

sian Federation;8 (6352) 26-51-11; e-mail: A.Y.Garbuz@mail.ru

Garbuz Aleksandr Jurjevich – Postgraduate Student, Junior Researcher, Research In-

stitute of Land Improvement Problems (ROS- NIIPM), 190 Baklanovskiy, Novocherkassk, Rostov region, 346400, Russian Federation;8 (6352) 26-50-68; e-mail: A.Y.Garbuz@mail.ru

УДК 502/504:624.042:626/627

В.П. ШАРКОВ, Б.М. БАХТИН, П.З. МЕТЕЛЬСКИЙ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация

ВЛИЯНИЕ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА-ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА ВЕРТИКАЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ И ЕГО ПАРАМЕТРЫ В ЯЧЕЙКАХ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ

Целью работы является изучение влияния фактора уплотнения на вертикальное давление грунта в ячейках гидротехнических сооружений, определяющего их несущую способность, а также его расчетные параметры.

В работе использован аналитический метод исследований с использованием опытных данных. Основные результаты заключаются в следующем. Выявлено, что при укладке грунтового заполнителя с интенсивным уплотнением возникает эпюра давления, близкая к равномерной с ординатой равной расчетной ординате у стен. Это наблюдается в опытах независимо от плановых размеров ячейки и шероховатости стен. В формуле Янсена, используемой для расчета давлений, это отражается, по сравнению с неуплотненным грунтом, повышением основного параметра в 1,15 и в 1,5 раза, соответственно для условий гладких и шероховатых стен ячеек. Выявлено, что на повышение указанного параметра основное влияние оказывает возрастание входящего в него коэффициента неравномерности давлений, возникающее вследствие трансформации эпюры из криволинейной в равномерную и уменьшения её кривизны. Возрастание этого коэффициента составляет от 0,63-0,70 и от 0,934 до единицы соответственно в условиях шероховатых и гладких стен. Установлено также, что в случае укладки грунта с неинтенсивным уплотнением возникает эпюра давления с меньшей кривизной, чем в случае неуплотненного грунта. При этом также происходит повышение параметра Янсена и коэффициента неравномерности, однако, в меньшей степени, чем при интенсивном уплотнении. Например, для условий шероховатых стен этот параметр повышается в среднем на 13%, а коэффициент неравномерности на 10%.

Гидротехнические сооружения, ячейки, грунт – заполнитель, давление, опыты, расчет, уплотнение грунта, форма эпюры, трансформация.

Введение. Устойчивость сдвигу подпорных гидротехнических сооружений обеспечивается в основном их весом. В сооружениях ячеистой конструкции это на 70-80% достигается весом грунта, заполняющего ячейки. При этом для уменьшения объема и габаритов сооружений укладка грунта в ячейки производится с уплотнением

По данным отдельных источников, уплотнение грунта оказывает влияние на вертикальное давление в ячейках на основание, этот основной фактор, обеспечивающий устойчивость подпорных ячеистых сооружений на сдвиг. Так в работе [1] отмечается, что в формуле Янсена, используемой для

определения давления, основной её параметр k от уплотнения повышается на 10-15%. В работе [2] предлагается для учета фактора уплотнения увеличить этот параметр Янсена на некоторую величину, однако не приводится обоснование последней.

При этом в литературе нет систематизированных данных о влиянии уплотнения на вертикальное давление грунта и его причинах.

Целью работы является исследование влияния фактора уплотнения на вертикальное давление грунта-заполнителя на основание, на его параметры и выявление причин этого явления.

Материал и методы. Для решения поставленной задачи в работе основное внимание уделено изучению формы эпюр вертикального давления, возникающих в грунте при уплотнении. Это связано с тем, что в формулу Янсена, используемую для его определения, в неявном виде входит коэффициент, учитывающий форму его эпюры.

Для иллюстрации приведем формулу Янсена

$$\sigma_{ZH} = \gamma R/k(1 - \exp(-kz/R)), \quad (1)$$

где γ – объемный вес грунта, R – гидравлический радиус поперечного сечения ячейки; z – глубина расчетной точки от поверхности грунта; k – параметр Янсена, представляет собой произведение трех коэффициентов [3]

$$k = \alpha \lambda \text{tg} \delta \quad (2)$$

где λ и $\text{tg} \delta$ – коэффициенты горизонтального давления и контактного трения грунта у стен; α – коэффициент неравномерности вертикальных давлений в поперечном сечении ячейки, равный отношению давления у стен к давлению осредненному в плане: $\alpha = \sigma_c/\sigma_z$.

Именно коэффициент α определяет форму эпюры давления ячейки. Например, в работе [4] установлено, что в ячейках с неу уплотненным песчаным грунтом возникают эпюры в виде параболоида и эллипсоида вращения, характеризующимися для условий шероховатых стен ячейки коэффициентами $\alpha = 0,63 \dots 0,70$.

Величина этого коэффициента и связанная с ним форма эпюры давления в случае укладки грунта с уплотнением не изучена.

Исследование поставленных задач в работе выполняется на основе анализа давлений, полученных в опытах. Для анализа величин и форм эпюр давления в работе использована следующая методика. Давление, полученное в опытах, сопоставляется с 4-мя теоретически возможными формами эпюр и из них выбирается одна, наиболее близкая по величине. При этом к теоретическим относятся равномерные эпюры 1 и 4, а также – в форме эллипсоида и параболоида вращения 2 и 3 (см. рисунок).

Характерные ординаты давления для этих эпюр определяются по формуле Янсена (1) при $h = \infty$ (асимптотическое решение), с поправками Гениева [5].

При этом ординату эпюры 1 принимают равной давлению у оси симметрии ячей-

ки (в центре) и определяют в соответствии с теорией Гениева по формуле [5]:

$$\sigma_1 = \sigma_x \text{tg}^2(45 + \varphi/2). \quad (3)$$

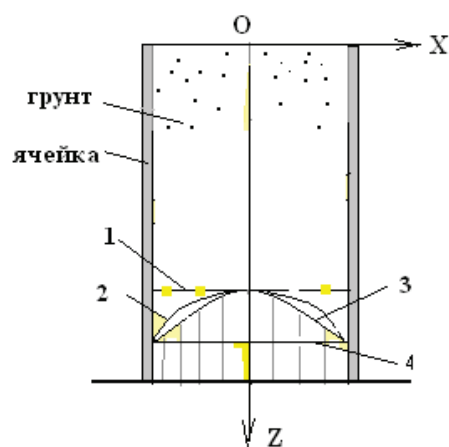


Рис. Эпюры давления грунта-заполнителя ячейки на основе:

- 1 – равномерная – с ординатой у оси;
- 2 и 3 – по эллипсоиду и параболоиду вращения;
- 4 – равномерная-с ординатой у стен

Для эпюры 4 ординату считают равной давлению у стен ячейки и определяют из зависимости:

$$\sigma_c = \sigma_x/\lambda_E, \quad (4)$$

где λ_E – коэффициент горизонтального давления, определяемый из формулы Емельянова Л.М. [2]; $\sigma_x = \gamma R / \text{tg} \delta_p$ – горизонтальное давление; $\delta_p = (\delta + \varphi)/2$, где расчетный угол контактного трения [6].

Для эпюры в виде эллипсоида вращения 2 и параболоида 3 осредненное по площади ячейки давление определяется соответственно из зависимостей:

$$\sigma_3 = \sigma_c + (\sigma_1 - \sigma_c) 2/3, \quad (5)$$

$$\sigma_2 = \sigma_c + (\sigma_1 - \sigma_c) /2. \quad (6)$$

После расчета этих асимптотических давлений по формулам (3-6), выбрав из них численно наиболее близкую к опытному, последнее с учетом глубины заполнителя уточняется по формуле (1). Для этого из этой формулы при известном давлении подбором определяется параметр Янсена k .

Полученный в расчетах результат сопоставляется с давлением в опытах, оцени-

вается их близость и делается вывод о форме эпюры.

Результаты и обсуждение. В таблице 1. приведены результаты четырех опытов в ячейках с интенсивным уплотнением песчаного грунта на моделях. Здесь для каждо-

го из них представлены опытные и расчетные величины давлений. Для наглядности также приведены характеристики грунтов, высота заполнителя, расчетный параметр Янсена, форма эпюр и характеризующие их коэффициенты.

Таблица 1

Вертикальные давления, формы их эпюр и параметры при укладке грунта-заполнителя в ячейки при интенсивном уплотнении

№ п/п; грунт; Высота, см; Объ. вес, 10 кН/м ³ , углы φ°, δ°	Давление, × 100Па		Сравнение	Параметр Янсена k	Форма эпюр, коэффициент α
	опыт	Расчет	Расчет/опыт		
В опытах Вятских Н.В. в модели ряжа 50 × 50 см с трамбовкой грунта					
1. Песок сухой; 300; 1,6; 38,52°, 38,52°	56	56,9- у стен 82,3-парабол. 90,9-эллипс.	+1,016 +1,47 +1,623	0,357	Равномерная 1,016
2. Песок сухой; Те же.	60	56,9- у стен 82,5-парабол. 90,9 эллипс.	-1,054 +1,374 +1,515	0,333	Равномерная 0,95
В серии их 4-х опытов автора в ячейке 25 × 25 см с виброуплотнением грунта с шероховатыми стенками					
3. Песок мелкий; 72,3 см; 1,52; 37,4°; 37,4°	26,9	26,5-у стен 36,1-парабол. 39,5-эллипс.	-1,015 +1,34 +1,47	0,348	Равномерная 0,985
В серии из 6-ти опытов автора в ячейке 25 × 25 см с виброуплотнением грунта с гладкими стенками					
Песок мелкий; 73,5; 1,53; 37,4°; 23,0°	46,6	45,0-у стен. 61,9 парабол. 63,8-эллипс.	-1,015 +1,33 +1,37	0,136	0,986

Рассмотрим приведенные в таблице 1 условия и результаты опытов.

В опыте № 1 Вятских Н.В. определялось давление песчаного грунта на основании в модели квадратной ячейки с размерами 50 × 50 см высотой 3,0 м с шероховатыми (ряжевыми) стенками с уплотнением песчаного грунта трамбовкой [7].

Как видно из таблицы 1, здесь экспериментальное давление, равное 56 × 100 кПа, значительно меньше давлений, определенных по формуле эллипсоида (90,9 × 100 Па) и параболоида (82,3 × 100 Па). При этом оно практически совпадает с расчетной ординатой давления у стен (56,9 × 100 Па), имея меньшие ординаты на 1,6%.

Это означает, что эпюра для этого давления имеет по площади поперечного сечения равномерную форму, то есть как эпюра 4 на рисунке. Для равномерной эпюры коэффициент неравномерности вертикальных напряжений, входящий в выражение параметра Янсена (2), должен быть близок к единице. Для этого опыта он (как отношение расчетного давления у стен к опытному) фактически равен $\alpha = 56,9/56 = 1,016 \approx 1,0$. Отметим, что знание этого коэффициента в расчетной практике позволяет более точ-

но принять параметр Янсена k, ограничившись назначением входящих в его выражение коэффициентов $\text{tg} \delta$ и λ . Для этого опыта подобранный из формулы (1) параметр Янсена составляет $k = 0,357$.

В опыте № 2 Вятских Н.В. условия такие же, как в первом опыте, и наблюдается похожая картина. Здесь опытное давление равно 60,0 × 100 Па в 1,515 и 1,37 раза меньше, чем по эллипсоиду и параболоиду вращения. При этом оно на 5,8% больше расчетного вертикального давления с ординатой у стен. То есть, здесь при уплотнении грунта трамбовкой, так же, как и в первом опыте, возникает эпюра близкая к равномерной. Коэффициент неравномерности равен $\alpha = 56,9/60 = 0,95$, который численно близок к единице, параметр Янсена $k = 0,333$.

Отметим, что в опытах-близнецах № 1 и № 2 на модели осредненная величина этого параметра составляет $k = 0,345$, а для коэффициента $\alpha = 0,98$.

Под № 3 в таблице 1 приведены результаты серии 4-х опытов автора, полученные для условий шероховатых стен (с наклейкой на них наждачной бумаги) в ячейке размерами 25 × 25 см, при высоте ячейки 80 см. В них укладка грунта выполнялась

с послойным вибрированием, с использованием загнутого на свободном конце стержня, вставленного в электродрель [3].

В этих опытах давление грунта на основание составило $26,9 \times 100$ Па при коэффициентах трения контактного и внутреннего $\text{tg} \delta = \text{tg} \varphi = 0,725$.

Расчеты по формулам (3-6) для этих условий дают вертикальные давления: в центре ячейки $\sigma_1 = 50,85 \times 100$ Па, у стен $\sigma_c = 27,0 \times 100$ Па, а давление по эллипсоиду $-\sigma_3 = 42,9 \times 100$ Па.

На глубине заполнителя 72,3 см (при параметре $k = 0,22$) давление по эллипсоиду составило $\sigma_{\text{ZH}} = 39,5 \times 100$ Па, по параболоиду $-\sigma_{\text{ZH}} = 36,1 \times 100$ Па. Они оказались соответственно в 1,5 и 1,37 раза больше опытного – $26,87 \times 100$ Па. Сравнение показало, что опытное давление практически совпало с расчетной ординатой давления у стен при глубине заполнителя 72,3 см (при параметре $k = 0,348$) и составило $\sigma_{\text{ZH}} = 26,5 \times 100$ Па. Разница здесь составляет 1,5%.

Как видим, опыты автора подтвердили результаты опытов Вятских о формировании эпюры близкой к равномерной, несмотря на то, что уплотнение осуществлялось не трамбовкой, а вибрированием грунта. При этом параметры Янсена у обоих авторов по величине практически совпали (0,348 и 0,345), несмотря на различие измерительных устройств и размеров ячейки. Для этого опыта коэффициент $\alpha = 26,5/26,9 = 0,985$, то есть, также близок к единице.

Рассмотренные выше опыты проводились в условиях шероховатых стенок. Сопоставим их с результатами, полученными в опытах с гладкими стенками при таком же вибрационном способе уплотнения грунта [6].

В этой серии из 6 опытов автора с гладкими стенками давление на основание составило $46,6 \times 100$ Па, а расчетные параметры: $\delta = 23^\circ$, $\varphi = 37,4^\circ$, $\gamma = 1,53 \times 10$ кН/м³, высота грунта $H = 73,5$ см.

По формулам (3 и 4) вертикальные давления равны: у оси ячейки $\sigma_1 = 67,4 \times 100$ Па; у стен $\sigma_c = 56,4 \times 100$ Па. Как видно из табл. 1, использование формул параболоида и эллипсоида вращения дают завышенные значения, а подходящим для данного случая является вертикальное давление у стен – $56,4 \times 100$ Па. На глубине 73,5 см при параметре $k = 0,136$ расчетное давление составляет $45,0 \times 100$ Па, что на 3,6% меньше опытного значения.

Полученный результат показывает, что здесь, как и в случае шероховатых стен, формируется эпюра давления близкая к равномерной, с ординатой равной вертикальному давлению у стен, то есть, как на рисунке эпюра 4. Для этого опыта коэффициент неравномерности $\alpha = 45/45,6 = 0,986$, который практически совпал с его величиной в опыте № 3.

Проведем анализ полученных данных. Сопоставим результаты этих четырех опытов с полученными в работе [4] в условиях неуплотненного грунта. Из этой работы известно, что в условиях шероховатых стен осредненные коэффициенты неравномерности для песчаных грунтов составляет $\alpha = 0,635 \dots 0,7$, а параметр Янсена $k = 0,225$. В условиях уплотненного грунта эти характеристики, как показано выше, становятся по величине большими: коэффициенты $\alpha = 0,98-0,985$, а параметр Янсена равным $k = 0,345$. То есть, этот коэффициент по отношению к опытам с неуплотненным грунтом повышается в среднем в 1,55...1,4 раза, а параметр k – в 1,53 раза. Давление на основание за счет уплотнения, судя по опытам автора для шероховатых стен, уменьшается с $35,3$ до $26,9 \times 100$ Па, то есть, в 1,31 раза.

Для гладких стен давление повышается с $45,0$ до $46,6 \times 100$ Па, то есть на 3,5%. Это, как показывает анализ, связано с повышением плотности грунта от уплотнения, составляющего в данных опытах 12%. Для гладких стен уплотнение повышает коэффициент α с величины 0,934 до 0,986, а параметр Янсена k – с величины 0,117 до 0,136. Увеличение первого здесь – в 1,06 раза, а второго – в 1,16 раза. Последний результат согласуется с опытными данными Латышенкова, который получил увеличение параметра k на 10-15%.

Таким образом, данные таблицы 1 позволяют заключить, что при уплотнении грунта эпюра давления из криволинейной превращается практически в равномерную и происходит возрастание коэффициента α в 1,06... 1,55 раза, а параметра Янсена k – в 1,16...1,53 раза. При этом меньшие значения соответствуют условиям с гладкими стенками ячейки, а большие – с шероховатыми.

Рассмотрим также результаты опытов, где уплотнение было менее интенсивным, чем в рассмотренных выше.

Эти данные представлены в таблице 2. Они получены в работе [7] в модели ряжа

с поперечными размерами 50×50 см и высотой 3,0 м (опыт № 1), а также с рядами из бревен для реальных сооружений шириной 1,875 м и высотой до 11,4 м (опыты № 2 и № 3), заполняемых песчаным грунтом по мере сборки этих конструкций (в течение 6-7 часов). В опытах после разравнивания

грунта в ячейке уплотнение проводилось ногами оператора. В таблице 2 кроме опытных данных приведены расчетные величины вертикального давления, определенные по формулам (3-6), а также другие необходимые параметры, в том числе параметр k , формы эпюры коэффициенты α .

Таблица 2

Вертикальные давления, формы их эпюр и параметры при укладке грунта-заполнителя в ячейки при его неинтенсивном уплотнении

№ п/п; грунт; Высота, м; Объ. вес, 10 кН/м ³ , углы φ° , δ°	Давление, × 100 Па		Сравнение расчет/опыт	Параметр Янсе- нак	Форма эпюр, коэффициент α
	опыт	расчеты			
В опытах Вятских Н.В. в модели силоса 50×50 см с уплотнением ногами					
1. Песок сухой; 3,0 м; 1,64; 38,52°, 38,52°	80	92,7-эллипс. 84,4-парабол. 58,2 – у стен	+1,158 +1,055 -1,375	0,255	Параболоид вращения, 0,728
В опытах Вятских Н.В. в ряже $187,5 \times 187,5$ см с уплотнением ногами					
2. Песок сухой; 11,4 м; 1,60; 38,52°, 38,52°	297	340-эллипс. 307- парабол. 212- у стен	+ 1,144 +1,032 -1,40	0,252	Параболоид вращения, 0,713
3-а. Песок сухой; Те же.	289	340-эллипс. 307- парабол. 212- у стен	+ 1,176 + 1,061 -1,363	0,259	Параболоид вращения, 0,734
3-б. Песок сухой; Те же.	303	340-эллипс. 298- парабол. 212- у стен	+1,122 -1,017 1,429	0,241	Параболоид вращения, 0,70

Проанализируем результаты опытов, таблица 2.

В опыте № 1 с использованием модели ячеистой конструкции, как видно, экспериментальная величина давления 80×100 кПа меньше расчетного по эллипсоиду вращения ($92,7 \times 100$ Па) и находится между давлением параболоида и давлением равным ординате у стен ($58,2100$ Па).

Расчет с использованием формулы параболоида дает давление $84,4 \times 100$ Па, что ближе к опытным данным с разницей 5,5%, чем в случае эллипсоида. Для него с учетом глубины заполнителя параметр $k = 0,242$. Для опытного давления 80×100 кПа с учетом высоты $k = 0,255$.

Заметим, что давление в опытах меньше расчетного по эллипсоиду вращения $92,7 \times 100$ Па на 15, 8%.

Таким образом, на модели у Вятских Н.В. опытное давление находится между параболоидом и равномерным с ординатой давления у стен. При этом оно ближе к параболоиду вращения и меньше его на 5,5%.

Для этого опыта коэффициент неравномерности $\alpha = 58,2 / 80 = 0,728$.

В крупномасштабных опытах № 2 и № 3 с ряжем опытные величины давле-

ния равны 297 и 289 ($\times 100$ Па). Они заметно меньше расчетного с эллипсоидом вращения – 340×100 Па и находятся между давлением параболоида – $306,7 \times 100$ Па и ординатой давления у стен – 212×100 Па. При этом в обоих опытах они ближе к параболоиду вращения и существенно больше давления у стен (с разницей соответственно на 40% и 36,3%).

При этом для параболоида вращения асимптотическое давление равно $307,5 \times 100$ Па, а с учетом высоты заполнителя – 307×100 Па. Оно превышает экспериментальное в опыте № 2 на 3,2%, в опыте № 3 на 6,1%. Для опытного давления 297×100 Па в формуле Янсена параметр $k = 0,25$, а для давления 289×100 Па – $k = 0,26$.

Как видим, в опытах № 2 и № 3 в реальном ряже при высоте 11,4 м к экспериментальным данным ближе расчетные данные по параболоиду вращения, при этом опытные – несколько меньше расчетных (примерно на 3-6%). Параметр $k = 0,25 \dots 0,26$. Для этих опытов коэффициенты неравномерности равны $\alpha = 212 / 297 = 0,713$ и $212 / 289 = 0,734$, а в среднем – 0,723.

В последнем опыте 3-б с ряжем при высоте заполнителя $H = 7,0$ м вертикальное давление составило 303×100 Па. Оно, как

видим, меньше расчетного по эллипсоиду вращения (с разницей 12,2%), но существенно больше ординаты давления у стен (разница – 42,9%). При этом опытное давление ближе к эпюре с параболоидом вращения.

Для этого опыта асимптотическое давление равно $307,5 \times 100$ кПа, а с учетом высоты заполнителя в формуле Янсена – $298,3 \times 100$ Па, что меньше опытного на 1,6%. Как видим, опытные данные, так же как и предыдущие, ближе к параболоиду вращения. Отметим, что автор работы [7] отмечал о появлении в эпюрах параболоида вращения, что подтверждает правомерность использования нашей методики при анализе форм.

В этом опыте при давлении 303×100 Па параметр Янсена $k = 0,24$, а коэффициент $\alpha = 212 / 303 = 0,70$.

Таким образом, обобщая эти 4 опыта грунта в условиях ряжевых поверхностей стен, можно заключить, что в ячейках при неинтенсивном уплотнении грунта возникают эпюры давления, лежащие между эллипсоидом и параболоидом вращения. При этом, как в крупных, так и в малогабаритной ячейках, опытное давление ближе к эпюре, соответствующей параболоиду вращения. Но имеются и некоторые особенности. Так в первых 3-х опытах, где заполнение ячеек грунтом проводилось на полную высоту, давления оказались несколько меньше определенных по параболоиду, а осредненный (для этих опытов) параметр Янсена составил $k = 0,255$. Отметим, что величина этого параметра практически одинакова и в реальном сооружении, и на модели, что свидетельствует об отсутствии здесь масштабного эффекта.

В опыте № 3-б, в котором текущие показания снимались в процессе наполнения ряжа, давления также были близки к параболоиду вращения, но с превышением расчетных на 1,6%. Параметр Янсена при этом имел несколько меньшую величину (0,24), чем в опытах 2 и 3. Это можно объяснить тем, что в первом случае, вследствие большего времени заполнения грунта (до полной высоты 11,4 м), развитие сил трения у стен происходило в большей мере, чем во втором случае, что и явилось причиной уменьшения давления и большей величины параметра.

Сравним данные табл. 2 с результатами опытов, проведенных без уплотнения грунта в работе [4]. В них фактическая эпюра давления также находилась между эл-

липсоидом и параболоидом вращения, причем часть из них была ближе к эллипсоиду, а часть – к параболоиду. Параметр Янсена для них в среднем составлял $k = 0,225$. Как видим, в опытах со слабо уплотненным грунтом параметр $k = 0,255$ превышает его примерно на 13%. Причиной этого является повышение коэффициента неравномерности давлений, отражающего трансформацию эпюры от криволинейной к равномерной. В случае неуплотненного песчаного грунта этот коэффициент составлял 0,63...0,69 независимо от формы эпюр, а для уплотненного неинтенсивно – 0,723...0,728, что превышает его исходное значение в среднем на 10%.

Обобщая результаты опытов таблиц 1 и 2, можно констатировать, что форма эпюры вертикального давления зависит от степени уплотнения грунта и чем она выше, тем меньше у неё кривизна и сама она ближе к равномерной.

При уплотнении происходит повышение расчетных величин в формуле Янсена. Это в условиях шероховатых стен приводит к заметному понижению вертикальных давлений (до 30%), физической причиной которого, на наш взгляд, является уменьшение коэффициента контактного трения от динамических воздействий, сопровождающих явление уплотнения. В условиях гладких стен уплотнение также повышает расчетные величины в формуле Янсена, однако давление может при этом не изменяться.

На основании результатов опытов в ячейках с заполнением песчаным грунтом можно сделать следующие конкретные выводы.

Выводы

1. При интенсивном уплотнении грунта возникает эпюра с равномерным распределением вертикального давления по площади ячейки и минимальной ординатой, равной расчетному давлению у стен. При этом кривизна эпюры по сравнению со случаем неуплотненного грунта уменьшается.

2. При неинтенсивном уплотнении грунта формируется эпюра с меньшей кривизной, чем в случае без уплотнения, и по форме близкая к параболоиду вращения.

3. В целом фактор уплотнения приводит к трансформации эпюры давления с уменьшением кривизны от эллипсоидальной – параболоидной формы в случае без уплотнения до эпюры с меньшей кривизной, зависящей от степени уплотнения.

4. Основной параметр Янсена в его формуле в условиях шероховатых стенок ячейки при неинтенсивном уплотнении повышается от 0,225 до 0,255 (на 13%), при интенсивном – до 0,345, то есть, в целом более чем в 1,5 раза. В условиях гладких стен он может повышаться до 15%.

5. Причиной повышения параметра Янсена при уплотнении является увеличение коэффициента неравномерности, возникающее вследствие трансформации эпюры давления. Этот коэффициент может в условиях шероховатых стен возрастать от величины 0,63-0,7 (характерной неуплотненному грунту) до единицы, то есть в 1,59-1,43 раза, а в условиях гладких стен – от 0,934 до единицы, то есть на 7%.

Библиографический список

1. Латышенков А.М. Лабораторные исследования нагрузки в ряжах. // Гидротехническое строительство. – 1938.

2. Емельянов Л.М. Давление грунта в ячеистых подпорных системах. М.: МИИВХ, 1959. 82 с.

3. Шарков В.П. О резерве устойчивости ячеистых сооружений на скальном основании. // Гидротехническое строительство. 2001. № 2. С. 20-24

4. Шарков В.П., Бахтин Б.М., Метельский П.З. Давление заполнителя в сооружениях ячеистой конструкции и его связь с формой его эпюры в условиях его укладки без уплотнения. // Природообустройство. 2017. № 4. С. 55-60.

5. Гениев Г.А. Вопросы динамики сыпучей среды. Академия строительства и архитектуры СССР. Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК). Научное сообщение. Вып. 2. М., 1958. –122с.

6. Шарков В.П. К определению расчетного угла трения грунтового заполнителя в ячеистой конструкции. // Природообустройство. 2015. № 3. С. 64-67.

7. Вятских Н.М. Опытная проверка предпосылок расчета высоких ряжей, как силосов. Известия НИИГ, т. XII. Л-М: ОНТИ-Энергоиздат, 1934. С. 70-91.

Материал поступил в редакцию 05.04.2017 г.

Сведения об авторах

Шарков Вячеслав Петрович, кандидат технических наук, доцент кафедры гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д.44; тел.: 8-926-538-40-83. e-mail: v.p.sharkov@mail.ru

Бахтин Бронислав Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д.44; тел.: 8-499-976-24-60.

Метельский Пётр Зенонович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д.44; тел.: 8-499-976-45-25.

V.P. SHARKOV, B.M. BAHNIN, P.Z. METELJSKY

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, the Russian Federation

THE INFLUENCE OF EARTH-FILLER COMPACTION ON THE VERTICAL PRESSURE AND ITS PARAMETERS IN THE CELLS OF HYDRAULIC STRUCTURES

The purpose of the work is studying of the influence of the factor of compaction on the vertical soil pressure in the cells of hydraulic structures which determines their carrying capacity as well as its rated parameters. In the work there was used an analytical method of researches using experimental data. The basic results are as follows. It was found that at laying soil filler with the intensive compaction there arises a diagram of pressure close to the even one with the ordinate equal to the calculated ordinate near the walls. It was observed in the experiments irrespective of planned sizes of the cell and roughness of walls. In the Yansen formula used for calculations of pressures it is reflected, in comparison with the non-compacted soil, by the increase of the main factor by 1.15 and 1.5 times accordingly for the conditions of smooth and rough walls of cells. It was revealed that the increase of the mentioned parameter was mainly influenced by the growth of the coefficient of pressures irregularity due to the diagram transformation from the curvilinear into the even one and decrease of its curvature. The increase of this coefficient is from 0.63-0.70

and from 0.934 to figure one correspondingly under the conditions of rough and smooth walls. It was also established that in case of soil laying with the non-intensive compaction the diagram of pressure appears with a smaller curvature than in case of the non-compacted soil. At the same time there occurred an increase of the Yansen parameter and irregularity coefficient, however in a lesser degree than under intensive compaction. For example, for the conditions of rough walls this parameter increases in average by 13% and the irregularity coefficient – by 10%.

Hydraulic structures, cells, soil-filler, pressure, experiments, calculation, soil compaction, diagram form, transformation

References

1. **Latyshenkov A.M.** Laboratornye issledovaniya nagruzki v ryazhah. // Hydrotehnicheskoe stroiteljstvo. – 1938.
2. **Yemeljanov L.M.** Davlenie grunta v yacheistyh podpornyh sistemah. M.: MIIVH, 1959. 82 s.
3. **Sharkov V.P.** O reserve ustojchivosti yacheistyh sooruzhenij na skaljnom osnovanii. // Hydrotehnicheskoe stroiteljstvo. 2001. № 2. S. 20-24
4. **Sharkov V.P., Bahtin B.M., Meteljsky P.Z.** Davlenie zapolnitelya v sooruzheniyah yacheistoy konstruktsii i ego svyaz s formoj ego epyury v usloviyah ego ukkladki bez uplotneniya. // Prirodoobustrojstvo. 2017. № 4. str. v red.
5. **Geniev G.A.** Voprosy dinamiki sypuchej sredy. Akademiya stroiteljstva i arhitektury SSSR. Tsentraljny nauchno-issledovateljsky institut stroiteljnyh konstruktsij (TSNIISC). Nauchnoe soobshchenie. Vyp. 2. M., 1958. – 122s.
6. **Sharkov V.P.** K opredeleniyu raschetnogo ugla treniya gruntovogo zapolnitelya v yacheistoj konstruktsii. // Prirodoobustrojstvo. 2015. № 3. S. 64-67.
7. **Vyatskih N.M.** Opytnaya proverka predposylok rascheta vysokih ryazhej, kak silosov. Izvestiya NIIG, t. HP. L-M: ONTI-Energoizdat, 1934. S. 70-91.

The material was received at the editorial office
05.04.2017

Information about the authors

Sharkov Vyacheslav Petrovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of hydro technical structures, FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Boljshaya Akademicheskaya, d. 44; tel.: 8-926-538-40-83; e-mail: v.p.sharkov@mail.ru

Bahtin Bronislav Mikhailovich, doctor of technical sciences, professor of the chair of hydro technical structures, FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Boljshaya Akademicheskaya, d. 44; tel.: 8-499-976-24-60

Meteljsky Petr Zenonovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of hydro technical structures, FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Boljshaya Akademicheskaya, d. 44; tel.: 8-499-976-45-25