УДК 624.151.5
И.М. Дьяков, к.т.н., доцент

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖИВУЧЕСТИ МАССИВНЫХ БУТОБЕТОННЫХ ПОДПОРНЫХ СТЕН ПРИ ЛОКАЛЬНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЯХ ОСНОВАНИЯ

Национальная академия природоохранного и курортного строительства, Симферополь
email: karta3@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены причины и виды повреждения основания массивных подпорных стен. Выбран программный комплекс, расчётная модель и методика для проведения численных экспериментов. Приведены некоторые результаты численных экспериментальных исследований, дан их анализ. Выявлены основные особенности напряженно-деформированного состояния системы «грунт-подпорная стена-основание» при заданных локальных повреждениях основания. Определено влияние повреждения основания на живучесть подпорных стен.

Ключевые слова: живучесть, повреждения основания, стойкость к прогрессирующему разрушению, программный комплекс Plaxis, массивная подпорная стена.

Введение. Массивные подпорные стены занимают лидирующее положение в распространении по территории Крыма и используются для удержания откосов грунта и оползней. В большинстве случаев они выполнены из бутовой кладки, реже встречаются сборные и монолитные железобетонные конструкции. Широкое распространение данных сооружений связано с относительно низкой стоимостью, простотой возведения и универсальностью.

В последние годы увеличилось количество аварий массивных подпорных стен, основными причинами которых стали запредельные нагрузки на сооружения со стороны грунта засыпки, повреждения самих сооружений и грунтового основания [1]. Последняя причина встречается наиболее часто, и требует проведения целенаправленных исследований для выявления ее влияния на напряженно-деформированное состояние сооружения и грунтового основания, разработки мероприятий по повышению живучести системы «грунт-сооружение-грунтовое основание».

Анализ публикаций. Исследования в области работы массивных подпорных стен во взаимодействии их с грунтом проводились на протяжении многих лет. Наиболее известны работы М.И. Горбунов-Посадова, О.Я. Шехтера, Г.К. Клейна, Н.К. Снитко, С.И. Алексеева, Н.И. Безухова, В.П.Кожушко, П.И.Яковлева, и др. Вместе с тем авторы рассматривали работу сооружений преимущественно в рамках предельных состояний, не допускающую возможность возникновения повреждений в основании.

Исследования в области прогрессирующего разрушения сооружений, обеспечения их живучести при запредельных воздействиях и повреждениях активно проводятся такими учеными, как: Н.С. Стрелецкий, Н.П. Абовский, В.И. Колчунов, Г.А. Гениев, Г.И. Шапиро, В.И. Травуш, Н.В. Клюева, А.В. Перельмутер, П.Г. Еремеев, Б.С. Расторгуев, В.М. Бондаренко, Я.М. Айзенберг, Ю.И. Кудишин, В.О. Алмазов, А.И. Плотников, А.Г. Тамразян, В.М. Ройтман,

С.В. Доронин, В.В. Тур, В.К. Востров, Ю.П. Назаров, В.Н. Симбиркин и др. При этом вопросы живучести конструкций, взаимодействующих с грунтом, и подпорных стен в частности не изучались.

Цель и постановка задач. Цель работы: на основании анализа проведенных численных исследований выявить особенности напряженно-деформированного состояния и потери живучести системы «грунт - подпорная стена - основание» при возникновении повреждений основания.

Задачи работы:

- Определить причины и виды повреждения основания массивных подпорных стен;
- Обосновать некоторые параметры расчетной модели для проведения численного эксперимента;
- Проанализировать результаты численного эксперимента и выявить закономерности влияния повреждения основания на живучесть сооружения.

Методика исследования. Методика исследования включала численный эксперимент, анализ экспериментальных исследований.

Результаты и их анализ. В Крыму в последнее десятилетие произошло значительное количество аварий массивных подпорных стен, связанных с повреждением основания сооружения. Некоторые из них:

- Керчь, 2007 г. – из-за нарушения правил проведения земляных работ на участках горы Митридат и продолжительных осадков произошло разрушение подпорной стены, обвалившейся на две автомашины;
- Дорога на Ай-Петри, 2008 год, в 200 метрах от выезда на горное плато, произошло обрушение участка подпорной стены, потерявшего локальную устойчивость. В образовавшийся вывал просочился грунт.
- Алупка, сентябрь 2008 г. – вследствие проведения земляных работ у массивной подпорной стены из бутобетона произошла авария сооружения с повреждением канализационного коллектора и утечкой канализационных вод в объеме 7 тыс.м^3 в море;
- 51-м километр автодороги Ялта-Бахчисарай, сентябрь 2012 г. – обрушение участка подпорной стены из-за подмыва грунта основания после дождей. Временно остановлена эксплуатация дороги;
- г. Ялта, пансионат «Крымский», январь 2013 г. - обрушение подпорной стены на участке проведения строительных работ. В результате аварии произошло обрушение грунта и обрыв линия электропередачи высокого напряжения. Без электроэнергии остались 150 семей;
- пгт. Гаспра, 2014 г. – разрушение подпорной стены вдоль Алупкинского шоссе с обрушением участка дороги из-за потери устойчивости участка основания подпорной стены при активизации склоновых процессов. Остановлено движение по трассе.

Изучение этих и других аварий подпорных стен позволило выделить следующие основные причины локальных повреждения оснований:

- механические повреждения, вызванные производством земляных работ, в том числе устройством траншей, планировкой территории и т.д.
- повреждения, связанные с изменением физико-механических характеристик грунта основания, в том числе с увлажнением грунта, суффозией, и т.д.
- повреждения, вызванные склоновыми процессами, затрагивающие прежде всего грунт, расположенный перед и под подпорной стеной (осыпями, обвалами, водной эрозией грунта, смывом, размывом, подмывом грунта и т.д.).

Для проведения численного эксперимента по изучению влияния повреждений основания на живучесть подпорных стен был выбран программный комплекс Plaxis 3D, хорошо зарекомендовавший себя в геотехнических расчетах, в том числе связанных с взаимодействием сооружения с грунтом [2]. В численном эксперименте использовался грунтовый массив, сложенный суглинками. Толщина подпорной стены у фундамента составляла 1,2 м, высота - 4м, длина участка стены - 10 м, глубина заложения фундамента в грунт - 1 м.

Учитывая, что в реальных условиях характеристики повреждения основания являются неопределенными и сложно прогнозируемыми, при моделировании варьировались следующие их основные свойства: геометрические параметры (длина и глубина), расположение относительно центра стены и характеристики грунта на поврежденном участке (измененные физико-механические характеристики грунта либо отсутствие грунта). Рассматриваемый численный эксперимент включал исследования работы континуальных подпорных стен при повреждениях грунтового основания перед и под стеной в средней части сооружения. При этом в качестве повреждения основания принималось полное удаление грунта на рассматриваемом участке, как наиболее критический вариант работы системы.

Повреждения в основании (выемки) моделировались в ПК «Plaxis 3D» путем задания их формы на поверхности грунта и дальнейшей экструзии грунтового массива. В процессе эксперимента полученным объемам первоначально присваивались свойства грунта основного массива, которые на определенном этапе эксперимента обнулялись. Расстояние от подпорной стены до задаваемых повреждений составляло 0 м, ширина повреждений – 4 м, глубина выемок: 1,0 м и 2,0 м. При этом выемка глубиной 2 м имела на отметке ниже фундамента стены ширину 2 м и распространялась под стену. Повреждения в основании задавались последовательно. В исследованиях были проанализированы: эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил в подпорной стене, деформации и напряжения в грунтовом массиве.

Как видно из рисунка 1, введение повреждений активизировало дополнительные деформации грунтового массива, что привело к увеличению крена стены.

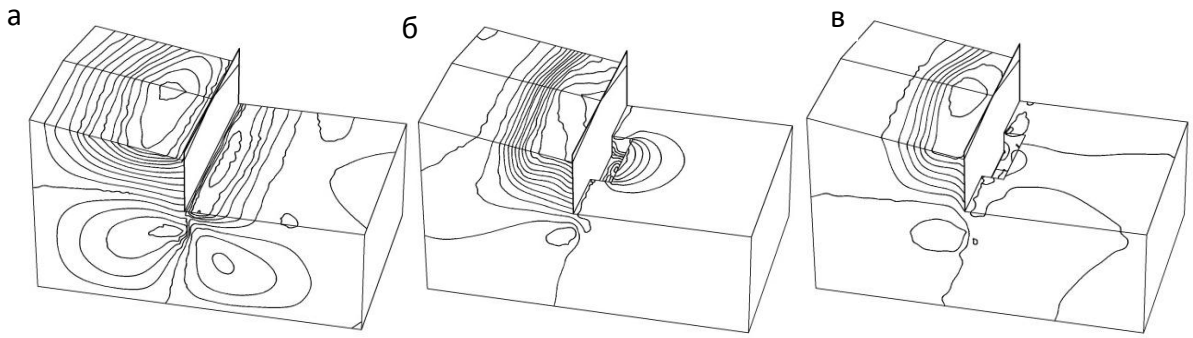


Рис.1. Деформация грунтового массива без повреждений (а) и дополнительные деформации в массиве по оси «х» при введении неглубокого и глубокого повреждения (б, в)

Введение неглубокого повреждение в грунтовое основание привело к росту величины максимального положительного изгибающего момента в стене M_{22} на 3,2 %, а увеличение глубины повреждения с развитием его под стену - к повышению момента M_{22} на 33% (рис.2). Одновременно изменялось поле распределения изгибающего момента (рис.3). Так при отсутствии повреждении, максимальный положительный изгибающий момент M_{22} наблюдался в центральной части стены в уровне поверхности грунта перед стеной. Введение повреждений привело к его перераспределению от центра к краям стены. Отрицательные значения момента M_{22} имели незначительную величину и мало изменялись в эксперименте (рис.2).

Увеличение максимального положительного изгибающего момента M_{11} при повреждении небольшой глубины составило 3,5% (рис.2). При этом в 2,03 раза возрос отрицательный изгибающий момент, имевший изначально небольшое значение. При повреждении большой глубины преобладающим стал отрицательный изгибающий момент M_{11}. В итоге увеличение положительного момента составило 2,4 раза, а отрицательного 7,36 раз. Максимальные положительные значения момента M_{11} достигались у повреждения, а отрицательные значения на удалении к краевым зонам стены (рис. 3, г-е).

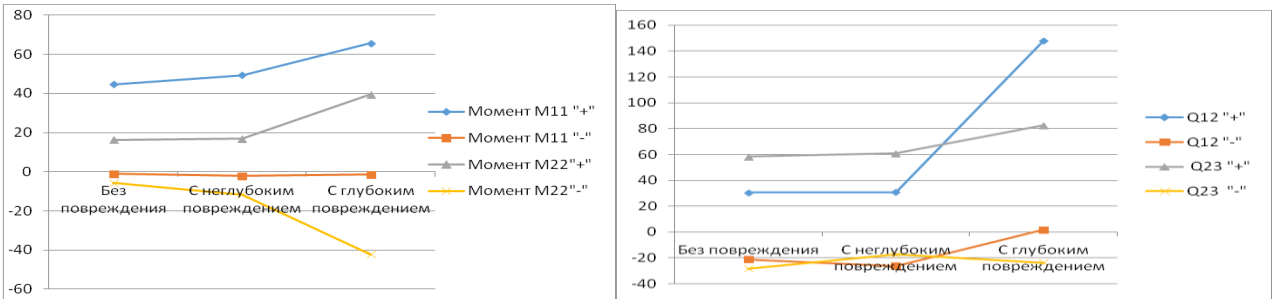


Рис.2. Изменения максимальных усилий в подпорной стене при повреждениях в грунтовом основании

Наиболее высокий уровень в стене, как без повреждения, так и с повреждениями основания, был достигнут изгибающим моментом M_{22}. Вместе с тем при глубоком повреждении основания изгибающий момент M_{11} продемонстрировал наибольший рост и приблизился по значению к моменту M_{22}. Высокие значения момента M_{11} наблюдались как с положительным, так и с отрицательным знаком. В связи с этим, можно сделать вывод, что локальное повреждение основания могут являться одной из причин возникновения вертикальных трещин в континуальных подпорных стенах, традиционно не имеющих достаточного армирования в горизонтальном направлении для восприятия возникающих усилий.

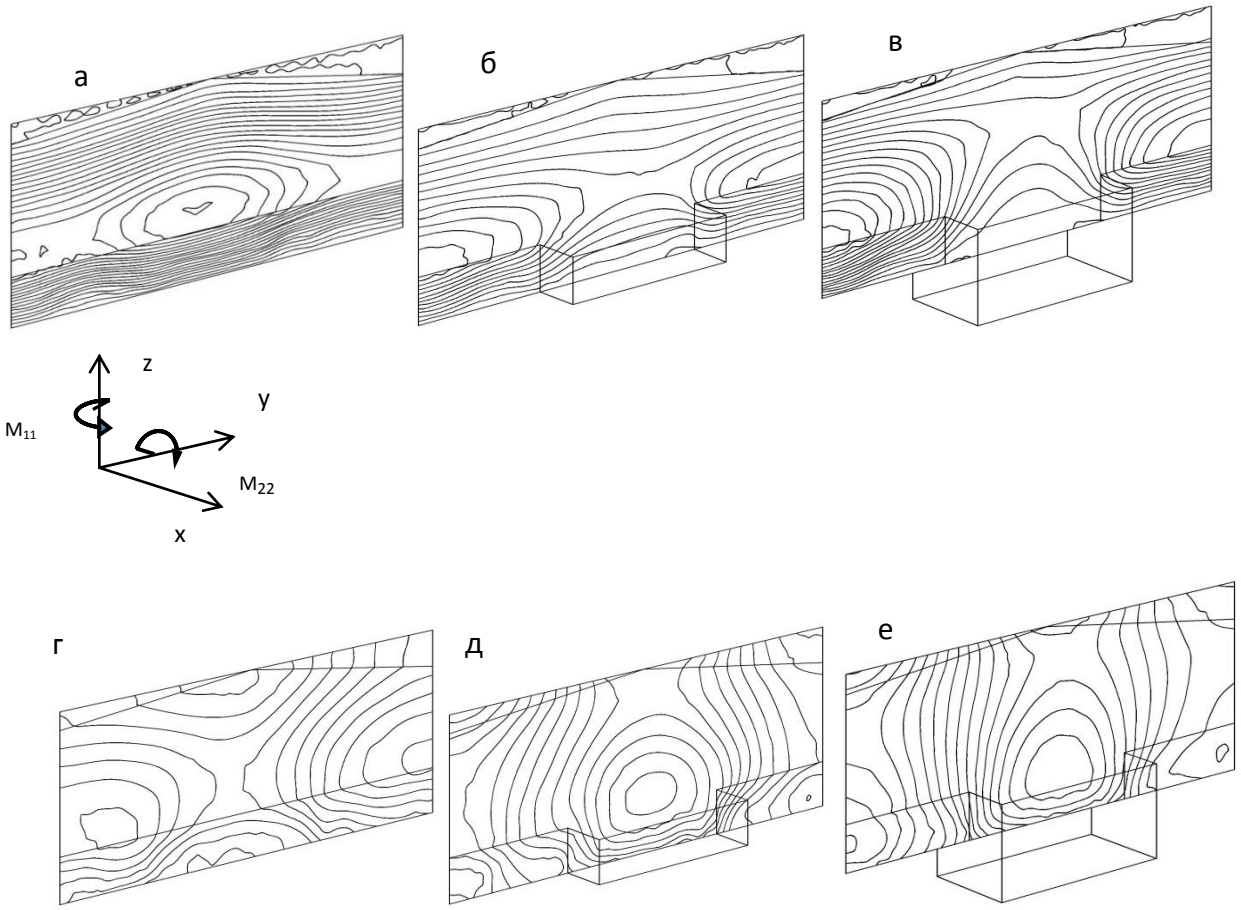


Рис.3. Поля изгибающих моментов в стене: а-в - M_{22}, г-е - M_{11}

Существенный рост поперечных сил Q_{12} в стене, достигший 4,85 раз, наблюдался только при введении глубокого повреждения основания (рис.2, 4). Поперечные силы Q_{23} при введении глубокого повреждения возросли в 1,42 раза. При отсутствии повреждений максимальная поперечная сила Q_{23} концентрировалась ниже уровня поверхности грунта перед сооружением, равномерно распределяясь по длине стены (рис.4). При введении повреждений, концентрация Q_{23} наблюдалась в том же уровне, но на участках за пределами повреждения.

Сравнение величины поперечных сил в стене показало, что при отсутствии повреждений в грунте или повреждениях небольшой глубины

преобладающими являлись поперечные силы Q_{23}, а при введении глубоких повреждений – поперечные силы по оси Q_{12}.

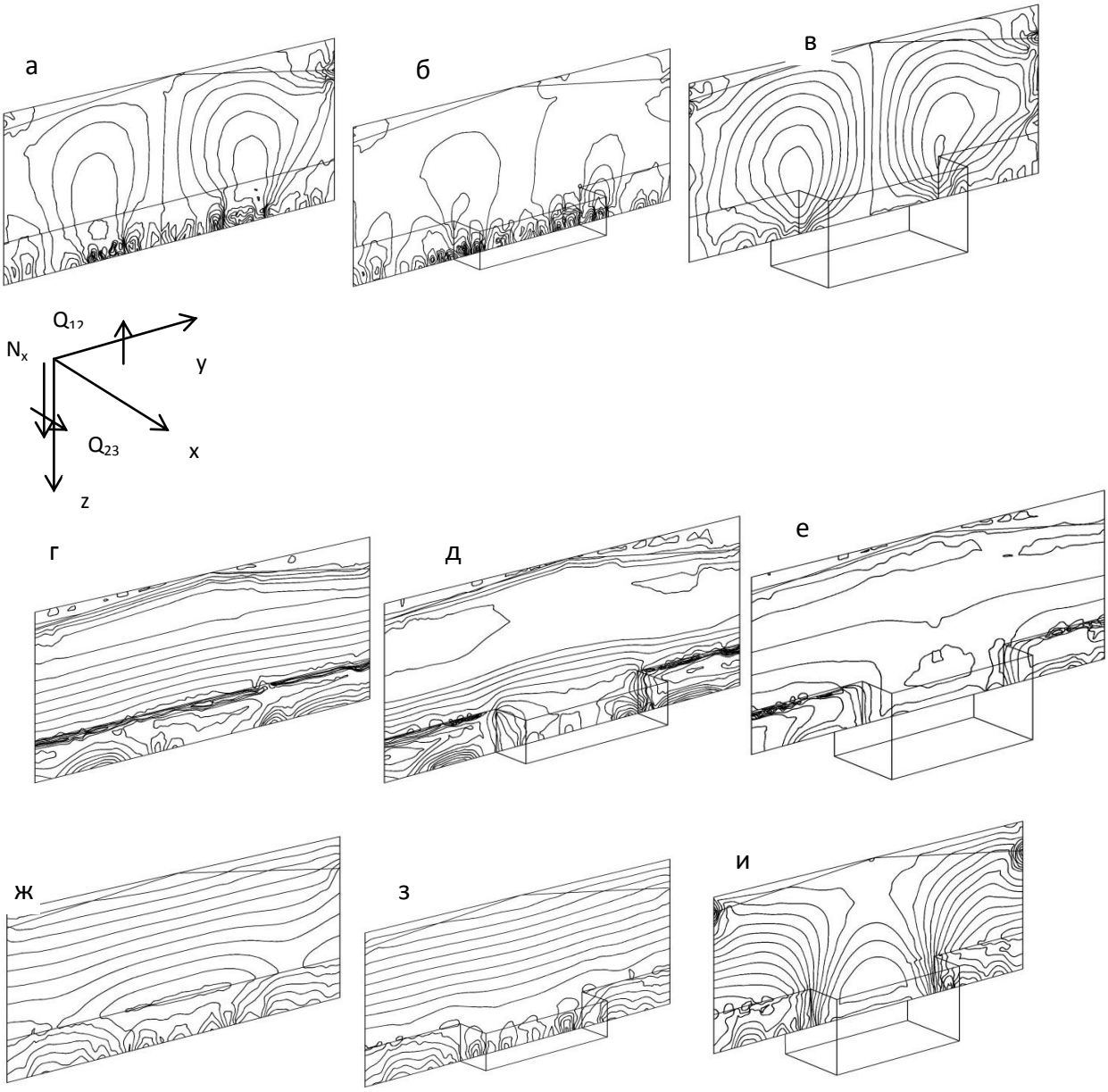


Рис.4. Поле поперечных и продольных сил в стене: а-в - Q_{12}; г-е - Q_{23}; ж-и - N_z

Изучение продольных сил N_z в стене» позволило установить, что в нижней части стены у глубокого повреждения возникало растяжение. На рис. 4,и прослеживается образование арочного эффекта и участка растяжения в стене над повреждением. Вертикальное растяжение в стене в сочетании с концентрацией поперечных сил и изгибающих моментов на участке над повреждением создает условия для развития низких вывалов в сооружении.

Увеличение максимальной величины сжимающей продольной силы в эксперименте составило 1,43 раза с концентрацией на участках вне повреждения. Соответственно увеличилась нормальные контактные напряжения в грунте, что при определенных условиях может привести к потере

устойчивости участков основания и дальнейшего изменения напряжений в сооружении.

Выводы. Введение повреждений в грунтовое основание у средней части подпорной стены приводит к изменению характера работы системы «грунт – сооружение – грунтовое основание». Среди основных изменений можно выделить:

- Увеличение крена и смещения стены, дополнительные деформации грунта засыпки и основания;
- Возрастание величины изгибающих моментов, поперечных и продольных сил в конструкции стены, а на отдельных участках – их знака;
- Создание условий для образования низких вывалов и вертикального трещинообразования;
- Возрастание нормальных контактных и других напряжений в грунте на участках грунтового основания за пределами повреждения.

Для подпорной стены глубокие повреждения, расположенные ниже отметки подошвы фундамента и заходящие под фундамент, являются более опасными, чем неглубокие повреждения, в связи с большей степенью их влияния на работу системы.

Возникновение повреждений в основании подпорной стены может привести к потере живучести системы «грунт – сооружение – грунтовое основание» за счет: разрушения конструкции при превышении усилиями несущей способности; опрокидывания или сдвига сооружения; образование вывалов с дальнейшим просачиванием грунта.

Список литературы

1. Дьяков И. М. Некоторые аспекты оценки живучести удерживающих конструкций и подпорных стен / И. М. Дьяков // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. — Симферополь : НАПКС, 2013. — Вып. 45. — С. 24—28.
2. Определение напряженно-деформированного состояния откосов и склонов в системе «Plaxis»/Под ред. Гришина В.А. –К.: НДИ Подземспецстрой, 2012.-118 с.

ЧИСЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЖИВУЧОСТІ МАСИВНИХ БУТОБЕТОННАЯ ПІДПІРНИХ СТІН ПРИ ЛОКАЛЬНИХ УШКОДЖЕННЯХ ПІДСТАВИ

І.М.Дьяков

Анотація. Розглянуто причини та види пошкодження основи масивних підпірних стін. Обраний програмний комплекс, розрахункова модель і методика для проведення чисельних експериментів. Наведено деякі результати чисельних експериментальних досліджень, їх аналіз. Виявлено основні особливості напружено-деформованого стану системи «грунт - підпірна стіна - основа» при заданих локальних пошкодженнях основи. Визначено вплив пошкодження основи на живучість підпірних стін.

Ключові слова: живучість, пошкодження основи, стійкість до прогресуючого руйнування, програмний комплекс Plaxis, масивна підпірна стіна.