

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

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОСНОВАНИЯ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ РАСПОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Рассмотрены результаты исследований несущей способности грунтового основания эксплуатируемых распорных сооружений на основе разработанной расчетной схемы системы «сооружение – основание» для определения развития в основании зон предельного и допредельного напряженного состояния.

Ключевые слова: предельное и допредельное напряженное состояние, несущая способность, сооруже́ние распорного типа, эксплуатация.

*Н.Н. Хонелия, к.т.н., доцент
Одеський національний морський університет*

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ОСНОВИ РОЗПІРНИХ СПОРУД, ЯКІ ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ

Розглянуто результати досліджень несучої здатності ґрунтової основи споруд розпірного типу, які експлуатуються, на основі розробленої розрахункової схеми системи «споруда – основа» для визначення розвитку в основі граничного та дограничного напруженого стану.

Ключові слова: граничний і дограничний напружений стан, несуча здатність, споруда розпірного типу, експлуатація.

*N.N. Khoneliya, Ph.D.
Odessa National Maritime University*

RESULTS OF CARRYING SOIL MEDIA STRUCTURES OF THE OPERATED SPACER TYPE

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 for the development soilsublimit and limit stressed state.

Keywords: sublimit and limit stressed state, soil media, the construction of the spacer type, operation.

Введение. Оценка несущей способности оснований является важной научной проблемой при проектировании и эксплуатации распорных сооружений. К настоящему времени достигнута высокая степень развития рассматриваемого направления в области механики грунтов. Однако остается ряд принципиальных вопросов, решение которых необходимо для дальнейшего развития теории устойчивости и совершенствования практических методов расчета несущей способности грунтовых массивов. Особую сложность при анализе напряженно-деформированного состояния системы «сооружение – основание» представляет развитие областей предельного равновесия под подошвой сооружения и вокруг нее.

Следует отметить, что важнейшим фактором, который влияет на развитие областей предельного равновесия, являются величина и характер

нагрузок, действующих на распорное сооружение, в том числе и нагрузка от бокового давления грунта, которая в свою очередь зависит от интенсивности поверхностной эксплуатационной нагрузки q .

В СНиП 2.02.02-85 «Основания гидротехнических сооружений» подчёркнуто, что проектирование рассматриваемых сооружений должно осуществляться на основе результатов исследований их несущей способности с учетом инженерно-геологических условий участка возведения сооружения и условий его эксплуатации.

Таким образом, для обоснования надежности и безопасности эксплуатируемых распорных сооружений должны выполняться расчеты напряженно-деформированного состояния системы «сооружение – основание» на основе применения современных численных методов расчета несущей способности основания, с учетом максимального количества определяющих ее факторов.

Обзор последних источников исследований и публикаций. К настоящему времени разработаны различные методы расчета несущей способности оснований, которые применяются при проектировании и эксплуатации сооружений распорного типа. Научные положения по рассматриваемому вопросу заложены в трудах Л.М. Гольдштейна [1], Г.М. Ломизе [2], А.Л. Крыжановского [3], А.К. Бугрова [4] и других. Обсуждение на страницах журнала «Основания, фундаменты и механика грунтов» вопросов исследования развития областей предельного равновесия и выпора грунта из-под фундамента является весьма важным с точки зрения определения его несущей способности.

В методах, основанных на теории предельного напряженного состояния грунтовых оснований, принимается, что все основание находится в предельном состоянии. При заданной пригрузке определяется предельная величина усилий, вертикальных или наклонных, которые может воспринимать основание под сооружением. Рассматриваемые методы не учитывают одновременного возникновения и развития в грунтовом основании, взаимодействующем с подошвой сооружения, как зон предельного, так и допредельного напряженного состояния (т.е. не учитывают смешанную постановку задачи). Решение смешанной задачи очень сложно и трудоемко, здесь еще не выявлены вопросы, связанные трансформацией рассматриваемых зон по мере увеличения интенсивности равномерно распределенной нагрузки q . Предложение об учете под подошвой сооружения зон предельного и допредельного напряженного состояния при оценке отпорной способности оснований эксплуатируемых распорных сооружений в широком диапазоне нагрузок от бокового давления грунта засыпки сделано в работах [5 – 7].

Постановка задачи. Цель работы заключается в исследовании несущей (отпорной) способности оснований эксплуатируемых сооружений распорного типа для определения возникновения и трансформации

областей предельного и допредельного напряженных состояний грунта основания при использовании разработанной расчетной схемы [7] «сооружение – основание» по мере увеличения интенсивности равномерно распределенной нагрузки q .

Основной материал и результаты. Для решения поставленной задачи выполнено численное моделирование системы «сооружение – основание» с учетом особенностей работы сооружения и грунтовой засыпки позади тыловой контактной грани сооружения.

Схема распорного сооружения, взаимодействующего с грунтовой засыпкой, для этапа его эксплуатации показана на рис. 1.

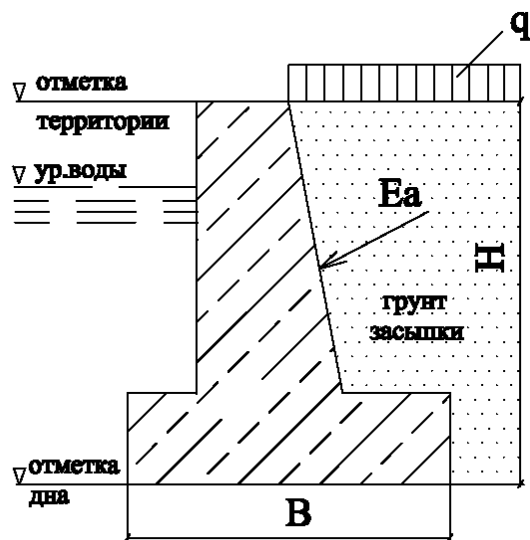


Рис. 1. Схема эксплуатируемого сооружения распорного типа:

H – высота сооружения; B – ширина подошвы сооружения; E_a – активное давление грунта засыпки; q – эксплуатационная равномерно распределенная нагрузка

При эксплуатации распорного сооружения по мере приложения и увеличения интенсивности равномерно распределенной нагрузки q значения активного давления грунта засыпки будут увеличиваться от E_a до E_{np} (E_{np} – величина активного давления, соответствующая предельной равномерно распределенной нагрузке q_{np} , превышение которой приводит к потере устойчивости сооружения), соответственно будет происходить мобилизация отпорной способности основания под подошвой сооружения и вокруг нее. Следует отметить, что при эксплуатации сооружения начальным состоянием системы «сооружение – основание» считается отсутствие поверхностной эксплуатационной нагрузки q , когда на распорное сооружение действует активное (т.е. минимальное распорное) давление E_a обратной засыпки.

По мере приложения и увеличения эксплуатационной нагрузки q будут увеличиваться значения активного давления E_a и реакция основания (за счет появления и развития в нем зон предельного напряженного состояния). Этот процесс 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 истощения несущей способности грунтового основания.

Процесс увеличения активного давления грунта засыпки сопровождается трансформацией областей предельного и допредельного напряженных состояний грунта основания, при которой увеличиваются размеры первых и сокращаются размеры вторых. На рис. 2 показан пример трансформации рассматриваемых зон по мере увеличения нагрузки q .

Как показано на рис. 2, 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 1 и $1'$, 2 и $2'$, 3 и $3'$, 4 и $4'$. Такой процесс продолжается до тех пор, пока ширина зоны предельного напряженного состояния не достигнет величины $b_e = B$. Следует отметить, что результирующая отпорной способности грунта основания N определяется как векторная сумма предельной и допредельной составляющих [7] и 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.

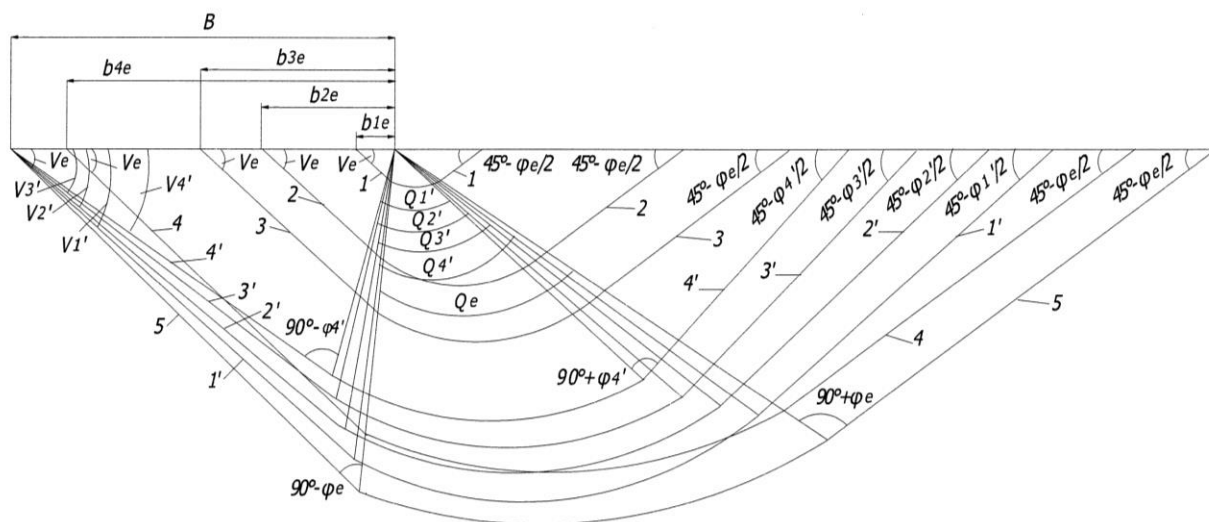


Рис. 2. Трансформация зон предельного и допредельного напряженных состояний грунта основания: $1'$ – граница зоны допредельного напряженного состояния грунта основания при активном давлении E_a , которое приводит к формированию зоны предельного напряженного состояния $1; 2, 2'; 3, 3'; 4, 4'$ – границы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

Для оценки отпорной способности основания эксплуатируемых распорных сооружений выполнены исследования рассматриваемой системы на примере однородного грунтового основания. В качестве примера рассчитывалось причальное распорное сооружение с шириной подошвы 8,0 м, глубиной воды 11,5 м и с характеристиками грунта: $\varphi = 26^{\circ}$, $\gamma = 9,6 \text{ Кн} / \text{м}^3$.

Для решения поставленной задачи проанализируем влияние отдельных факторов на отпорную способность основания с ростом эксплуатационных нагрузок и соответствующих значений активного давления грунта.

Одним из основных факторов, влияющих на отпорную способность оснований, является удельное сцепление грунта C , кПа . На рис. 3 показаны графики отпорной способности грунта основания при различных значениях C , кПа , и постоянных параметрах: $\varphi = 26^{\circ}$, $\gamma = 9,6 \text{ Кн} / \text{м}^3$.

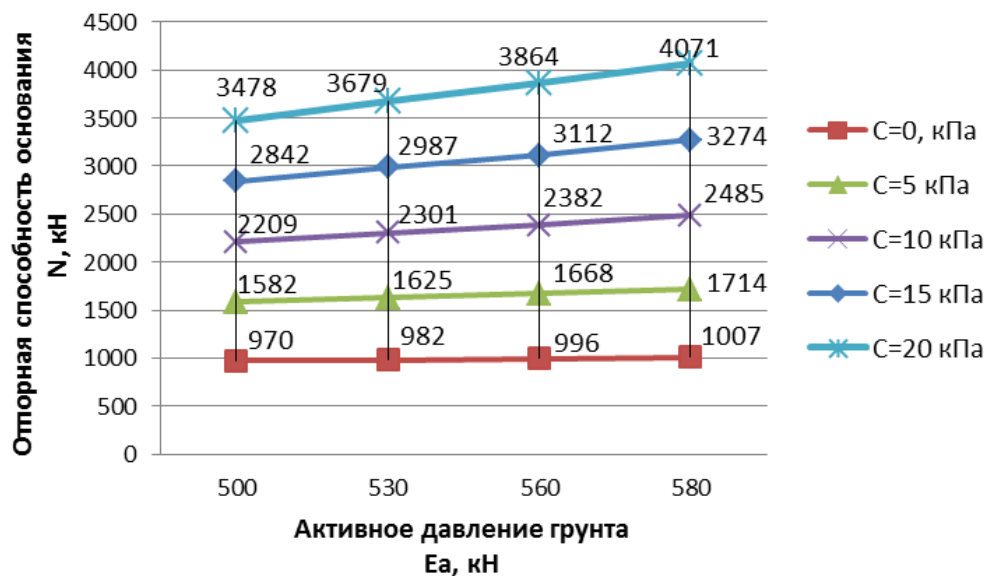


Рис. 3. Графики зависимостей «отпорная способность основания N , кН , – активное давление грунта» при различных значениях сцепления C , кПа

Как видно из графиков рис. 3, учет связности увеличивает отпорную способность основания, поэтому вопрос об определении расчетного значения величины сцепления должен прорабатываться тщательно. При возрастании C , кПа , значения отпорной способности увеличиваются почти в два раза. Отпорная способность при учете сцепления будет возрастать за счет увеличения объемов предельных и сокращения допредельных призм выпора, расположенных за подошвой сооружения. При подсчете объемов рассматриваемых призм следует учитывать связность грунта, характеризуемую удельным сцеплением C , приложив на поверхности грунта в пределах зоны предельного напряженного состояния фиктивную равномерно распределенную нагрузку (давление связности) интенсивностью $n_e = c / \text{tg} \varphi_e$, в пределах зоны допредельного напряженного состояния –

интенсивностью $n' = c / \operatorname{tg} \varphi'$. При этом следует учитывать приращение давления связности на границе зон предельного и допредельного напряженного состояния.

Как видно из рис. 2, зоны предельного напряженного состояния грунта основания 1, 2, 3 и 4 в области выпора увеличиваются за счет сокращения зон допредельного напряженного состояния 1', 2', 3' и 4', оставаясь параллельными вследствие постоянства угла $45^\circ - \varphi_e / 2$ в соответствии с рассмотренным интервалом значений активного давления. Зоны допредельного напряженного состояния 1', 2', 3' и 4' в области выпора изменяют наклон к горизонту от угла $45^\circ - \varphi_1' / 2$ до значений $45^\circ - \varphi_2' / 2$, $45^\circ - \varphi_3' / 2$ и $45^\circ - \varphi_4' / 2$.

Актуальность вопроса о влиянии угла внутреннего трения φ на величину отпорной способности основания является важной, так как при расчете необходимо учитывать факторы, связанные с его изменением (наличие каменной постели, замена грунта, промерзание и уплотнение основания вследствие действия природных факторов и т.д.). Необходимо учитывать, что даже небольшое увеличение φ может привести к резкому возрастанию отпорной способности основания.

Рассмотрим влияние угла внутреннего трения грунта φ на отпорную способность основания при постоянных значениях $C = 0 \text{ кПа}$, $\gamma = 9,6 \text{ Кн/м}^3$. На рис. 4 показаны графики отпорной способности грунта основания при возрастании φ от 25° до 40° .

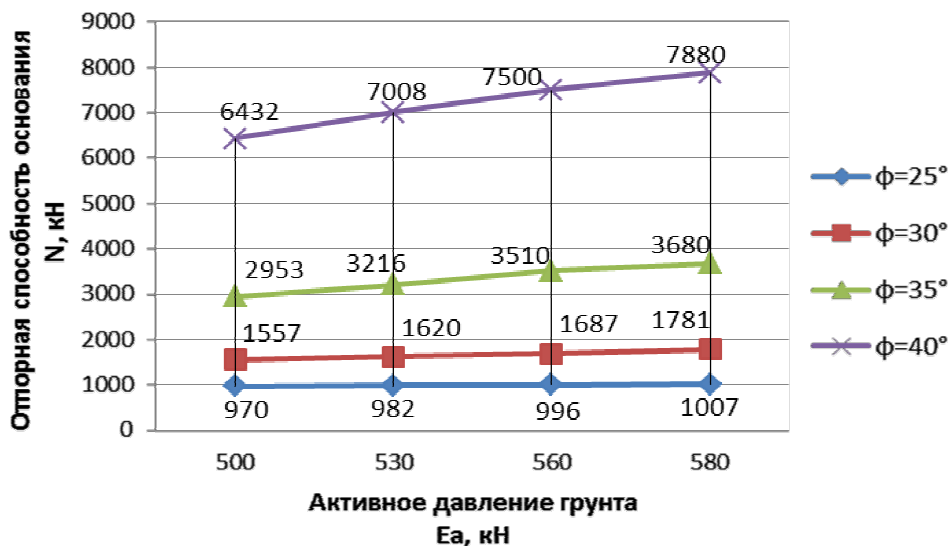


Рис. 4. Графики зависимостей «отпорная способность основания N , кН, – активное давление грунта» при различных значениях угла φ

Графики на рис. 4 показывают, что при возрастании угла φ от 25° до 30° отпорная способность увеличивается примерно в 1,8 раза. При

дальнейшему увеличению φ с 30 до 35° и с 35 до 40° эти значения возрастают соответственно в 2,0 и 2,2 раза. Если сравнить графики отпорной способности для $\varphi=25^\circ$ и $\varphi=40^\circ$ (увеличение φ в 1,6 раза), то получим, что максимальное значение отпорной способности возрастает с 1007 до 7880 кН, т.е. приблизительно в 8 раз.

Полученные графоаналитические зависимости численных значений прочностных характеристик грунта (угла внутреннего трения φ и удельного сцепления C) при соответствующих значениях активного давления грунта засыпки и смешанной постановке задачи показывают, что в общем случае очертание поверхностей скольжения зон предельного и допредельного напряженного состояния значительно зависит от указанных характеристик и от значения эксплуатационной нагрузки q .

Выводы. До настоящего времени нет полной ясности в вопросе учета одновременного возникновения в грунтовой среде зон предельного и допредельного напряженных состояний грунта основания, оказывающих существенное влияние на величину ее отпорной способности и в вопросе выпирания грунта из подошвы сооружения при действии на него нагрузок от бокового давления грунта. Таким образом, необходимость дальнейших исследований на основе разработанной расчетной схемы системы «сооружение – основание» является актуальным и целесообразным.

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. Ломизе, Г.М. Исследование закономерности развития напряженно-деформированного состояния песчаного основания при плоской деформации / Г.М. Ломизе и др. // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1972. – № 1. – С. 4 – 8.
3. Крыжановский, А.Л. Использование закона Кулона в решении задач предельного состояния основания / А.Л. Крыжановский, Ю.И. Харин // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1983. – № 2. – С. 24 – 27.
4. Бугров, А.К. Некоторые результаты решения смешанных задач теории упругости и пластичности грунтов оснований / А.К. Бугров и др. // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1978. – № 3. – С. 35 – 39.
5. Зарецкий, Ю.К. О несущей способности песчаных оснований фундаментов / Ю.К. Зарецкий // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2006. – № 3. – С. 2 – 8.
6. Дубровский, М.П. Определение бокового давления грунта на подпорную стенку с учетом кинематики сооружения / М.П. Дубровский // Основания, фундаменты и механика грунтов, – 1994. – № 12. – С. 31 – 32.
7. Хонелия, Н.Н. Оценка напряженно-деформированного состояния системы «основание – сооружение» / Н.Н. Хонелия // Вестник Одесской государственной академии строительства и архитектуры. – Одесса: ОГАСА, 2010. – Вып. № 38. – С. 639 – 644.

Надійшла до редакції 26.09.2013

© Н.Н. Хонелия