

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДХОДОВ ЕДИНИЧНОЙ ЖИВУЧЕСТИ К ОЦЕНКЕ СВАЙНЫХ УДЕРЖИВАЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ

Игорь Дьяков

Национальная академия природоохранного и курортного строительства  
Адрес: Украина, г.Симферополь, ул.Киевская 181  
e-mail: [karta3@mail.ru](mailto:karta3@mail.ru)

**Аннотация.** Стойкость свайных удерживающих сооружений обеспечивает безопасность эксплуатации территорий, зданий и сооружений, расположенных выше и ниже по рельефу. Многие из данных сооружений в соответствии с нормативными актами требуют применения подходов к обеспечению их живучести при запредельных воздействиях. Предложенная методика оценки живучести свайных удерживающих сооружений позволяет на стадии эксплуатации оценить необходимость усиления или замены сооружения, а на стадии проектирования обеспечить необходимую стойкость сооружения к прогрессирующему разрушению.

**Ключевые слова:** свайные удерживающие сооружения, живучесть, стойкость, прогрессирующее разрушение

### ВВЕДЕНИЕ

Оползни и обрушения откосов грунта – достаточно распространенные явления, приносящие значительный материальный и другие виды ущерба. Активизация этих склоновых процессов все чаще приводит к деформации и разрушениям зданий и сооружений как на незакрепленных участках, так и участках оборудованных откосо- и оползнеудерживающими сооружениями. Анализ процесса разрушения свайных удерживающих сооружений показал, что в большинстве случаев оно происходит по сценарию образования локальных повреждений с последующим прогрессирующим (лавинообразным) разрушением. Вместе с тем, исследования работы удерживающих сооружений при наличии повреждений не проводились, вследствие чего отсутствуют и методики оценки их живучести. Наличие такой методики позволило бы на стадии эксплуатации оценить необходимость усиления или замены сооружения, а на стадии проектирования обеспечить необходимую стойкость сооружения к прогрессирующему разрушению.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Исследованиями в области прогрессирующего разрушения и живучести сооружений занимались ученые Украины, России и других стран. Наиболее известны работы: Н.С. Стрелецкого, Н.П. Абовского, В.И. Колчунова, Г.А. Гениева, Г.И. Шапира, 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. [1-6]. В этих и работах других авторов предложены методики оценки живучести многопролетных и большепролетных сооружений, пространственных оболочек, панельных и каркасных зданий. Имеются отдельные исследования живучести и процесса разрушения фундаментов [7, 8, 9]. Подобные исследования

живучести свайных удерживающих конструкций, не проводились.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель статьи – проанализировать результаты теоретических и экспериментальных исследований и на их основе разработать общие подходы к оценке живучести свайных удерживающих конструкций.

Задачи статьи:

- основываясь на подходах к оценке живучести надземных конструкций, зданий и сооружений, предложить методику оценки живучести свайных удерживающих сооружений;
- проанализировать результаты численного эксперимента по оценке живучести свайных удерживающих сооружений в программном комплексе «Plaxis 3D Foundation»;
- выявить зависимости живучести свайных удерживающих сооружений от их конструктивных и других особенностей;
- определить направления дальнейших исследований.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

Свайные удерживающие сооружения широко применяются для удержания откосов и оползней в Крыму и других регионах Украины. Взаимосвязь их аварий с авариями строений выше и ниже по рельефу во многих случаях дает возможность отнести эти сооружения к классу ответственности СС2 и СС3. Это предполагает необходимость обеспечения их стойкости к прогрессирующему разрушению [10]. Вместе с тем высокий уровень неопределенности параметров запредельных воздействий и повреждающих факторов способствует поиску простых методов оценки живучести свайных удерживающих сооружений.

Наиболее распространенным подходом к оценке живучести надземных сооружений является

метод единичной живучести. Данный метод основан на оценке возможности здания или сооружения частично или полностью выполнять свои функции при наличии единичного повреждения. Считается, что конструкция имеет достаточную живучесть, если при возникновении повреждения прогрессирующее разрушение не произошло, а усилия с поврежденной конструкции перераспределились на другие конструкции.

Метод единичной живучести имеет ряд существенных преимуществ, при применении его для оценки свайных удерживающих сооружений:

- позволяет частично или полностью абстрагироваться от повреждающего фактора, так как в большинстве случаев точно прогнозировать или оценить величину и причины его возникновения не удается;

- характерные виды единичных повреждений свайных удерживающих сооружений, состоящих из отдельных конструкций, всегда можно выявить, основываясь на результатах исследований и наблюдений;

- обеспеченность живучести конструкции при наличии единичных повреждений, с высокой степенью вероятности гарантирует стойкость конструкции к прогрессирующему разрушению.

Для моделирования системы «массив грунта – удерживающее сооружение – основание» и оценки живучести сооружения при использовании подходов единичной живучести необходимо решение таких вопросов, как: параметры системы; виды единичных повреждений и способы их задания, критерии разрушения; инструменты моделирования (программный комплекс для выполнения оценки).

Как показал анализ аварий свайной удерживающей конструкции в г.Алушта, на трассе Симферополь-Ялта, в пгт. Парковое и на других участках, повреждения могут возникать в сваях, ростверке, их соединении и в основании, воспринимающем нагрузки от сваи (рис.1). Особым видом повреждений системы «массив грунта – удерживающее сооружение – основание» является просачивание грунта между сваями. Наибольшую вероятность из перечисленных повреждений имеет повреждение свай. Для упрощения задачи, моделировать повреждение конструкции в сооружении можно выключением ее из работы на отдельном участке (например, для свайного ростверка) или выключением полностью (например, для сваи).

Наиболее приемлемыми критериями потери живучести свайного удерживающего сооружения являются те, которые свидетельствуют о прекращении выполнения сооружением своих функций либо о начале прогрессирующего разрушения. В соответствии с этим можно выделить следующие критерии:

- недопустимые перемещения грунта совместно с конструкцией;
- недопустимые перемещения грунта без перемещения конструкции;
- разрушение других элементов конструкции сооружения, отличных от конструкции с заданным повреждением.

Задание вида и дислокации единичного повреждения позволяет избежать выявления причин возникновения повреждающего фактора и его характеристик. В то же время отсутствие учета изменений в системе «грунтовый массив – удерживающее сооружение – основание», приведших к формированию повреждающего фактора, может способствовать значительной погрешности в результатах оценки. Это, прежде всего, касается изменений в характеристиках грунтового массива, в том числе основания свай. В соответствии с этим, при оценке единичной живучести свайных удерживающих сооружений, необходимо внесение предполагаемых изменений в расчетную модель системы «грунтовый массив-сооружение-основание».

Предлагаемое сочетание задаваемых повреждений и изменений в расчетной модели при различных видах оценки приведены в таблице 1.

В качестве инструмента для апробирования методики оценки живучести свайных удерживающих конструкций методом конечных элементов был использован программный комплекс «Plaxis 3D Foundation», который позволяет: поэтапно моделировать стадии загрузки; описывать поведение грунта нелинейной моделью Кулона-Мора; использовать несколько типов элементов для моделирования различных видов напластования грунтов. «Plaxis 3D Foundation» хорошо зарекомендовала себя в инженерных расчетах склонов и откосов грунта. В настоящее время он считается одной из наиболее совершенных программных систем, применяемых для расчета сооружений, взаимодействующих с грунтом [11].



Рис.1. Повреждения системы «массив грунта – удерживающее сооружение – основание»  
 Fig. 1. Damage to the system, "an array of ground - retention structure - foundation"

Таблица 1. Предлагаемые изменения в расчетной модели при оценке живучести свайного удерживающего сооружения с заданными единичными повреждениями  
 Table 1. Changes in the calculation model in the evaluation of survivability pile retaining structures with specified single lesions

Вид задаваемого повреждения	Целесообразные изменения, вносимые в расчетную модель при различных видах оценки живучести	Примечание
Выключение сваи из работы сооружения	1. Без изменений	-
	2. Изменение характеристик грунтового массива под воздействием грунтовых вод	-
	3. Внешний пригруз массива грунта	-
	4. Сейсмические воздействия	При рассмотрении длительной живучести
Выключение участка свайного ростверка	Те же	-
Удаление участка грунта перед сооружением (с учетом рельефа местности)	1. Без изменений	-
	2. Изменение характеристик грунтового массива под воздействием грунтовых вод	При рассмотрении длительной живучести

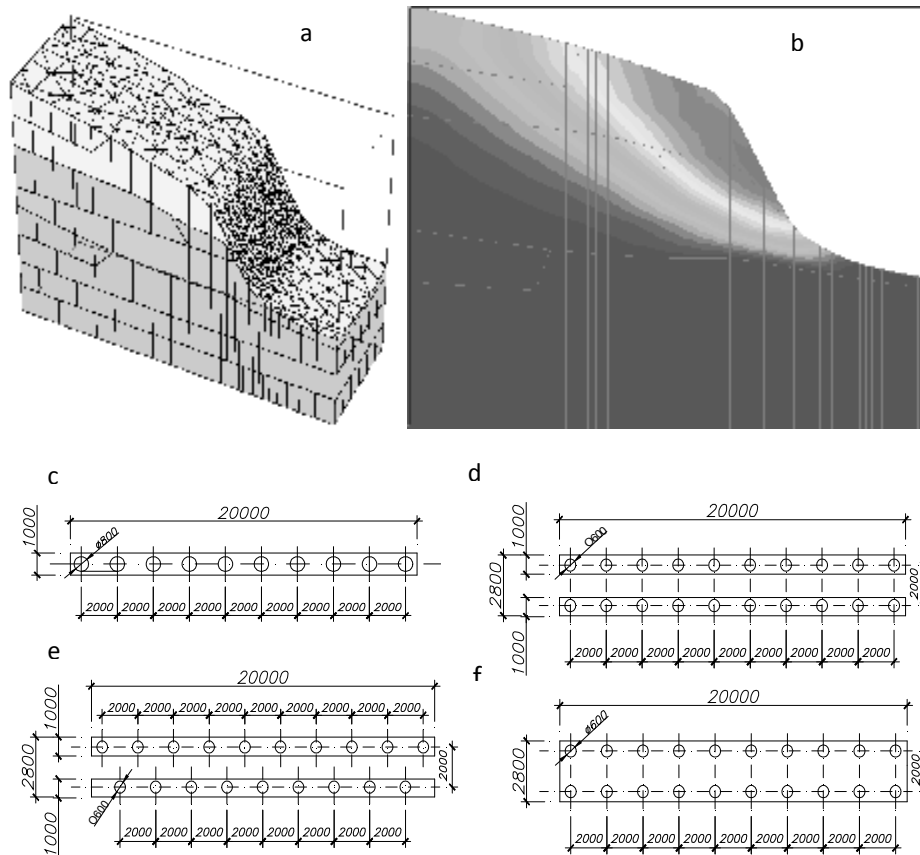


Рис. 2. Модели грунтового массива и свайных удерживающих сооружений: а - модель массива; б – потенциальная призма скольжения; с – однорядная удерживающая конструкция, d, - двухрядная конструкция с раздельным ростверком и параллельным расположением свай: е - то-же с шахматным расположением свай, f - двухрядная с общим ростверком. с-f – соответственно модели 1-4

Fig. 2. Models of the soil mass and pile retaining structures: a - the array model; b - a potential prism slip; c - single-row retaining structure, d, - double-row design with a separate grillage and a parallel arrangement of piles: e - same-staggered piles, f - duplex structure with a common grillage. cf - respectively the model 1-4

В численном эксперименте использовались четыре варианта моделей свайных удерживающих конструкций [12]: 1-я модель - с 1-рядным расположением свай; 2-я модель - с 2х-рядным расположением свай с параллельными ростверками; 3-я модель - с 2х-рядным «шахматным» расположением свай с параллельными ростверками; 4-я модель – с двухрядным расположением свай и общим ростверком (рис.1). Многослойный грунтовой массив был построен в 3 D модели для учета развития объемных сил и имеющихся резервов устойчивости склона и работы системы. Оценку единичной живучести сооружения осуществляли путем «выключения» в процессе «работы» системы одного из элементов сооружения: сваи; участка свайного ростверка. Удаление участка грунта перед сооружением на данной стадии исследования не рассматривалось в связи с необходимостью разработки моделей повреждений.

Расчетную оценку живучести при повреждении свай для каждой из моделей проводили в следующих комбинациях: без активации удерживающей конструкции; с удерживающей конструкцией; с удерживающей конструкцией и последующим повреждением (выключением из работы сваи); с поврежденной

удерживающей конструкцией и изменениями в характеристиках грунтового массива.

Введение повреждений во всех моделях сопровождалось перераспределением напряжений с поврежденных конструкций на другие конструкции сооружения. В табл. 2 представлены расчетные данные о поведении сооружений при различных конфигурациях моделей. Как видно из таблицы, модель 1 при повреждении сваи не разрушилась, но перестала выполнять свои функции из-за просачивания грунта в месте повреждения. Модели 2 и 3 сохранили свою живучесть, так как перегрузка свай при перераспределении усилий с поврежденной конструкции не превысила 40% (заложенный запас прочности). При этом живучесть модели 3 оказалась больше из-за более равномерного перераспределения усилий на другие конструкции. В модели 4, характеризовавшейся до активации повреждения более равномерным распределением усилий между сваями, при выключении сваи произошло разрушение близлежащих свай второго ряда.

Оценка поведения моделей удерживающих сооружений с поврежденными сваями и воздействием грунтовых вод показала, что

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДХОДОВ ЕДИНИЧНОЙ ЖИВУЧЕСТИ

соотношение усилий в сваях сохранилось, но их величина несколько увеличилась.

Оценка живучести свайных удерживающих конструкций при внесении единичных повреждений в свайный ростверк путем удалении его участка между сваями не вызвала существенных изменений максимальных изгибающих моментов на остальных участках ростверка и в сваях.

Вместе с тем, предложенная методика оценки живучести свайных удерживающих конструкций требует совершенствования в области видов и параметров вносимых изменений в систему «грунтовый массив – сооружение – основание», основанного на проведении дальнейших исследований.

### ВЫВОДЫ

- Сложные и трудно прогнозируемые условия формирования повреждающего фактора приводят к целесообразности применения для оценки стойкости к прогрессирующему разрушению свайных удерживающих сооружений метода единичной живучести.

Метод предусматривает задание вида и масштаба единичного повреждения и последующей оценки возможности возникновения лавинообразного разрушения сооружения;

- Как показали численные исследования в программном комплексе «Plaxis 3D Foundation», использование метода единичной живучести для свайных удерживающих конструкций дает адекватные результаты, позволяющие учесть их при проектировании и реконструкции сооружений;
- При формировании повреждающего фактора происходят изменения в грунтовом массиве и других элементах системы «Грунтовый массив- удерживающее сооружение-основание». Для повышения точности оценки живучести сооружения в расчетные модели целесообразно вводить предполагаемые изменения системы, учитывая рельеф местности, географические и инженерно-геологические характеристики участка, те или иные внешние воздействия.

Таблица 2. Поведение моделей сооружений при различных их конфигурациях  
Table 2. The behavior of structures under various models of their configurations

Мо- дель	Результаты оценки живучести сооружений при различных конфигурациях моделей			
	Работа без удерживающего сооружения	Работа с удерживающим сооружением	Работа с удерживающей конструкцией при повреждении сваи	Работа с удерживающей конструкцией при повреждении сваи и воздействии грунтовых вод
1	Разрушение грунтового тела	Стабилизация массива	Просачивание грунта на участке повреждения. Увеличение максимального изгибающего момента в сваях, близлежащих к поврежденной на 9%	Просачивание грунта на участке повреждения. Увеличение максимального изгибающего момента в сваях, близлежащих к поврежденной на 14%
2	То-же	То-же	Увеличение максимального изгибающего момента в соседних сваях на 4 %, в близлежащих сваях второго ряда до 17 %	Увеличение максимального изгибающего момента в соседних сваях на 6 %, в близлежащих сваях второго ряда до 21%
3	То-же	То-же	Увеличение максимального изгибающего момента в соседних сваях на 4%, в близлежащих сваях второго ряда на 8%	Увеличение максимального изгибающего момента в соседних сваях на 6%, в близлежащих сваях второго ряда на 12%
4	То-же	То-же	Увеличение максимального изгибающего момента в соседних сваях на 9%, в близлежащих сваях второго ряда на 47%	Увеличение максимального изгибающего момента в соседних сваях на 11%, в близлежащих сваях второго ряда на 56%

ЛИТЕРАТУРА

1. Стекольников Ю.И., 2003. Живучесть систем. Теоретические основы. – М.: Политехника. – 155.
2. Ключева, Н.В. 2006. Экспериментально теоретические исследования живучести эксплуатируемых железобетонных рам при внезапных повреждениях. // Бетон и железобетон.- №6, 12-15.
3. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. М., 2005. – 40.
4. СТО-008-02495342-2009. Предотвращение прогрессирующего обрушения железобетонных монолитных конструкций зданий. Проектирование и расчет. - М.: ОАО ЦНИИПромзданий.-21.
5. Тихонов И.Н., 2006. К проектированию зданий из железобетона с учетом защиты от прогрессирующего обрушения / И.Н.Тихонов, М.М.Козелков, А.Р.Демидов.// Бетон и железобетон. - №6, 6 - 10.
6. Кудишин Ю.И., 2008. К вопросу о живучести строительных конструкций/ Ю.И.Кудишин, Д.Ю.Дробот// Строительная механика и расчет сооружений. – № 2 (217), 36 - 43.
7. Дьяков И., 2013. Оценка живучести отдельных стоящих фундаментов на основе изучения процесса их разрушения// MOTROL.- Vol. 15, №5, 115-122.
8. Барыкин Б., Барыкин А., 2012. К вопросу о биопозитивном строительстве на сложном рельефе // MOTROL.- Vol. 14, №6, 123 - 129.
9. Чеботарева Е., 2010. Исследование напряженно-деформированного состояния отдельных стоящих двухслойных железобетонных фундаментов методом компьютерного моделирования// MOTROL.- №12D, 156 - 161.
10. ДБН В.1.2-14-2009. Общие принципы обеспечения надежности и конструктивной безопасности зданий, сооружений строительных конструкций и оснований. К.: Мінрегіонбуд України.- 41.
11. Определение напряженно-деформированного состояния откосов и склонов в системе «Plaxis», 2012//Под ред. Гришина В.А. – К.: НДИ Подземспецстрой.-118.
12. Дьяков И.М., 2013. Оценка живучести свайных удерживающих конструкций // Строительство, материаловедение, машиностроение / Сб. научн. Трудов ПГАСА. – Вып..69, 169 - 174.

APPLICATION OF THE APPROACH OF UNIT VITALITY TO EVALUATE THE SURVIVABILITY OF THE PILE RESTRAINT OF STRUCTURES

**Summary.** Resistance pile retaining structures ensures safe use of areas, buildings and structures located above and below the terrain. In line with this, many of these facilities in accordance with the regulations require approaches to ensure their survivability. The proposed method of determining the survivability of pile retaining structures allows for the operation stage to assess the need of strengthening or replacement facilities, and at the design stage to provide the necessary resistance to the progressive destruction of the buildings.

**Key words:** pile retaining structures, persistence, progressive destruction