

безнапорном режиме с расчетным заполнением на входе $0,75d$. Принятие в качестве расчетного частично-напорного или напорного режимов еще больше повышает эффективность использования металлических гофрированных труб с гладким лотком по дну.

1. Алтунин В. И., Черных О. Н., Федотов М. В. Водопропускные трубы в транспортном строительстве. Гидравлическая работа труб из металлических гофрированных структур. – М.: МАДИ, 2012. – 269 с.

2. Рекомендации по проектированию и строительству водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур на автомобильных дорогах общего пользования с учетом региональных условий (дорожно-климатических зон). – М.: ФДА РОСАВТОДОР, 2009. – 206 с.

3. Hydraulic design of highway culverts / U.S. Department of Transportation. – Hydraulic design series number 5. – Third edition. Publication No. FHWA-HIF-12-026. – 2012. – 326 p.

4. Highway design manual. Chapter 8 Highway drainage (Limited Revisions) Revision 51. – September 22, 2006.

5. Handbook of Steel drainage and highway construction products. Published C.S.P.I. – Second Canadian Edition. – Cambridge, Ontario, Canada. – Second Printing. – November, 2007.

6. Ушаков В. В., Федотов М. В., Алтунин В. И., Черных О. Н., Нахмуринов С. С. Работа гофрированной водопропускной трубы с гладким лотком по дну // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2012. – № 2(61). – С. 38–40.

7. Формирование напорного режима в гофрированных трубах с гладким лотком по дну / В. В. Ушаков [и др.] // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2013. – № 2 (65). – С. 38–40.

8. Hydraulics Manual / Washington State Department of Transportation. – M 23-03. – January, 1997.

9. Federal Lands Highway. Project development and design manual: Publication № FHWA-DF-88-003 Ch 7: Metric Revision, U.S. Department of Transportation // Hydrology and Hydraulics. – June, 1996.

Материал поступил в редакцию 29.01.14.

Алтунин Владимир Ильич, кандидат технических наук, доцент

Тел. 8 (499) 155-03-16

E-mail: chtara@mail.ru

Черных Ольга Николаевна, кандидат технических наук, профессор

Тел. 8 (499) 190-53-43

E-mail: gtsmgup@mail.ru

Бурлаченко Алена Владимировна, инженер

Тел. 8 (499) 618-05-14

E-mail: burlachenco@dimler.com

УДК 502/504:624.042:627.8

В. П. ШАРКОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

О ВЕЛИЧИНЕ СКАЧКА В ЭПЮРЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА-ЗАПОЛНИТЕЛЯ В ЯЧЕЙСТЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ГТС

На основе анализа опытных данных предложено использовать зависимость для определения уменьшения вертикального давления заполнителя в ячейстых конструкциях гидротехнических сооружений, возникающего в результате динамических воздействий. Зависимость проверена экспериментально.

Динамика, ячейстые конструкции, заполнитель, осадки, вертикальное давление заполнителя, горизонтальное давление

On the basis of the experimental data analysis it is proposed to use a dependence for determination of reduction of the filler vertical pressure in cellular structures of hydraulic works arising as a result of dynamic impacts. The dependence was checked experimentally.

Dynamics, cellular structures, filler, settlement, filler vertical pressure, horizontal pressures.

При расчете устойчивости или осадок каркаса ячеистых гидротехнических сооружений используют величину вертикального давления грунта-заполнителя на основание.

Динамические воздействия (сейсмические, взрывные) нередко приводят к уменьшению вертикального давления на основание и повышению горизонтального давления грунта на стенки [1]. В результате такого перераспределения может измениться условие устойчивости и прочности сооружений.

Цель проведенной автором работы – определение величины изменения (скачка) вертикального давления в ячеистой конструкции. Ограничимся рассмотрением случая укладки в ячеистую конструкцию неуплотненного грунта, что упрощает представление о механизме перераспределения.

Как известно, явления в ячеистых конструкциях, происходящие при интенсивных сейсмозрывных воздействиях, по характеру родственны явлениям, происходящим при выгрузке силосов [1]. В таких явлениях происходят существенные осадки заполнителя, которые являются основной причиной перераспределения нагрузок. По указанной причине для изучения данного вопроса использовали результаты опытов, полученные при выгрузке крупномасштабной модели силоса.

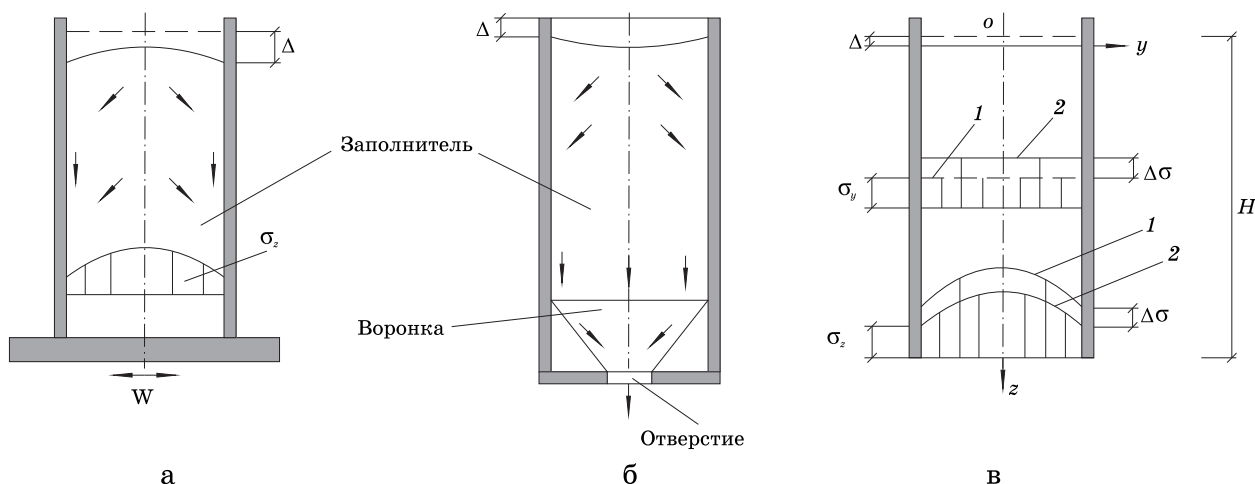
В этих динамических явлениях при их схожести имеются и некоторые особенности. Так, при динамическом (например, сейсмозрывном) воздействии на ячеистую конструкцию с неуплотненным грунтом причиной возникающих осадок является виброуплотнение грунта-заполнителя. При

этом у стен вследствие осадок происходит развитие касательных напряжений и повышение горизонтального давления. В результате вертикальное давление, как у стен, так и в массиве, уменьшается. После динамического воздействия поверхность заполнителя приобретает вид, показанный на рисунке (а).

Как видно из рисунка, осадки заполнителя не одинаковы: в центре они меньше, у стен больше. Это можно объяснить тем, что исходное вертикальное давление у стен меньше, чем в центре. По этой причине в процессе осадок при горизонтальном динамическом воздействии траектории движения частиц грунта должны иметь составляющие, направленные от центра к периферии (к стенам), причем наибольшие из них – в плоскости воздействия.

Выгрузка силоса, например из центрального отверстия в днище, также сопровождается осадками заполнителя. При этом в процессе выгрузки вначале уменьшается вертикальное давление заполнителя над отверстием, что приводит к возникновению осадок над отверстием. В дальнейшем зона осадок распространяется к стенам, что вызывает развитие касательных напряжений и рост горизонтального давления на стены. При осадках траектории движения частиц заполнителя в верхней части силоса направлены от центра к периферии, причем во все стороны примерно равномерно. В нижней части траектории движения грунта направлены к центру.

При остановке процесса выгрузки поверхность заполнителя приобретает вид, представленный на рисунке (б).



Картина осадок в заполнителя в ячеистой конструкции: а – от динамических воздействий (с ускорением W); б – при выгрузке силоса; в – эпюры вертикального и горизонтального давления заполнителя в статике 1 и динамике 2 (стрелками показаны траектории движения частиц)

Первопричины, последствия и механизм рассмотренных динамических явлений отличаются. Возможно, это может влиять на величину уменьшения вертикального давления.

Из работы [1] известно, что в динамических условиях происходит (скачкообразное) увеличение горизонтального давления (от исходного горизонтального σ_y) на величину $\Delta\sigma$. В результате давление становится равным $\sigma_{yd} = \sigma_y / \cos^2\varphi$ (φ – угол внутреннего трения). Одновременно у стен вертикальное давление уменьшается на такую же величину $\Delta\sigma$ (от исходного σ_{zc}) и становится равным горизонтальному динамическому давлению ($\sigma_{zd} = \sigma_{yd}$) – возникает напряженное состояние, сходное с гидростатическим.

При шероховатых стенках уменьшение вертикального давления составляет:
 $\Delta\sigma = \sigma_y (1 + 2 \operatorname{tg}^2\varphi) - \sigma_y / \cos^2\varphi = \sigma_y \operatorname{tg}^2\varphi,$ (1)

Можно предположить, что и в остальной части ячейки, в том числе в ее центре, при осадках заполнителя может происходить уменьшение вертикального давления на такую же величину $\Delta\sigma$, как и у стен. Тогда это должно привести к сохранению кривизны первоначальной эпюры вертикального давления σ_z (см. рисунков, в).

В таком случае ординаты эпюры вертикального давления становятся равными:

$$\text{у стен } \sigma_{zdC} = \sigma_{ydc} = \sigma_y / \cos^2\varphi; \quad (2)$$

$$\text{в центре ячейки } \sigma_{zdЦ} = \sigma_{zЦ} - \Delta\sigma. \quad (3)$$

В результате усредненное по площади вертикальное давление уменьшается от исходного статического σ_z на величину $\Delta\sigma$ и становится

$$\sigma_{zd} = \sigma_z - \Delta\sigma. \quad (4)$$

Для проверки этой гипотезы приведены результаты, полученные по формулам (2), (3) и (4) и опытным путем (таблица).

Вертикальное давление по формуле (4) и в опытах

Автор, объемная плотность заполнителя, г/см ³	Грунт, угол φ^0	Расчет					Опыт $\sigma_z',$ г/см ²	Отклонение $\Delta = 7/8$
		Давление у стен $\sigma_{zdC},$ по (2)	Давление в центре $\sigma_{zdЦ},$ по (3)	Давление (среднее) $\sigma_z',$ по (4)	σ_{zo} по (4), г/см ²	σ_{zd} по (5), г/см ²		
Шарков $\gamma = 1,38$	Песок, $\varphi = 36^0$	$1,52\sigma_y$	$3,32\sigma_y$	$2,72 \sigma_y$	32,36	31,2	28,65	1,089
Пипер $\gamma = 1,474$	Песок $\varphi = 38,8^0$	$1,65\sigma_y$	$3,72\sigma_y$	$3,03\sigma_y$	83,3	83,3	84,0	0,992
Пипер $\gamma = 1,441$	Песок $\varphi = 38^0$	$1,61\sigma_y$	$3,59\sigma_y$	$2,93\sigma_y$		81,06	80,0	1,013
Пипер $\gamma = 0,697$	Зерно $\varphi = 32,6^0$	$1,41\sigma_y$	$2,93 \sigma_y$	$2,42\sigma_y$	39,5	39,5	35	1,128

Условия опыта 1. Ячейка с песком высотой 80 см была закреплена на столе сейсмоплатформы и испытывала ее горизонтальное воздействие в виде сейсмического толчка [1]. В результате песчаный заполнитель получал осадки в среднем на 2 см, а степень зависания грунта на стенках увеличивалась с 0,687 до 0,7405 (см. рисунок, а). Это равнозначно уменьшению давления заполнителя на основание до величины

$$\sigma_{zd} = (1 - m) \gamma H = (1 - 0,7405) 1,38 \cdot 80 = 28,65 \text{ г/см}^2,$$

где m , γ и H – степень зависания, объемная плотность и высота заполнителя соответственно.

Расчетное давление для этих условий по формуле (4) с учетом влияния высоты заполнителя по зависимости (5)

составляет 31,2 г/ см².

Для исключения влияния на давление высоты заполнителя H в динамических условиях использовали формулу Янсена:

$$\sigma_{zd} = \sigma_{od} \cdot (1 - \exp(-kH/R)), \quad (5)$$

где $\sigma_{od} = \gamma R / k$ – предельное значение динамического давления; γ – плотность (объемный вес) грунта; $R = F/\Pi$; F и Π – площадь и периметр поперечного сечения ячейки; k – коэффициент касательных напряжений в динамике, $k = \tau/\sigma_{zd} = \lambda \operatorname{tg} \delta$; δ – угол трения грунта у стенки; λ – коэффициент горизонтального давления грунта в динамике; H – высота заполнителя расчетной точки (см. рисунок, в).

Как видим из таблицы, точность формулы (4) удовлетворительна, расхождение опытных и расчетных данных составляет 8,9 %.

Результат свидетельствует о равно-

мерном уменьшении вертикального давления по всей ширине ячейки при осадках заполнителя на величину $\Delta\sigma$.

Коэффициент касательного напряжения $k = \tau / \sigma_{zd}$, определяемый с использованием расчетной величины σ_{zd} , с учетом высоты засыпки равен $k = \gamma R / \sigma_{zd} = 1,38 \cdot 6,25 / 31,2 = 0,276$.

Если для оценки использовать динамический коэффициент касательных напряжений $k_d = \tau_d / \sigma_d = \gamma_{zd}$, где $\tau_d = \gamma R / \cos\varphi$ – динамическое касательное напряжение, то расчетный динамический коэффициент $k_d = 0,341$ [2].

В опыте 2 со средним песком происходила выгрузка песчаного заполнителя из центрального отверстия в днище цилиндрической модели силоса диаметром 60 см и высотой 308 см (см. таблицу) [3].

В опытах измеряли вертикальное давление песка на днище модели в процессе опорожнения. В начале выгрузки в опытах получено давление 84 г/см², а рассчитанное по формулам (4) и (5) – 83,3 г/см². Здесь опытные значения превышают расчетную величину на 0,8 %, что свидетельствует о высокой точности формулы (4) для такого опыта.

Для условий этого опыта расчетная величина коэффициента $k = \gamma R / \sigma_{zd} = 22,11 / 83,3 = 0,265$. Как видим, он близок к полученному с песчаным заполнителем в опыте 1 после динамического воздействия сейсмического характера ($k_d = 0,276$) и не зависит от характера динамического явления.

В этом опыте динамический расчетный коэффициент $k_d = \tau_d / \sigma_{zd} = 0,341$. Он совпал с расчетным, полученным в опыте 1.

В опыте 3 с мелким песком при выгрузке силоса давление на дно уменьшилось с 94 до 80 г/см² [3]. По формуле (4) получено значение $\sigma_{zd} = 81,06$ г/см²; разница с опытным значением составила 1,3 %, что свидетельствует о высокой точности формулы. Расчетный коэффициент $k = \tau / \sigma_{zd} = 21,615 / 81,06 = 0,267$ практически совпал с полученным в опыте $k = 0,270$.

Динамический расчетный коэффициент $k_d = \tau_d / \sigma_{zd} = 0,338$. Он также совпал с полученным в опытах 1 и 2 Пипера ($k_d = 0,341$).

В опыте 4 изучали давление зерна

на дно модели в процессе опорожнения силоса [3]. Полученное давление – 35 г/см², а рассчитанное по формулам (4) и (5) – 39,5 г/см². Превышение последнего над опытным значением – 12,8 %. Этот результат также свидетельствует о правомерности использования формулы (4).

В этой серии опытов расчетный коэффициент $k = \tau / \sigma_{zd} = 0,264$. Практически он равен коэффициенту, полученному для условий опыта 3 с мелким песком – 0,267. Динамический коэффициент $k_d = \tau_d / \sigma_{zd} = 0,314$. Для зерна, полученный в условиях опорожнения силоса, он несколько ниже, чем полученный в опытах с песком.

Выводы

Опыты показывают, что формула (4) правильно отражает качественную картину уменьшения вертикального давления, в соответствии с которой параболическая эпюра давления равномерно уменьшает ординаты по всей ширине ячейки, сохраняя первоначальную кривизну.

Величина уменьшения (скачка) давления практически не зависит от характера динамического явления (сейсмическое воздействие или процесс выгрузки силоса). Она также не зависит от вида заполнителя.

Величина скачка вертикального давления может определяться из выражения $\Delta\sigma = \sigma_y \operatorname{tg}^2\varphi$. В среднем в опытах она составила 17...19 % от статического давления грунта.

Точность формулы (4) для определения усредненного вертикального давления является приемлемой: в двух опытах она составила 8,9 и 12,8 %, а в двух других – 0,8 и 1,3 %.

Расчетный коэффициент $k = \tau / \sigma_{zd}$ для динамических условий (мелкие и средние песчаные грунты) равен 0,27.

Динамические воздействия и явления повышают коэффициент k для неуплотненного песчаного грунта на 15...16 %.

1. Шарков В. П. О максимальном давлении грунтового заполнителя на стенки ячеистой конструкции в процессе его осадок при глубинном виброуплотнении: Роль мелиорации в обеспечении продовольственной и экологической безопасности России: материалы Межд. науч.-практ. конференции. – М.: ФГОУ ВПО

МГУП, 2009. – Ч. 2. – С. 135–141.

2. Шарков В. П. Касательные напряжения в грунте у стен ячеистых сооружений и их предельные значения в условиях интенсивных осадок // Природообустройство. – 2010. – № 5. – С. 50–55.

3. Пипер К. Исследование силосных нагрузок на моделях. – Конструирова-

ние и технология машиностроения: Труды Американского общества инженеров-механиков. – 1969. – № 2. – С. 80–86.

Материал поступил в редакцию 10.06.13.

Шарков Вячеслав Петрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Гидротехнические сооружения»
Тел. 8-926-538-40-83

УДК 502/504:626/627

Л. И. ЭЛЬПИНЕР

Учреждение Российской академии наук Институт водных проблем РАН

МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Обобщены современные данные о влиянии искусственных водных объектов на санитарные условия жизни и состояние здоровья населения. Обосновывается необходимость оценки последствия гидротехнического строительства на основе построения медико-экологических прогнозов, базируемых на выявлении причинно-следственных связей возможных изменений санитарных условий жизни, состояния здоровья населения и изменений природной среды как в самом водоеме, так и на территориях в зоне его влияния. Показана эффективность комплексного использования множественной информации, накопленной в процессе исследований в области профилактических медицинских и природоведческих дисциплин.

Гидротехническое строительство, здоровье населения, прогнозирование.

There are generalized modern data about the influence of artificial water objects on the sanitary living conditions and state of the population health. The necessity of the consequences assessment of hydrotechnical building is justified on the basis of the medical – ecological forecasting based on revealing cause-and-effect relations of possible changes of the environment both in the very pond and in the territories in the zone of its influence. There is shown an efficiency of the complex use of the multiple information accumulated in the process of researches in the field of prophylactic medical and ecological disciplines.

Hydraulic engineering, population health, forecasting.

В свете современных данных крупное гидротехническое строительство, следствием которого является перераспределение стока во времени и пространстве, повлияло на условия жизни и состояние здоровья населения. Связь санитарных условий жизни людей с состоянием водных ресурсов очевидна. Прежде всего, эта зависимость проявляется в степени обеспеченности достаточной по количеству и безопасной по качеству воды, надежности санитарных условий хозяйственно-питьевого и культурно-бытового (рекреационного) водопользования [1]. Утвердилось представление о многоаспектности проблемы качества

водных ресурсов, являющейся сейчас предметом пристального внимания научных коллективов, контролирующих служб, большинства ведомств. Научные исследования в этой области знаний развиваются весьма динамично, создавая предпосылки для надежного прогнозирования и обоснования рекомендаций по усилению положительных и снижению отрицательных последствий гидротехнического строительства [2]. Исследования, проведенные в течение последних десятилетий, как по инициативе Всемирной организации здравоохранения, так и в соответствии с национальными программами многих стран,