

**АНИСКИН АЛЕКСЕЙ АНДРЕЕВИЧ**

Преподаватель Университета Север, г. Вараждин, Хорватия (University North); аспирант Одесской Государственной Академии Строительства и Архитектуры, г. Одесса, Украина; иностранный член Украинского и Международного обществ по механике грунтов, фундаментостроению и геотехнике.

Основные направления научной деятельности: анизотропия грунтов, расчеты давлений и несущей способности анизотропных сыпучих сред и лабораторные испытания.

Автор 17 научных работ

E-mail: aleksej.aniskin@gmail.com

УДК 627.21.001.63

ДАВЛЕНИЕ СЫПУЧИХ ИЗОТРОПНЫХ СРЕД НА БЛИЗКОРАСПОЛОЖЕННЫЕ СТЕНКИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ КРИВИЗНЫ. ПЛОСКАЯ СИММЕТРИЧНАЯ ЗАДАЧА

Ключевые слова: нормальное давление, изотропная дискретная среда, близкорасположенные стенки, стенки произвольной кривизны.

В работе определено нормальное давления на близкорасположенные стенки произвольной криволинейной формы для плоской симметричной задачи. Далее оценивается влияние формы стенки, ее выпуклость или вогнутость на нормальное давление. В случае произвольной кривой формы стенки появляется проблема определения коэффициента нормального давления в каждой точке боковой стенки. Получена функция коэффициента нормального давления для изотропной сыпучей среды.

У роботі визначений нормальний тиск на близькорозташовані стінки довільної криволінійної форми для плоского симетричного завдання. Далі оцінюється вплив форми стінки, її опуклість або ввігнутість на нормальний тиск. У випадку довільної кривої форми стінки з'являється проблема визначення коефіцієнта нормального тиску в кожній точці бічної стінки. Отримана функція коефіцієнта нормального тиску для ізотропного сипучого середовища.

In this paper normal pressure on nearby positioned walls of arbitrary curvature for symmetric plane problem are determined. Further, the effect of the wall form influence, its convexity or concavity, on the normal pressure on wall is assessed. In the case of the wall of an arbitrary curvature, there is a problem of determining of the coefficient of lateral pressure at each point of side wall, thus a function of the coefficient of lateral pressure for isotropic granular medium is adapted for this purpose.

1. ВВЕДЕНИЕ

Развитие портов важнейший элемент экономики прибрежных стран, включая страны с развитыми внутренними путями.

Водный транспорт как свидетельствует практика наименее энергоемкий на единицу расстояния транспортировки большинства грузов.

Грузооборот портов определен большим числом факторов, от природных до техногенных, включая оснащённость грузовых фронтов, достаточность глубин и плано-

вых габаритов гаваней для приема современных судов.

Для судов значительных водоизмещений, балкеров, танкеров, контейнеровозов распространенными конструкциями грузовых фронтов являются отбойные, швартовные и отбойно – швартовные палы, которые подразделяются на сплошные, сквозные и смешанных конструкций.

Сплошные возводят из бетона монолитными или сборными кладкой курсами массивов, а также из железобетонных плит, из стального шпунта погружаемого замкнутым контуром, заполняемые камнем, песком, местным грунтом, отходами и пр. Эти палы выделяют в группу заполняемых. Как правило, грунтозаполняемые палы, рассматриваются как распорные конструкции с близкорасположенными стенками, идентичными силосам для зерна. Они наиболее распространены в морском транспортном гидростроительстве.

Проблема расчета нормального давления на близкорасположенные стенки встречается в практике во многих случаях, таких как: расчет давления на стенки грунтозаполняемых палов, силосов, при строительстве шпунтовой оторочки (расширение набережной), в ячеистых составляющих конструкций гидротехнических сооружений (ячеистая набережная, ячеистый пирс), расчет давления на стенку в поперечном сечении корпуса корабля наполненного сыпучим грузом и пр.

2. КОЭФФИЦИЕНТ НОРМАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

Для расчетов нагрузок от грунта на близкорасположенные вертикальные боковые стенки применяются результаты теории Янсена [1], полагая среду заполнения однородной и изотропной, а коэффициент нормального (бокового) давления постоянным. Но в рассматриваемом случае криволинейные стенки и коэффициент является функцией глубины z.

При расчетах нормального давления на стенку про-

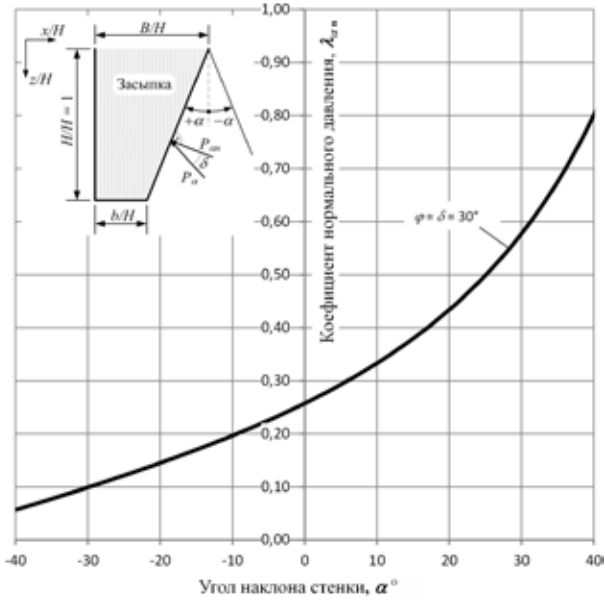


Рис. 1. Коэффициент нормального давления в зависимости от угла наклона стенки.

извольной кривизны в большинстве случаев появляется проблема определения коэффициента нормального давления. Коэффициентом нормального давления будем считать соотношение:

$$\lambda_{\alpha n} = \sigma_{n\alpha} / \sigma_z, \quad (1)$$

где $\sigma_{n\alpha}$ - нормальное напряжение на стенку, σ_z - вертикальное напряжение.

Известно, что коэффициент нормального (бокового) давления зависит от угла наклона подпорной стенки α [2, 7]. Изменение коэффициента нормального давления (по Кулону) в зависимости от угла наклона стенки отобразено графически на рис. 1.

Рис. 1 четко показывает, характер изменения коэффициента нормального давления, который возрастает с позитивным приращением угла наклона стенки по отношению к вертикали. В случае стенки произвольной кривизны, угол наклона меняется в зависимости от глубины т.е. коэффициент нормального давления есть функция глубины:

$$\lambda_{\alpha n} = \lambda_{\alpha n}(z) = \lambda_{\alpha n}[f'(z)]. \quad (2)$$

В уравнении (2) функция $f(z)$ представляет собой функцию формы изогнутой стенки. Следует обратить внимание на тот факт, что активная сила давления действует под углом δ к нормали на стенку, поэтому коэффициент бокового давления Кулона дополнительно умножен на косинус угла δ :

$$\lambda_{\alpha n} = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\delta + \alpha) \left[1 + \frac{\sin(\delta + \varphi) \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\delta + \alpha) \cos(\alpha - \beta)} \right]^2} \cdot \cos \delta, \quad (3)$$

где угол α – угол наклона стенки к вертикали, β – угол наклона верхней грани засыпки (в рассматриваемом случае $\beta = 0^\circ$), δ – угол трения среды о стенку, φ - угол внутреннего трения среды.

3. НОРМАЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ НА БЛИЗКОРАСПОЛОЖЕННЫЕ СТЕНКИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ КРИВИЗНЫ

Для ясности и эстетичности графиков будем сравнивать эпюры нормальных давлений на выпуклой и вогнутой стенке с нормальным давлением к плоской стенке под углом наклона к вертикали $+35^\circ$. На рис. 2а. показана правая сторона расчетной схемы.

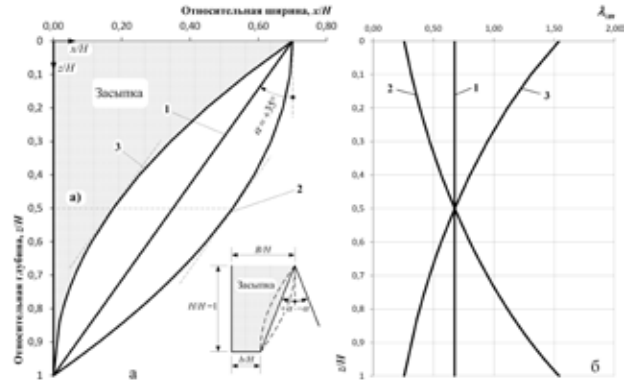


Рис. 2 а) Расчетная схема, поперечное сечение (правая часть), б) закон распределения коэффициента нормального давления (1 – плоская, 2 – выпуклая, 3 – вогнутая стенка).

В качестве модельного материала будет рассматриваться изотропная сыпучая среда со следующим характеристиками: угол внутреннего трения $\varphi = 30^\circ$, угол трения среды о стенку $\delta = 30^\circ$, всё в относительных координатах x/H и z/H , при чем H высота подпорной стенки.

Для функций форм стенок различной кривизны будут использоваться следующие обозначения – прямая (плоская) $f_1(z)$, выпуклая $f_2(z)$ и вогнутая $f_3(z)$, а в качестве результата дается сравнение нормальных нагрузок на стенки по отношению к относительной глубине равной 1.

В расчете приняты следующие предпосылки:

- поверхность засыпки горизонтальна;
- вертикальные напряжения σ_z в произвольной горизонтальной плоскости среды заполнения равномерны;
- касательные напряжения отсутствуют;
- трение среды заполнения о стенки в каждой точке определяется коэффициентом трения $k_m = \tan \delta$, где δ угол трения среды о материал стенки;
- нормальное давление $\sigma_{\alpha n}$ по периметру поперечного сечения на отметке z определено коэффициентом нормального давления $\lambda_{\alpha n}$ и зависимостью $\sigma_{\alpha n} = \sigma_z \cdot \lambda_{\alpha n}$.

Для постановки общего дифференциального уравнения равновесия выделим двумерный клиновидный бесконечно малый элемент с изогнутыми боковыми стенками, рис. 3.

Из условия равновесия инфинитезимального элемента объема (рис. 3) по оси z получаем неоднородное линейное дифференциальное уравнения первого порядка:

$$\frac{d\sigma_z}{dz} + \frac{\lambda_{\alpha n} \tan \delta + \lambda_{\alpha n} f'(z) + f'(z)}{f(z)} \sigma_z = \gamma, \quad (4)$$

где σ_z – нормальное давление на контактной грани; $f(z)$ – функция определяющая подпорную стенку; γ – удельный вес засыпки.

Решением уравнения (4) будет получено распределение вертикальных давлений в зависимости от относи-

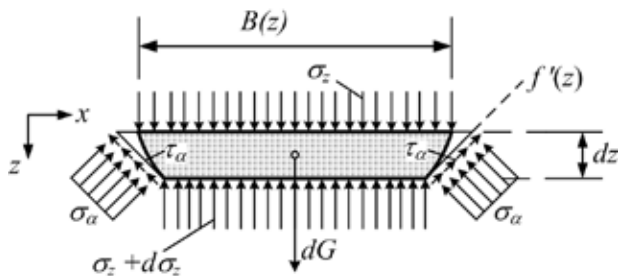


Рис. 3. Інфінітезимальний елемент ізотропного ґрунта.

тельної глибини z/H . Проінтегруємо численно дифференциальное уравнение используя ранее полученное решение [3] для плоской наклонной стенки с помощью выражения (5), но для случая вогнутой и выпуклой стенки описанной квадратичной функцией

$$\sigma_z = \gamma \cdot \frac{(H-z)}{A-1} + (H-z)^A \cdot C, \quad (5)$$

где $A = \lambda_{an} \left(\frac{tg \delta}{tg \alpha} + 1 \right) - 1$; H - высота подпорной стенки; C - постоянная которая выясняется из начальных условий задачи (в рассматриваемом случае напряжение на поверхности засыпки равно 0); γ - удельный вес засыпки.

На рис. 4 приведены полученные результаты. Очевидно, что в случае выпуклой стенки (случай 2) величина нормального напряжения самая высокая (рис. 4б), т.е. эта форма стенки нежелательна, с другой стороны наиболее выгодной формой является вогнутая форма (случай 3). Именно из-за характера изменения коэффициента нормального давления который не является постоянной в случае 3 максимум нормального давления меньше, чем в случае 2. Если принять коэффициент нормального давления постоянной, независимо от кривизны стенки, ситуация будет полностью противоположной.

ВЫВОДЫ:

В настоящей работе было получено дифференциальное уравнение равновесия для случая близкорасположенных стенок произвольной кривизны, интеграл уравнения рассчитан численным методом для случая квадратичной

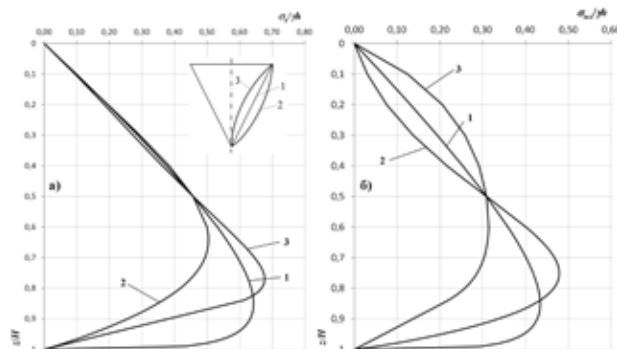


Рис. 4. Графики а) относительного вертикального давления, б) относительного нормального давления на криволинейные подпорные стенки; 1 – плоская стенка, 2 – выпуклая стенка, 3 – вогнутая стенка.

вогнутой и выпуклой формы, а также показана наглядно функциональная связь кривизны стены и нормального давления по отношению к относительной глубине.

Сравнение кривых на рис. 4б показывает, что максимальное нормальное напряжение, в зависимости от кривизны стены может меняться до примерно 50%, что представляет собой существенную разницу. Кроме того, замечается что все кривые на рис. 4а и 4б секутся на ординате 0,5, это объясняется тем, что наклоны всех трех стенок на данной ординате равны.

На первый взгляд результаты данные на рис. 4б могут показаться противоречивыми, так как вертикальное напряжение в случае выпуклой стенки значительно меньше чем в случае вогнутой стенки, учитывая отношение $\sigma_{na} = \lambda_{an} \cdot \sigma_z$ кажется, что в случае выпуклой стенки распределение нормальных давлений является более благоприятным, но на рис. 2а видно, что скорость увеличения коэффициента нормального давления на стенку не является постоянной, что и объясняет логику полученных результатов.

Исходя из этого можно сделать логичный вывод, что при проектировании аналогичных сооружений - силосов и бункеров больших размеров, подпорных стенок разных форм, корпусов кораблей и пр., необходимо учитывать форму сечения стенки, а также, подойти к процессу проектировке так, чтобы выгодно использовать криволинейную форму стенки в целях позитивного финансового эффекта без утраты надежности сооружения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Janssen, H.A., (1895). Versuche über getreidedruck in gilozellen. Zeitschr. d. Vereines deutscher Ingenieure 39, P.1045-1049.
2. Müller-Breslau H. (1906). Erddruck auf Stützmauern, Alfred Kroner, Stuttgart.
3. Боковое давление анизотропных сыпучих сред на близкорасположенные крутые наклонные стенки. Решения осесимметричной и плоской задачи / А.В. Школа, А.А. Анискин, Б. Солдо // Збірник наукових праць, Серія: Галузеве машино-будування, будівництво, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка – 2012. – В. № 4(34) Том 2, С.296-303.
4. Школа, А.В. Диагностика портовых сооружений. - Одесса, Астропринт, 2010. – 592 с.
5. Цытович, Н. А.: Механика грунтов - 4-е изд. перераб. и доп. – М., Госстройиздат, 1963. – 636 с.
6. Pressure of isotropic granular medium on closely spaced walls of arbitrary curvature / Aniskin, A.A. // Proceedings of the 5th International Young Geotechnical Engineering Conference - 5iYGEC'13, – 2013 – Volume 2, P. 535 – 537.
7. Stress within a cohesionless granular fill in a storage vessel with sloping walls during initial static loading / Sanjay K. Shukla, Jeffrey G. Loughran, Nagaratnam Sivakugan // Powder Technology - Volume 192, 2009., P. 389–393.