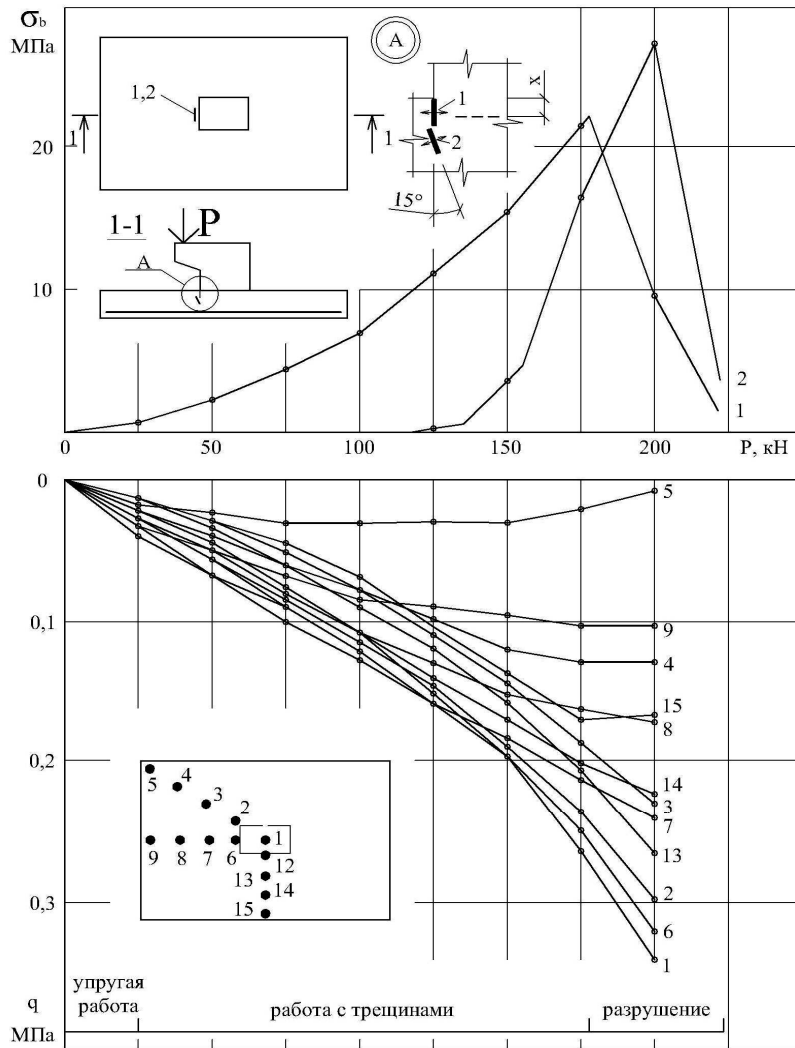


Рис.2. Зависимость напряжений в сжатой зоне бетона плиты и нормальных контактных напряжений под подошвой фундамента Ф-1-5 от уровня внешней нагрузки

Fig.2. The dependence of the stress in the compression zone of concrete slabs and normal contact stresses under the sole foundation of F-1-5 from the level of the external load

Из полученной зависимости напряжений в сжатой зоне бетона плиты от внешней нагрузки видно, что при нагрузке 240 кН напряжения достигли пикового значения 32 МПа (что в 2,5 раза выше параметрической прочности бетона конструкции на сжатие) у углов короткой грани колонны, после чего произошло локальное разрушение бетона на данном участке (рис.1). Окончательное разрушение конструкции произошло при нагрузке 310 кН, превысив нагрузку проявления локальных разрушений более, чем в 2,5 раза.

Из результатов испытания образца Ф-1-5 установлено, что при нагрузке 185 кН произошло локальное разрушение в бетоне сжатой зоны у центральной части короткой грани колонны. При этом напряжения составили 23 МПа, превысив параметрическую прочность бетона на сжатие в 2,1

раза (рис.2). Другой датчик, расположенный рядом, но ориентированный в направлении главных сжимающих напряжений показал пиковые напряжения величиной 27 МПа при нагрузке 200 кН. Максимальная нагрузка, воспринятая фундаментом составила 220 кН.

Аналогичная картина получена и при испытании фундамента Ф-3-2 с толщиной плиты 0,1 м. Первые разрушения в бетоне сжатой зоны получены при нагрузке 120 кН у углов колонны (рис.3). При этом напряжения составили 0,9 МПа. Пиковые напряжения в сжатой зоне бетона на небольшом удалении от колонны достигли примерно тех же величин при нагрузке 180 кН, после чего произошли локальные повреждения. Максимальная нагрузка, воспринятая фундаментом составила 200 кН.

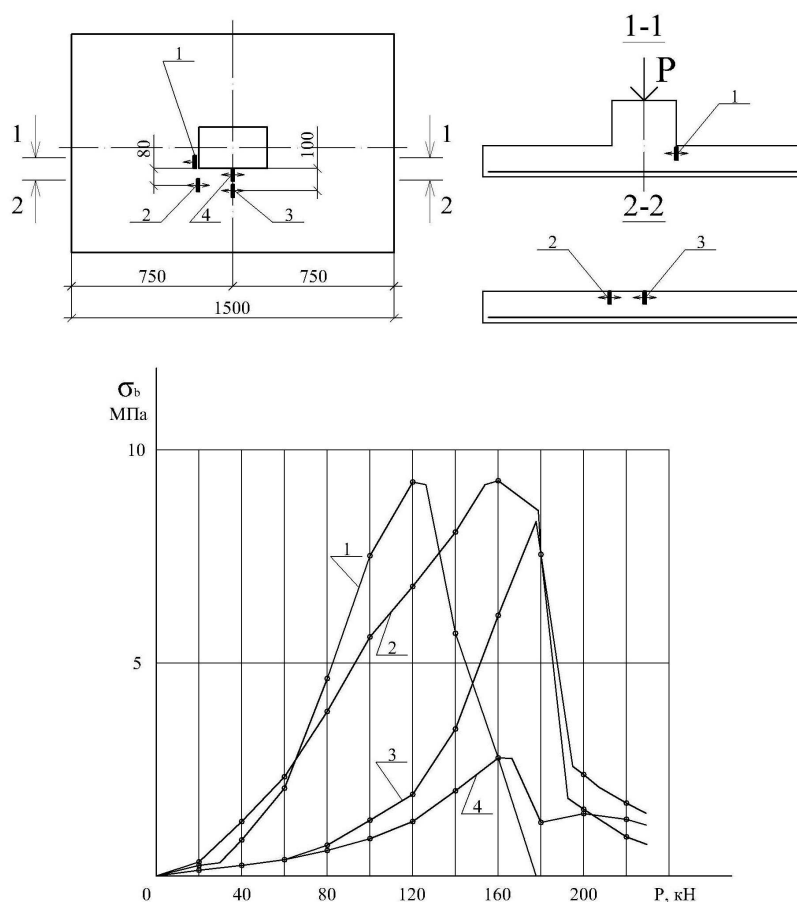


Рис.3. Зависимость напряжений в сжатой зоне бетона плиты фундамента Ф-3-2 от уровня внешней нагрузки
Fig.3.The dependence of the stress in the compression zone of concrete slab foundation F-3-2 from the level of the external load

На рис.4 представлен разрез некоторых фундаментов после испытаний. Как видно из фотографий, тело фундаментов имеет повреждения в виде нормальных и наклонных трещин, свидетельствующих о разрушении конструкции и выделении пирамиды продавливания.

Изучение эпюр нормальных контактных напряжений под подошвой фундаментов показало, что увеличение внешней нагрузки после возникновения локальных повреждений в конструкции приводит к более активному перераспределению контактных напряжений с увеличением их уровня под центральной частью фундаментов и снижению у краевых зон (рис.1,2). Такая реакция грунтового основания связана с деформациями плиты фундамента. Она способствует относительному уменьшению напряжений в нормальных и наклонных сечениях конструкции, что позволяет достичь большей величины разрушающей нагрузки (живучести фундамента).

Критериями потери несущей способности отдельно стоящих фундаментов в нормальных условиях эксплуатации, исходя из норм многих стран (например [1], [2]), являются такие повреждения плитной части, как:

- появление наклонных трещин, свидетельствующих об образовании пирамиды продавливания вследствие среза;
- разрушение сжатого бетона при достижении фибровыми деформациями граничных значений, свидетельствующее о начале разрушения конструкции по наклонному сечению;
- достижение деформаций текучести в отдельных стержнях арматуры или во всех стержнях одновременно в растянутой зоне плиты;
- раскрытие нормальных трещин более 0,3 мм, что может привести к коррозии арматуры.

Нагрузку, при которой достигаются эти повреждения можно определить как регламентированную несущую способность фундамента (по первой или второй группе предельных состояний). Конструкция, имеющая регламентированные нормы повреждения, рассматривается как потерявшая несущую способность и в дальнейшем эксплуатироваться не может.

В реальных условиях, как показали исследования, разрушающая нагрузка, после которой фундамент полностью теряет стойкость к восприятию внешнего воздействия, значительно больше его регламентированной несущей

способности. Это позволяет фундаменту воспринимать запредельные нагрузки. Таким образом, живучесть фундамента можно оценить уровнем разрушающей нагрузки и степенью ее превышения величины регламентируемой или расчетной несущей способности (коэффициентом запаса живучести).

Для оценки степени живучести фундаментов целесообразно рассматривать два вида коэффициента запаса живучести фундаментов:

Коэффициент запаса расчетной живучести:

$$n_p = \frac{N_{max}}{N_{рас}}, \quad (1)$$

где N_{max} - разрушающая нагрузка – предельное усилие, воспринимаемое фундаментом; $N_{рас}$ – расчетная несущая способность фундамента (наименьшая из расчета на продавливание и изгиб).

Коэффициент запаса реальной живучести:

$$n_p = \frac{N_{max}}{N_{рег}}, \quad (2)$$

где $N_{рег}$ – регламентированная несущая способность фундамента (граничное состояние по первой или второй группе предельных состояний).

Проведенные исследования позволяют выделить этапы разрушения отдельно стоящих фундаментов и соизмерить уровни нагрузки, при которой происходили локальные разрушения (повреждения), с разрушающей нагрузкой. В таблице 1 представлены характерные стадии деформации и разрушения отдельно стоящих фундаментов.

В рассмотренных экспериментах в количестве более 30 образцов оба коэффициента запаса живучести фундаментов изменялись в пределах 1,5 – 3,4 в зависимости от конструктивных особенностей фундаментов.

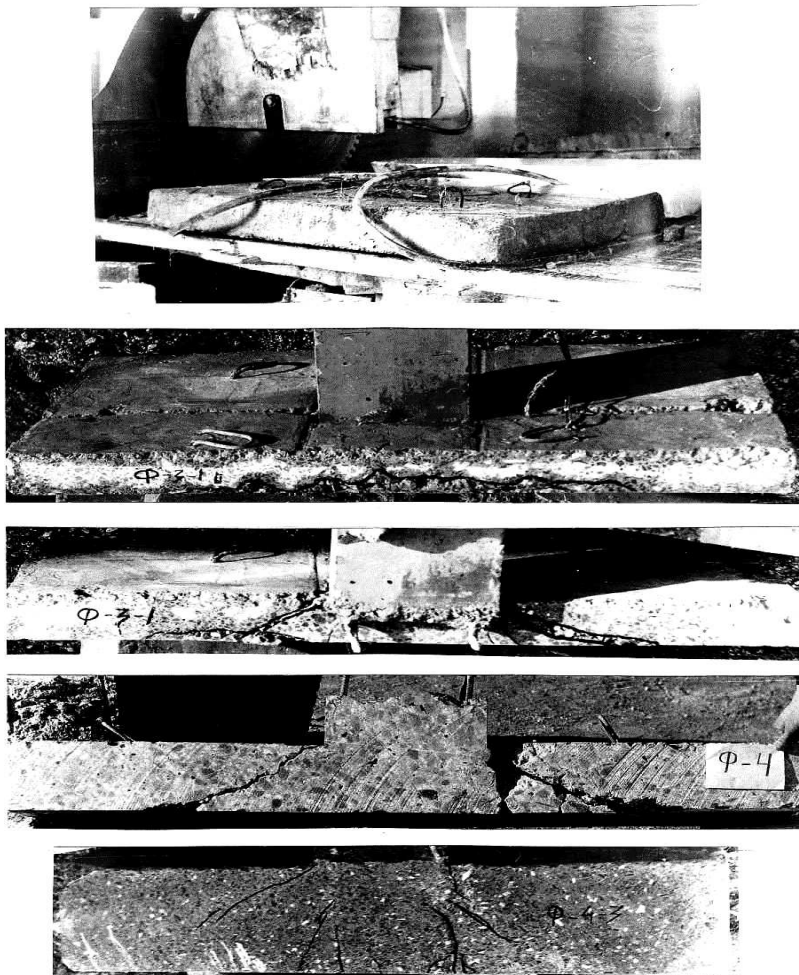


Рис. 4. Разрез фундаментов с толщиной плиты соответственно: 100, 150 и 300 м
Fig.4. Section foundation plate thickness, respectively: 100, 150 and 300 m

Таблица 1. Стадии разрушения отдельно стоящих фундаментов
Table 1. Stages of the destruction of separate foundations

№	Характеристика внешней нагрузки или ее уровня	Процессы, происходящие в фундаменте	Процессы, происходящие в грунте основания	Стадия работы конструкции с точки зрения норм [1]	Стадия работы конструкции с точки зрения живучести
1.	Допустимая	Деформация (изгиб) плитной части	Трансформация эпюры нормальных контактных напряжений под подошвой фундамента от седловидной к параболической.	Нормальная работа конструкции	Нормальная работа конструкции
2.		Образование нормальных трещин			
3.	Достижение регламентированной нормами несущей способности. Переход к предельным нагрузкам	Раскрытие нормальных трещин в плите сверх регламентированной нормами величины, образование наклонных трещин	Увеличение трансформации эпюры к параболической	Достижение предельного состояния	Возникновение локальных повреждений
4.	Запредельная нагрузка	Возникновение локальных повреждений бетона сжатой зоны у колонны	Увеличение концентрации нормальных контактных напряжений под формирующейся пирамидой продавливания	Работа в условиях аварийной ситуации	Развитие локальных повреждений
5.	Отказ фундамента от восприятия внешней нагрузки (выключение из работы)	Полное (тотальное) разрушение сжатой зоны бетона по периметру колонны, начало перемещения пирамиды продавливания	Превышение контактными напряжениями под пирамидой продавливания несущей способности грунта. Прогрессирующая неконтролируемая осадка фундамента	-	Разрушение

Основными причинами высокой живучести отдельно стоящих фундаментов, позволяющей сохранять свою несущую способность при наличии повреждений и уровне запредельных нагрузок в 1,5 и более раз превышающих нагрузки, вызывающие первичные разрушения, являются:

- Объемное напряженное состояние сжатой зоны бетона в плитной части фундамента в наиболее опасной зоне, приводящее к переходу работы бетона от сжатия к смятию, нелинейной работе материалов;
- Переход арматуры от текучего состояния к состоянию упрочнения;
- Трансформация эпюры нормальных контактных напряжений в грунте на всех стадиях работы фундамента. Относительное снижение усилий в фундаменте на изгиб и продавливание, связанное с перераспределением нормальных контактных напряжений в грунте к центру подошвы фундамента.

Отсутствие какого либо из перечисленных факторов или снижение их влияния приводит к уменьшению живучести конструкции. Так исследования, проведенные Б.Ю.Барыкиным [4], [5], показали, что у перекрестных балочных фундаментов запасы прочности не столь велики, а превышение максимальных напряжений в сжатой зоне бетона над параметрическими значениями прочности бетона на одноосное сжатие в среднем составляет 20%.

Как показали экспериментальные и теоретические исследования, разрушение фундамента – достаточно продолжительный процесс, в ходе которого с повышением нагрузки возникают локальные разрушения (повреждения) в виде достижения напряжений текучести в арматуре, образования и раскрытия нормальных и наклонных трещин, последовательного разрушения сжатой зоны бетона у углов коротких граней колонны, а затем и на остальных участках по периметру колонны. Именно последовательный характер разрушения отдельно стоящих фундаментов и наличие перед потерей способности к восприятию нагрузки повреждений затрудняет использование для оценки их живучести имеющихся (в том числе нормативных) методик расчета на продавливание и изгиб, требует проведение теоретических исследований для разработки адекватных методик оценки живучести.

Не менее важна выработка критериев возможности дальнейшей эксплуатации конструкции без усиления или с усилением, учитывающих уровень запредельных нагрузок, воздействовавших на фундамент.

Данный вопрос непосредственно связан с получением конструкцией тех или иных повреждений. Учитывая, что расчетная несущая способность фундамента, как правило, меньше нагрузки, при которой возникают

регламентированные нормами предельные повреждения, возможны следующие ситуации:

- Запредельная нагрузка больше расчетной, но меньше регламентированной несущей способности конструкции;
- Запредельная нагрузка больше расчетной и регламентированной несущей способности, но меньше разрушающей.

Первый случай предполагает дальнейшую эксплуатацию фундаментов без выполнения каких либо мероприятий. Во втором случае возможность дальнейшей эксплуатации зависит от вида и степени повреждения. Для фундаментов такие виды повреждений, как образование нормальных и наклонных трещин с шириной раскрытия более 0,3 мм делают возможным дальнейшую эксплуатацию конструкции в случае последующего закрытия трещин до величины меньшей или равной 0,3 мм после уменьшения нагрузки. Эксплуатация фундаментов с возникшими фибровыми локальными разрушениями бетона без усиления сомнительна из-за изменения в дальнейшем схемы работы конструкции и требует более детального изучения. Решение вопроса о дальнейшей эксплуатации фундамента после запредельных воздействий связано и с необходимостью оценки дальнейшей работы системы здание-фундамент-грунт. Вследствие воздействия запредельных нагрузок могут возникнуть чрезмерные осадки фундамента как упругого, так и неупругого характера. Такие осадки, в зависимости от конструктивной схемы здания, могут привести к ее изменению и аварийному состоянию.

Соответственно, как фактор функциональной живучести отдельно стоящих фундаментов в системе здание-фундамент-грунт при воздействии запредельных нагрузок, должна рассматриваться величина осадки конструкции, в том числе и в соотношении с осадкой других фундаментов здания.

ВЫВОДЫ

1. Разрушение фундаментов представляет собой процесс, происходящий одновременно с увеличением внешней нагрузки. В ходе этого процесса возникают локальные разрушения (повреждения) в виде достижения напряжений текучести в арматуре, образования и раскрытия нормальных и наклонных трещин, последовательного разрушения сжатой зоны бетона у углов коротких граней колонны, а затем и на остальных участках периметра колонны.

2. Величина разрушающей нагрузки, определяющая живучесть отдельно стоящих фундаментов, значительно превышает нагрузку, вызывающую локальные разрушения в конструкции и определяющую, в соответствии с нормами, его несущую способность. Коэффициент запаса живучести достигает 1,5 и более;

3. При оценке стойкости зданий и сооружений к прогрессирующему разрушению

должны рассматриваться не только надфундаментные конструкции, но и фундаменты во взаимодействии с грунтовым основанием. При этом в расчетах должна учитываться величина живучести конструкции (разрушающая нагрузка как);

4. Живучесть отдельно стоящих фундаментов зависит от таких факторов, как перераспределение нормальных контактных напряжения под подошвой, объемное напряженно-деформированное состояние конструкции, нелинейная работа материалов и др.;

5. Живучесть фундаментов, у которых в сжатой зоне бетона на ответственных участках возникает объемное напряженное состояние, значительно выше, чем у конструкций с одно- или двухосным сжатием на данных участках;

6. Существующие методики расчета фундаментов не позволяют оценить их живучесть, так как не учитывают имеющиеся локальные разрушения в конструкции и процессный характер самого разрушения. Необходима разработка методики оценки живучести фундаментов и интегрирование ее в методику оценки стойкости зданий и сооружений к прогрессирующему разрушению.

7. Как фактор функциональной живучести отдельно стоящих фундаментов в системе здание-фундамент-грунт при воздействии запредельных нагрузок, должна рассматриваться величина осадки конструкции, в том числе и в соотношении с осадкой других фундаментов здания.

ЛИТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.6-98-2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. К.: Мінрегіонбуд України, 2011.- 73.
2. ДСТУ Б В.2.6-156:2010 Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. К.: Мінрегіонбуд України, 2011.- 118.
3. СТО-008-02495342-2009. Предотвращение прогрессирующего обрушения железобетонных монолитных конструкций зданий. Проектирование и расчет. - М.: ОАО ЦНИИПромзданий, 2009.-21.
4. Барыкин Б.Ю., Андронов А.В., Барыкин А.Б., 2011. Применение экспериментальных диаграмм « $\sigma_n - \varepsilon_n$ » сжатого бетона при расчете перекрестно-балочных фундаментов для зданий на склонах //Строительство и техногенная безопасность. Сборник науч.трудов НАПКС.- Симферополь: НАПКС, Выпуск 39. - 9-19.
5. Барыкин Б., Барыкин А., 2012. К вопросу о биопозитивном строительстве на сложном рельефе // Motrol.- №6, 123-129.
6. Дьяков И.М., 1989: Особенности силового взаимодействия отдельно стоящих прямоугольных в плане фундаментов с песчаным

основанием при внецентренном приложении внешней нагрузки. /Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Днепропетровск, -21.

7. Клюева, Н.В. 2006. Экспериментально теоретические исследования живучести эксплуатируемых железобетонных рам при внезапных повреждениях. // Бетон и железобетон.- №6, 12-15.
8. Менанов Э. К вопросу надежности и долговечности сварных соединений строительных конструкций // Motrol.- №12D, 162-167.
9. Стекольников Ю.И., 2003. Живучесть систем. Теоретические основы. – М.: Политехника. – 155.
10. Чеботарева Е., 2010. Исследование напряженно-деформированного состояния отдельно стоящих двухслойных железобетонных фундаментов методом компьютерного моделирования // Motrol.- №12D, 156-161.
11. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. М., 2005. – 40.
12. Тихонов И.Н., Козелков М.М., Демидов А.Р. К проектированию зданий из железобетона с учетом защиты от прогрессирующего обрушения. – Бетон и железобетон, №6, 2006, 6-10.

EVALUATE THE SURVIVABILITY OF A DETACHED FOUNDATION BASED STUDY OF THEIR DESTRUCTION

Summary. Survivability foundation plays an important role in building resistance to the progressive destruction. This should be taken into account in the relevant calculations. Experimental studies of free-standing foundations have identified stages of structural collapse. Determine the ratio of the breaking load and the calculated bearing capacity. Reserve of vitality depends on the foundations of a large number of factors: the geometric characteristics of the structure, the design features, the strength characteristics of the materials, the eccentricity of external forces and others.

Key words: free-standing foundations, survivability design, progressive destruction.