



# ОЦЕНКА ОТПОРНОЙ СПОСОБНОСТИ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ ПРИЧАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ РАСПОРНОГО ТИПА

УДК 627.33:624.046

## АВТОРЫ

**ХОНЕЛИЯ Н.Н.**, к. т. н., доцент, Одесский национальный морской университет

**СЛОБОДЯНИК А.В.**, ассистент, Одесский национальный морской университет

**БАГРАТИОНИ Р.Р.**, магистр, Одесский национальный морской университет

## АННОТАЦИЯ

*Рассмотрены результаты исследований несущей способности грунтового основания эксплуатируемых распорных сооружений на основе разработанной расчетной схемы системы «сооружение - основание».*

*The results of studies of bearing capacity of soil media structures of the operated spacer type on the basis of the developed design scheme of the "structure -basis" to determine the basis are considered.*

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

боковое давление, предельное и допредельное напряженное состояние, грунтовая среда, несущая способность

Причальные сооружения распорного типа являются широко распространённым видом строительных конструкций, которые применяются в гидротехническом строительстве, где образуют причальный фронт морских и речных портов.

Требования к портовым гидротехническим сооружениям распорного типа обуславливают решения одной из основных задач – определение несущей способности грунтового основания или, в более общей формулировке, отпорного сопротивления. Необходимость исследования несущей способности оснований обусловлена развитием морского транспорта, которая ставит задачу модернизации грузовых комплексов и изменение их специализации. Это приводит к изменению эксплуатационного режима и необходимости обработки новых судов, что также определяет актуальность решения задачи по оценке отпорного сопротивления грунта основания.

Оценка прочности грунтовых оснований имеет первостепенное значение при проектировании причальных гидротехнических сооружений распорного типа. Надежность и экономичность рассматриваемых сооружений во многом определяет успех строительства и эксплуатации. К настоящему времени достигнута высокая степень развития теории прочности оснований, в рамках которой рассматривается данная проблема. Однако, остается ряд принципиальных вопросов, решение которых необходимо для дальнейшего развития и совершенствования практических методов расчета их несущей способности.

Фундаментальной основой расчетных методов оценки несущей способности оснований является теория предельного равновесия грунтов. Практическая значимость решений теории предельного равновесия сохраняется и теперь, когда получили большое распространение численные методы анализа упруго-вязко-пластического деформирования грунтов. Статические решения теории предельного равновесия, многократно проверенные на практике, позволяют надежно устанавливать величину предельной нагрузки. Поэтому, результаты этих решений включены в нормативные документы для выполнения расчетов оснований сооружений по первой группе предельных



состояний.

Изучению вопроса развития областей предельного состояния грунта, определению предельной нагрузки, вызывающей образование этих областей под подошвой фундамента сооружения и влиянию этих факторов на работу системы «сооружение - основание» посвящен ряд известных работ Л.М. Гольдштейна [1], С.С. Вялова [2], М.В. Малышева [3], К.Акай [4], Н.Лундгрена и К. Мортенсена [5] и многих других.

В настоящее время методы расчета оснований, которые применяются при проектировании причальных сооружений, не учитывают в грунтовом основании, взаимодействующем с подошвой сооружения, наличие и трансформацию зон предельного и допредельного напряженного состояния.

Таким образом, целесообразно выполнить исследования отпорной способности основания причального сооружения распорного типа с учетом особенностей его работы и обратной засыпки, на основе разработанного метода расчета системы «сооружение - основание» [6, 7]. Предложенный метод позволяет определить отпорную способность в рамках модели смешанного напряженного состояния под подошвой сооружения и вокруг подошвы. Важнейшим фактором, который влияет на оценку отпорной способности грунтовых оснований причальных сооружений распорного типа и во многом определяющим характер работы системы «сооружение-основание», являются величина и характер нагрузок, действующих на сооружение, в том числе и нагрузка от бокового давления грунта.

Следует отметить, что разрушения сооружений распорного типа, для которых соблюдаются условия нормальной эксплуатации (когда свойства засыпки и другие параметры соответствуют проектным), вероятнее всего являются следствием несоответствия принятой расчетной схемы стенки реальным условиям работы конструкции: особенности взаимодействия стенки с окружающей грунтовой средой (засыпка и основание) при расчете несущей способности основания обеспечивают более высокие значения ее отпорной способности.

Для рассматриваемых сооружений характерны два этапа взаимодействия с засыпкой: этап возведения, включающий устройство обратной засыпки, и этап эксплуатации, при котором на сооружение воздействует эксплуатационная нагрузка  $q$ .

Расчетная схема загрузки причала распорного типа для конструкции из бетонных массивов для этапа его эксплуатации показана на рис. 1.

Распорное давление на стенку от собственного веса грунта и эксплуатационных нагрузок определяется с учетом угла трения  $\delta$  материала засыпки по грунту в пределах высоты надстройки, по тыловой поверхности бетонных массивов в пределах высоты разгрузочной призмы и по тыловой поверхности бетонных массивов.

В качестве обратной засыпки за тыловой плоскостью стенки применяется каменная разгрузочная призма, щебеночный контрфильтр и песчаный грунт.

Следует отметить, что на первом этапе возведения сооружения распорное боковое давление от действия обратной засыпки уменьшается от начального (максимального) значения, соответствующего давлению покоя  $E_0$  до минимального значения, соответствующего

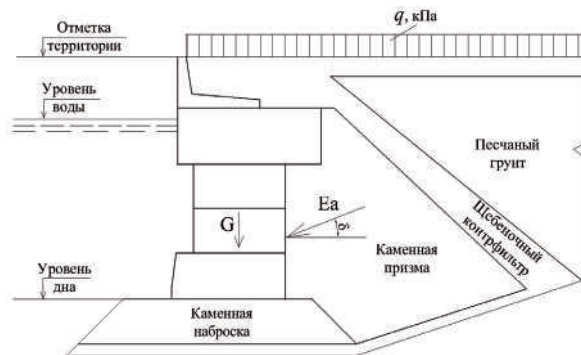


Рис.1. Расчетная схема загрузки причала для конструкции из бетонных массивов:  $E_a$  – активное давление засыпки;  $G$  – вес сооружения;  $q$  – эксплуатационная равномерно-распределенная нагрузка;  $\delta$  – трение материала засыпки по тыловой плоскости стенки

активному давлению  $E_a$ . Распорное давление обратной засыпки обусловлено действием ее собственного веса при отсутствии поверхностной эксплуатационной нагрузки  $q$ .

В работе рассматривается второй этап взаимодействия сооружения с обратной засыпкой (этап эксплуатации) при котором по мере приложения и увеличения интенсивности равномерно-распределенной нагрузки  $q$  значения активного давления засыпки будут увеличиваться от  $E_a$  до  $E_{np}$  (рис. 2) и будет происходить мобилизация отпорной способности основания под подошвой сооружения и вокруг подошвы.  $E_{np}$  – величина, соответствующая предельной равномерно-распределенной нагрузке  $q_{np}$ , рост которой приводит к потере устойчивости подпорной стенки.

Следует отметить, что в эксплуатационной стадии начальным состоянием системы «сооружение - грунтовая среда» считается отсутствие поверхностной эксплуатационной нагрузки  $q$ , когда на сооружение действует только активное (т.е. минимальное распорное) давление  $E_a$  обратной засыпки позади тыловой контактной грани стенки.

В этом состоянии устойчивость сооружения обеспечивается балансом сдвигающих (от активного давления  $E_a$ ) и удерживающих (за счет реактивного сопротивления грунтового основания, находящегося в допредельном напряженном состоянии) сил. По мере приложения и увеличения эксплуатационной нагрузки  $q$  будут расти как сдвигающие силы (за счет увеличения значения активного давления  $E_a$ ), так и реакция основания (за счет появления и развития в нем зон предельного напряженного состояния). Этот про-

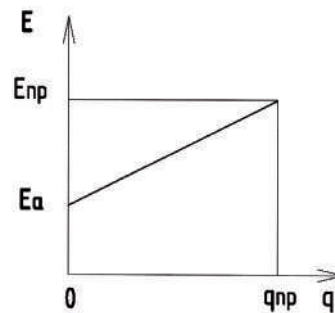


Рис.2. Зависимость бокового давления засыпки  $E$  от равномерно-распределенной нагрузки  $q$



цесс может продолжаться до достижения в грунтовом основании сооружения предельной несущей способности (когда весь грунт, взаимодействующий с подошвой сооружения, переходит в предельное напряженное состояние). Дальнейший рост внешней нагрузки может привести к потере устойчивости сооружения вследствие исчерпания несущей способности его грунтового основания.

Рост равномерно-распределенной нагрузки  $q$  приводит к увеличению активного давления засыпки и трансформации областей предельного и допредельного напряженных состояний грунта основания, которая сопровождается увеличением размеров первых и сокращением размеров вторых. Трансформация зон предельного и допредельного напряженных состояний грунта основания показана на рис. 3.

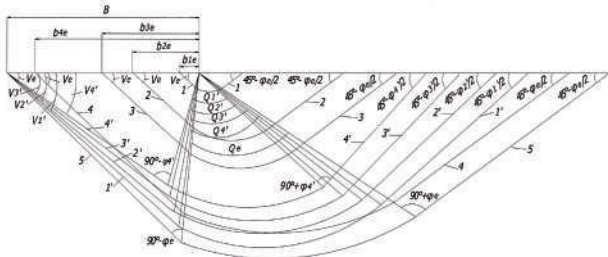


Рис.3. Трансформация зон предельного и допредельного напряженных состояний грунта основания:

1' – граница зоны допредельного напряженного состояния грунта основания при активном давлении  $E_a$ ; 2, 2'; 3, 3'; 4, 4' – границы зон предельного и допредельного напряженных состояний грунта основания по мере роста эксплуатационной нагрузки  $q$ ; 5 – граница призмы при достижении предельной отпорной способности грунта основания

Рост равномерно-распределенной нагрузки  $q$  в рассматриваемом интервале  $[0; q_{np}]$  в момент формирования зон предельного напряженного состояния сокращает размеры зон допредельного напряженного состояния и изменяет очертание границ поверхностей скольжения. Такой процесс продолжается до тех пор, пока ширина зоны предельного напряженного состояния не достигнет величины равной ширине подошвы сооружения.

На основе разработанной расчетной модели [6,7] в интервале нагрузок  $[0; q_{np}]$  и соответствующих им значений активного давления обратной засыпки  $[E_a; E_{np}]$  выполнены исследования системы «причалное

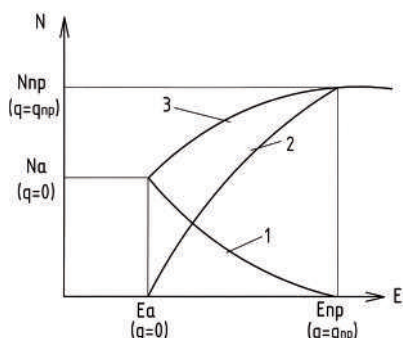


Рис.4. Зависимости отпорной способности грунтового основания в интервале давлений грунта засыпки  $[E_a; E_{np}]$ : 1 – допредельная составляющая отпорной способности грунта основания  $N'$ ; 2 – предельная составляющая отпорной способности грунта основания  $N_e$ ; 3 – результирующая отпорной способности грунта основания  $N$

сооружение - основание», качественные результаты которых показаны на рис. 4.

Зависимости отпорной способности грунтового основания, представленные на рис. 4, показывают, что в промежутках между крайними значениями давлений  $E_a$  и  $E_{np}$ :

- предельная составляющая отпорной способности основания  $N_e$  возрастает от нуля при активном давлении грунта за стенкой сооружения  $E_a$  до отпорной способности  $N_{np}$ , соответствующей некоторой величине активного давления  $E_{np}$ , которая соответствует величине  $q_{np}$ ;
- допредельная составляющая отпорной способности основания  $N'$  уменьшается от отпорной способности  $N_a$ , соответствующей активному давлению грунта  $E_a$  до нуля;
- результирующая отпорной способности грунта основания  $N$ , равная векторной сумме предельной и допредельной составляющих, увеличивается от отпорной способности  $N_a$ , соответствующей активному давлению грунта за стенкой  $E_a$  до отпорной способности, соответствующей величине давления  $E_{np}$ , при которой объем зоны предельного напряженного состояния грунта основания максимален.

Результаты исследований могут быть использованы на стадии проектирования с целью улучшения качественных показателей проекта, а также при анализе технического состояния эксплуатируемых сооружений, включающих в свой состав жесткие подпорные стенки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдштейн Л.М. О приближенном решении задачи пространственного предельного равновесия грунта / Л.М. Гольдштейн // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 1969. - № 5. - С. 12-15.
2. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов / С.С. Вялов. - М.: Высшая школа, 1978.
3. Малышев М.В. Прочность грунтов и устойчивость оснований сооружений / М.В. Малышев // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 1991. - № 2. - С. 15-17.
4. Akai K. On the stress distribution in the earth embankment end the foundation / Akai K. // Proceedings of the 4th Japan National congress for Appl. - Mech, 1954.
5. Lundgren H. Determination by the Theory of plasticity of the Bearing Capacity of Continuous Foktings on Sand / Lundgren H., Mortensen K. // Proceedings 3 Int. Conference of Soil Mechanics vend Foundation Engineering's V.J. - Zurich, 1953.
6. Хонелия Н.Н. Исследование несущей способности оснований портовых гидротехнических сооружений / Хонелия Н.Н. // Вестник Одесской государственной академии строительства и архитектуры. - Одесса: ОГАСА. - 2011. - № 7. - С. 141 – 153.
7. Дубровский М.П. К оценке несущей способности системы «причалное сооружение - грунтовая среда» / Дубровский М.П., Хонелия Н.Н. // Вісник Одеського національного морського університету. - Одесса: ОНМУ. - 2013. - С. 89 –94.