

УДК 624.137

**ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ СВАЙНЫХ УДЕРЖИВАЮЩИХ  
КОНСТРУКЦИЙ***к.т.н., доц. Дьяков И.М.,**Национальная академия природоохранного и курортного строительства,  
Симферополь*

**Постановка проблемы.** Исследования в области прогрессирующего разрушения и живучести строительных конструкций, зданий и сооружений в последние годы становятся все более актуальными в связи с растущим в мире числом аварий. Многими зарубежными нормами предусмотрен расчет на прогрессирующее разрушение наиболее ответственных объектов. Отдельные отечественные нормы также указывают на необходимость обеспечения живучести конструкций. Так в соответствии с ДБН В.1.2-14-2009 [1] строительные конструкции и основания «...должны иметь достаточную живучесть относительно локальных разрушений и предусмотренных нормами аварийных влияний, исключая при этом явления прогрессирующего разрушения...». Тем не менее, нормативные методики оценки живучести конструкций, зданий или сооружений отсутствуют.

Для удержания оползней и откосов грунта к Крыму и других регионах Украины активно используются свайные удерживающие конструкции и консольные подпорные стены. Наблюдающиеся в последние годы аварии этих конструкций не только наносят существенный материальный ущерб, но и создают угрозы прилегающим территориям и расположенным на них объектам. Характерным примером является авария однорядной свайной удерживающей конструкции, совмещенной с подпорной стеной, в г.Алушта в 2011 г. (рис.1). Вместе с тем методики оценки живучести свайных удерживающих конструкций и подпорных стен в отечественной и зарубежной практике отсутствуют.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Исследования в сфере прогрессирующего разрушения зданий и сооружений начали проводиться относительно недавно. В основном они затрагивают такие строительные системы, как большепролетные конструкции, многоэлементные структуры, многоэтажные каркасные и панельные здания, пространственные оболочки. Этим и другим направлениям исследования посвящены работы Н.С. Стрелецкого, Н.П. Абовского, В.И. Колчунова, Г.А. Гениева, Г.И. Шапиро, В.И. Травуша, Н.В. Ключевой, А.В. Перельмутера, П.Г. Еремеева, Б.С. Расторгуева, В.М. Бондаренко, Я.М. Айзенберга, Ю.И. Кудишина, В.О. Алмазова, А.И. Плотникова, А.Г. Тамразяна, В.М. Ройтмана, С.В. Доронина, В.В. Тура, В.К. Вострова, Ю.П. Назарова, В.Н. Симбиркина и др.

Исследования в области прогрессирующего разрушения и живучести конструкций, взаимодействующих с грунтом, не проводились. Отсутствуют они и для свайных удерживающих конструкций и подпорных стен.

**Цель статьи:** рассмотреть методические подходы к оценке живучести свайных удерживающих конструкций и подпорных стен и проанализировать результаты проведенного числового эксперимента.



*Рис. 1. Разрушение свайной удерживающей конструкции в г.Алушта в 2011 г.*

**Основной материал.** В практике сформировались и развиваются такие основные методы расчета надземных строительных конструкций и сооружений на прогрессирующее разрушение, как [2]:

- Расчет на определенные запрядельные воздействия;
- Оценка стойкости при возникновении повреждений.

Первый метод достаточно абстрактен в случае применения его к подпорным стенам и удерживающим конструкциям. С одной стороны возможных запрядельных (неучтенных нормами) воздействий на эти конструкции достаточно много. С другой стороны сложно определить их уровень, локализацию, режим воздействия и другие факторы.

Второй метод широко распространен и применяется для оценки живучести многопролетных сооружений, каркасных, панельных и монолитных многоэтажных зданий, большепролетных и др. сооружений. В его основу, в большинстве случаев, положен подход оценки единичной живучести [3]. Рассматривается возможность отказа только одного элемента конструкции, после чего эксплуатация сооружения должна быть приостановлена. При этом конструкция обладает достаточной живучестью, если произошло перераспределение усилий на другие элементы или участки конструкции и не произошло прогрессирующее разрушение.

Применение второго метода для таких подпорных и удерживающих сооружений, как консольные на свайном ростверке и консольно-анкерные на современном этапе представляется наиболее рациональным, так как в них можно выделить элементы, для которых возможен единичный отказ.

Учитывая, что все элементы удерживающей конструкции проектируются с использованием метода предельных состояний, а параметры конструкций, как правило, принимаются по расчету наиболее нагруженных сечений грунтового массива, целесообразно рассматривать не плоскую, а объемную задачу. Это позволяет учесть резервы работы конструкции и грунтового

массива, возникающие за счет неравномерного распределения усилий между элементами, сил распора и других эффектов.

Для разработки методики оценки живучести свайных удерживающих конструкций и проведения числового эксперимента использовался программный комплекс Plaxis 3D Foundation. Он имеет ряд преимуществ для решения поставленной задачи, а именно: возможность поэтапного моделирования стадий загрузки; использование нескольких типов элементов для моделирования различных видов напластования грунтов; описание поведения грунта нелинейной моделью Кулона-Мора и др. Несмотря на то, что Plaxis не сертифицирован в Украине, он соответствует нормам Еврокода, а также имеет сертификат Госстандарта Российской Федерации.

Для оценки живучести свайной удерживающей конструкции был применен метод единичной живучести, предусматривающий, по аналогии с надземными конструкциями, «выключение» одной из свай в процессе «работы» сооружения. Расчетная модель грунтового массива представляла собой откос, состоящий из трех слоев суглинка, отличающегося по своим свойствам. Модель грунтового массива была принята на основе реальных данных оползневого участка. Для первоначальной оценки модели был произведен расчет без удерживающей конструкции с использованием одной фазы - гравитационное нагружение. Расчет прервался сообщением «Soil body collapses» («грунтовое тело разрушено»), что можно интерпретировать, как значительные необратимые деформации конечных элементов, приведшие к их разрушению. В реальных условиях – это начало оползневого процесса.

В Plaxis 3D Foundation методика оценки живучести сооружения выглядела следующим образом:

1. На модель грунтового массива была «установлена» свайная удерживающая конструкция.

2. Выполнены следующие расчетные фазы:

– фаза 0. Включение гравитации, продолжительность 1 день. Все три слоя грунта были описаны свойствами свай, т.е. железобетона. Это было необходимо для предотвращения развития оползневых процессов до активирования свайного ростверка;

– фаза 1. Активирование свай, продолжительность 28 дней;

– фаза 2. Активирование ростверка, продолжительность 28 дней;

– фаза 3. Изменение свойств слоев грунта с присвоением им реальных характеристик, продолжительность 1 день;

– фаза 4. Исключение из работы одной из свай, продолжительность 0 дней (т.е. мгновенно);

– фаза 5. Оценка последствий исключения свай, продолжительность 1 день.

3. Произведена оценка изгибающих моментов и напряжений, в сваях и ростверке до и «после исключения из работы свай.

Для проведения численного эксперимента были выбраны четыре варианта моделей свайных удерживающих конструкций (Рис.2):

– 1 модель - с 1-рядным расположением свай, Ø800мм, шаг свай 2,4 м;

- 2 модель - с 2х-рядным расположением свай с параллельными ростверками, Ø600мм, шаг свай 2м;
- 3 модель - с 2х-рядным «шахматным» расположением свай с параллельными ростверками, Ø600мм, шаг свай 2м,
- 4 модель – с двухрядным расположением свай и общим ростверком, Ø600мм шаг свай 2м.

Высота сваи в первом ряду составила 14м, во-втором- 12м, что связано с наклоном поверхности склона. В каждом варианте эксперимента «выключалась» свая C2, как одна из наиболее нагруженных, что предполагает более высокую вероятность ее повреждения.

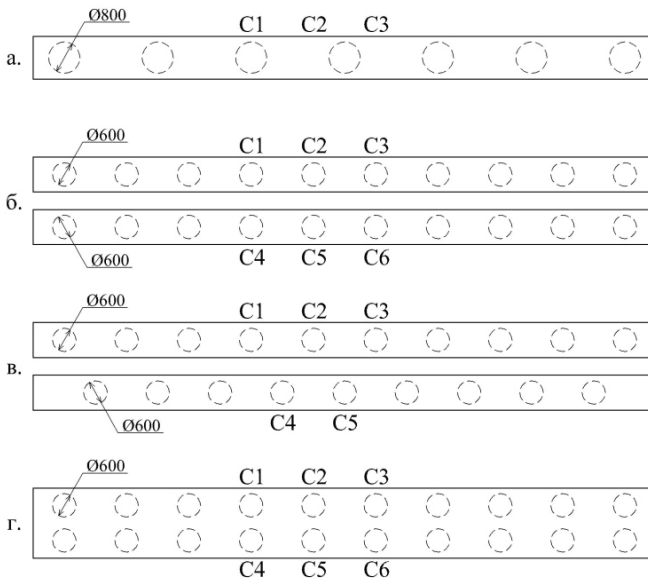


Рис.2. Варианты удерживающих конструкций с различным расположением свай: а-г – модели 1-4 соответственно

В процессе эксперимента, во всех трех моделях удерживающих конструкций при «выключении» сваи из работы было выявлено перераспределение усилий между сваями и изменение максимального изгибающего момента в сваях и ростверке сооружения (табл. 1).

При однорядном расположении свай (модель 1, рис.1,а) наибольшее увеличение максимального изгибающего момента наблюдалось в расположенных рядом сваях. Расчет прервался с сообщением «Soil body collapses» (грунтовое тело разрушено). Это связано с «просачиванием» грунтового тела в освободившееся пространство при выключении сваи из работы и возникновение значительных недопустимых деформаций конечных элементов, т.е. началом оползневой процесса.

Таблица 1

Расчетные изгибающие моменты в сваях до и после удаления сваи С2

Свая											
С1		С2		С3		С4		С5		С6	
$M_{\max}$ , кНм	$\Delta M$ , %	$M_{\max}$ , кНм	$\Delta M$ , %	$M_{\max}$ , кНм	$\Delta M$ , %	$M_{\max}$ , кНм	$\Delta M$ , %	$M_{\max}$ , кНм	$\Delta M$ , %	$M_{\max}$ , кНм	$\Delta M$ , %
Вариант расположения свай 1											
<u>471,3</u> 515,8	9,4	<u>494,5</u> 0	-494,5	<u>495,1</u> 541,5	9,3	-	-	-	-	-	-
Вариант расположения свай 2											
<u>222,0</u> 230,8	3,9	<u>225,4</u> 0	-225,4	<u>226,8</u> 235,9	4,0	<u>243,0</u> 252,8	4,0	<u>244,5</u> 288,5	17,9	<u>243,2</u> 253,6	4,27
Вариант расположения свай 3											
<u>220,83</u> 229,5	4,0	<u>221,3</u> 0	-221,3	<u>221,3</u> 230,3	4,1	<u>242,8</u> 262,5	8,1	<u>248,5</u> 268,7	8,1		
Вариант расположения свай 4											
<u>146,1</u> 160,2	9,6	<u>141,4</u> 0	9,4	<u>149,3</u> 163,3	9,4	<u>153,7</u> 213,4	38,8	<u>153,9</u> 226,3	47,0	<u>160,3</u> 213,4	33,14

**Примечания:** В числителе указаны значения до удаления сваи С2, в знаменателе – после удаления сваи С2.

Анализ моделей 2 и 3 (рис.2 б,в) показал, что после удаления сваи относительное увеличение численных значений максимальных изгибающих моментов в соседних сваях меньше, чем в модели 1. При этом, максимальный изгибающий момент в сваях С1 и С3 в моделях 2 и 3 возрос приблизительно одинаково – в среднем на 4%. В тоже время, максимальные моменты во втором ряду свай в моделях 2 и 3 значительно отличались. Если в модели 2 максимальный изгибающий момент в свае С5 вырос на 17.97%, при этом в соседних сваях С4 и С6 наблюдался прирост на 4%, то в модели 3 усилия равномерно распределились между сваями С4 и С5, а максимальный изгибающий момент в них вырос на 8.1%.

Таким образом, модель 3 обладает наибольшей живучестью. При «выключении» одной сваи усилия равномерно перераспределяются на расположенные ниже по рельефу сваи, которые в нормальных условиях эксплуатации менее загружены, чем сваи первого ряда. Модель 2 обладает меньшей живучестью, так как перераспределение усилий после повреждения сваи в значительной степени происходит на расположенную ниже сваю, значительно повышая в ней максимальный изгибающий момент. Этот эффект продемонстрирован на рис. 3.

В модели 4 изначально наблюдались меньшие значения максимальных изгибающих моментов в сравнении с другими моделями. При «выключении» сваи С2 из работы в наибольшей степени возросли максимальные изгибающие моменты в сваях С4, С5 и С6 (см. табл. 1). Наибольший прирост момента наблюдался в свае С5. Он составил 47.01% при среднем приросте в 9% в сваях первого ряда. Данный эффект связан с более жестким типом конструкции в связи с наличием единого ростверка. В отличие от модели 2,

наличие буферной зоны грунта между конструкциями в моделях 2 и 3 способствует более равномерному распределению нагрузки на сваи, что и обеспечивает более высокий уровень живучести сооружения при единичном повреждении.



*Рис. 3. Распределение усилий между сваями с учетом арочного эффекта в грунте в моделях 2 и 3*

Изучение изгибающих моментов в горизонтальной плоскости в ростверке показало, что выключение из работы сваи у однорядной конструкции привело к изменению криволинейности эпюры с незначительным отклонением ординат. У конструкций с параллельными ростверками, удаление сваи привело к снижению величины изгибающего момента в верхнем ростверке и увеличению его значения в нижнем ростверке. У многорядных конструкций с общим ростверком изменение величины изгибающего момента было менее существенным.

### **Выводы**

- Предложенная методика в программном комплексе Plaxis 3D дает возможность оценить живучесть свайных удерживающих конструкций и подпорных стен, оптимизировать конструкцию с точки зрения максимализации стойкости к прогрессирующему разрушению;
- Удерживающие конструкции с однорядным расположением свай не обладают высокой живучестью и их использование на ответственных оползнеопасных участках не является рациональным с точки зрения угрозы прогрессирующего разрушения;
- Более рациональными из рассмотренных моделей конструкций, как обладающие наибольшей живучестью, являются многорядные свайные удерживающие конструкции с шахматным порядком размещения свай не объединенные общим ростверком.

### **ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. ДБН В.1.2-14-2009. Общие принципы обеспечения надежности и конструктивной безопасности зданий, сооружений строительных конструкций и оснований. – К.: Минрегионстрой Украины, 2009. – 43 с.
2. Стекольников Ю.И. Живучесть систем. Теоретические основы / Ю.И.Стекольников. – Санкт-Петербург.: Политехника, 2002. – 155 с.
3. Кудишин Ю.И. Живучесть строительных конструкций – важный фактор снижения потерь в условиях аварийных ситуаций / Ю.И.Кудишин, Д.Ю.Дробот // Металлические конструкции. – Макеевка: ДонНАСА. – 2009. – № 1. – С. 61 - 72.