

## References

1. Chernyh O.N., Rumyantsev I.S., Altunin V.I. Ispol'zovanie vodyanyh meljnits pri vosstanovlenii i ecologicheskoy reabilitatsii vodnyh sistem. M.: Izd-vo MGUP, 2010. 369 s.

2. Volshanik V.V., Yurchenko A.N. Construc-tsii vodyanyh i vetryanyh meljnits Rossii XIX-XX vekov. M.: Izd-vo ASV, 2010. 344 s.

3. Chernyh O.N., Altunin V.I., Volshan-ik V.V., Pjavkin S.V. Vodyanye meljnit-sy – pamyatniki kul'tury i istorii tehnik Rossii / Trudy congressa Velikie reki. T. 2. NNGASU, 2013. S. 386-389.

4. Chernyh O.N., Altunin V.I. Oblas-ti primeneniya vodyanyh koles i vodyanyh meljnits v sovremennom hidrotehnicheskom stroitel'stve // Nauchno-practichesky zhurnal «Voprosy melioratsii». № 1-2. FGNU TSNTI «Meliovodinform», 2011. S. 41-55.

5. Muller, Kauppert. Performance char-acteristics of water wheels // Journal of Hy-draulic Research. Vol. 42. № 5. 2004.

The material was received at the editorial office  
03.05.2017 g.

## Information about the authors

**Chernyh Olga Nikolaevna**, candidate of technical sciences, professor of the chair of hydraulic engineering structures FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya, 44; tel.: 8(499)9762460; e-mail: gtsmgup@mail.ru

**Volshanik Valerij Valentinovich**, doc-tor of technical sciences, professor of FSBEI HE «National research Moscow state research state building university», 129337, Mocow, Yaroslavskoe shosse, 26; tel.: 8 (916) 6201376; e-mail: tvg1806@gmail.com

УДК 502/504:624.042:627.8

**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»

## ДАВЛЕНИЕ ЗАПОЛНИТЕЛЯ В СООРУЖЕНИЯХ ЯЧЕЙСТОЙ КОНСТРУКЦИИ И ЕГО СВЯЗЬ С ФОРМОЙ ЭПЮРЫ В УСЛОВИЯХ УКЛАДКИ БЕЗ УПЛОТНЕНИЯ

*Целью исследований является изучение давления заполнителя на основание в сооружениях ячейстой конструкции, определяющего их устойчивость и прочность, в зависимости от формы эпюры. В статье использован аналитический метод исследований экспериментальных данных. Установлено, что для песчаных грунтов эпюра давления может иметь формы, близкие к эллипсоиду или параболоиду вращения. Это наблюдается в опытах различных авторов независимо от степени шероховатости стен, формы ячеек в плане и вида заполнителя. Для эпюр параболической формы давление оказывается меньшим, чем при эллиптической, что объясняется разной величиной коэффициента неравномерности, входящего в параметр Янсена в его формуле и равного соответственно 0,63...0,64 и 0, 69...0,71. При этом сам параметр Янсена практически не зависит от этих форм и при шероховатых стенках у разных авторов составляет 0,22-0,23. При заполнении ячеек галькой эпюра давления имеет форму, близкую к равномерной, с ординатой, равной главному максимальному напряжению.*

*Гидротехнические сооружения, ячейки, заполнитель, опыты, давление, анализ, форма эпюр, расчетные параметры.*

**Введение.** Устойчивость на сдвиг яче-истых гидротехнических сооружений сдвигу зависит от вертикального давления грун-тового заполнителя на основание. Поэтому точное его определение важно при расчет-ном обосновании таких сооружений [1].

Известно, что на вертикальное давление в ячейках оказывает влияние шероховатость их стен. Кроме того, на его величину может влиять форма ячейки в плане, вид заполните-

ля, способ укладки грунта (например, на Жи-томирской плотине грунт насыпали без уплот-нения, сбрасывая с некоторой высоты, в боль-шинстве других сооружений его уплотняли).

Вертикальное давление заполните-ля и определяющие его расчетные параме-тры в различных условиях должны быть непосредственно связаны с формой эпюры. Об этом, как будет показано ниже, свиде-тельствует один из коэффициентов, вхо-

дящий в неявном виде в формулу Янсена, используемой для определения этого давления. Однако этому вопросу, несмотря на многочисленность опытов с ячейками, уделялось недостаточное внимание.

Цель работы – исследовать величины вертикальных давлений, полученные в опытах разных авторов, и определить формы соответствующих им эпюр и их параметры в условиях насыпного способа укладки грунта, когда в его напряженное состояние за счет уплотнения не вносятся искажения.

#### Материалы и методы исследований.

В работе использовался аналитический способ исследований с предположением, что в ячейке для каждой величины давления заполнителя должна соответствовать своя форма эпюры.

По современным представлениям, распределение вертикального давления грунта-заполнителя по ширине ячейки неравномерно: у стен оно меньше, а у оси – больше. Это подтверждают эпюры давления, приведенные в работах [2, 3]. Наиболее строгое обоснование причин неравномерности эпюр вертикального давления дано в работе [4], в которой распределение касательных напряжений  $\tau$  в поперечном сечении ячейки принято как имеющее кососимметричную форму (рис.). Именно такая эпюра напряжений  $\tau$  формирует объемную криволинейную эпюру вертикального давления 2-го порядка с наименьшими ординатами у стен и наибольшими – у оси.

Эта криволинейная поверхность эпюры в её верхней части, как показал анализ, может иметь формы, близкие к эллипсоиду 2 или параболоиду 3 вращения, показанные на рисунке. Как следует из него, здесь возможны ещё две эпюры давления, но с равномерным распределением ординат. Эпюра 1 – с наибольшими ординатами, как показывает анализ формулы Г.А. Гениева [4], должна наблюдаться при абсолютно гладких стенках, а эпюра 4 – при шероховатых стенках.

Отметим, что в действующем СНиПе [5] эпюра давления для упрощения расчетов принята равномерной.

Анализ имеющихся экспериментальных результатов в работе начнем с рассмотрения давлений, полученных в опытах автора [1, 6]. Проанализируем величины этих давлений и, сравнив их с теоретическими, приведенными на рисунке, определим подходящие формы эпюр. Для определения в них расчетных давлений приняты следующие предположения и методики.

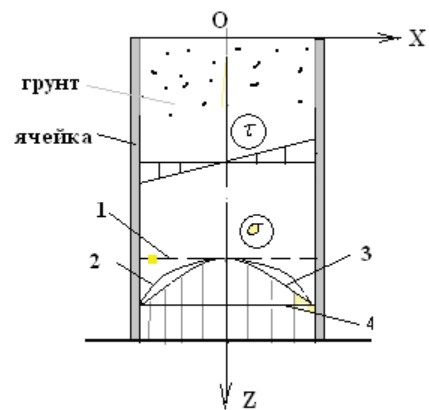


Рис. Формы эпюр касательного напряжения  $\tau$  и вертикального давления  $\sigma$  заполнителя ячейки на основание:

- 1 – равномерная с ординатой у оси (максимальная); 2 – по эллипсоиду вращения; 3 – по параболоиду вращения; 4 – равномерная с ординатой у стен (минимальная)

1. Расчетный угол контактного трения грунта у стен ячейки принят по зависимости, подтвержденной в опытах [7]:

$$\delta_p = (\delta_{\text{лаб}} + \varphi)/2, \quad (1)$$

где  $\delta_{\text{лаб}}$  – угол трения грунта у стен, полученный в сдвиговых опытах;  $\varphi$  – угол внутреннего трения грунта.

2. В асимптотическом решении формулы Янсена (8) (на большой глубине, когда  $H \rightarrow \infty$ ) давление определяется следующим образом:

а) горизонтальное давление грунта на стенки – по формуле

$$\sigma_x = \gamma R / \text{tg} \delta_p, \quad (2)$$

где  $\gamma$  – объемный вес грунта;  $R$  – гидравлический радиус (для ячейки квадратной и круглой форм  $R = a/4 = 25/4 = 6,25$  см;  $a$  – длина стороны или диаметр ячейки);

б) вертикальные давления - у оси (в центре) ячейки по Гениеву [4] равны максимальному главному нормальному напряжению

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

- у стен ячейки определяются по формуле

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

где  $\lambda$  – коэффициент горизонтального давления, определяемый из формулы Л.М. Емельянова [2]

$$1/\lambda = 2/\cos^2 \varphi [1 + (1 - (\cos^2 \varphi / \cos^2 \delta_p)^{0,5})] - 1. \quad (5)$$

3. Осредненное вертикальное давление на основание с предпосылкой о формировании в верхней части его эпюры эллипсоида и параболоида вращения определялось соответственно из выражений:

$$\sigma_{\text{о}} = \sigma_{\text{с}} + (\sigma_1 - \sigma_{\text{с}}) 2/3; \quad (6)$$

$$\sigma_{\text{п}} = \sigma_{\text{с}} + (\sigma_1 - \sigma_{\text{с}}) 0,5. \quad (7)$$

4. Давление заполнителя на основание (на глубине Н) в ячейке определялось по формуле Янсена:

$$\sigma_{zH} = \sigma_z (1 - \exp(-kH/R)), \quad (8)$$

где  $\sigma_z$  – вертикальное давление в асимптотическом решении, определенное по формулам (6 или 7);  $k$  – параметр, входящий в формулу Янсена, определяемый из неё подбором при известном вертикальном давлении и глубине заполнителя Н. Он может также определяться из выражения

$$k = a \lambda \operatorname{tg} \delta, \quad (9)$$

где  $a$  – коэффициент неравномерности вертикальных давлений. Он представляет собой отношение давлений у стен и осредненного по площади ячейки. Именно этот коэффициент учитывает форму эпюры давления.

Другие параметры, входящие в приведенные выше формулы, принимались из рассматриваемых работ.

**Результаты и обсуждение.** Рассмотрим опыты разных авторов, условия их проведения и проанализируем результаты.

#### Опыты с гладкими стенками ячеек

Серия из 8 опытов здесь проводилась с сухим песчаным грунтом в ячейке с внутренними размерами в плане  $25 \times 25$  см, выполненной из гипсопесчаного материала с модулем упругости около 2500 Мпа. Песок насыпался в ячейку тонкой струей с высоты 30 см. Здесь углы трения (у стен и внутренний) составляли  $\delta = 23^\circ$  и  $\varphi = 36^\circ$ , объемный вес грунта  $\gamma = 1,364 \times 10 \text{ кН/м}^3$ , высота заполнителя  $H = 79,6$  см, а осредненное давление песчаного грунта на основание получено равным  $45,0 \times 100$  Па.

В качестве примера для пояснения методики расчетов ниже показана методика определения формы эпюр давления.

Для рассматриваемого опыта асимптотическое горизонтальное давление грунта по формуле (2)  $\sigma_x = 1,364 \times 6,25/\operatorname{tg} 29,5^\circ = 15,08 \times 100$  Па, где расчетный угол трения у стен из выражения (1)  $\delta_p = (36 + 23)/2 = 29,5^\circ$ .

Вертикальное давление грунта по формулам (3) и (4):

$$\begin{aligned} \text{- у оси ячейки } \sigma_1 &= 15,08 \operatorname{tg}^2 (45 + 36/2) = \\ &= 58,06 \times 100 \text{ Па;} \end{aligned}$$

$$\text{- у стен } \sigma_c = \alpha_x / \lambda = 15,08 \times 3,518 = 53,05 \times 100 \text{ Па,}$$

где из формулы (5):  $1/\lambda = 2/\cos^2 36^\circ [1 + (1 - \cos^2 36^\circ / \cos^2 29,5^\circ)^{0,5}] - 1 = 3,214$ , коэффициент  $\lambda = 0,31$ .

Осредненное по площади ячейки давление с предпосылкой эпюры с эллипсоидом вращения по формуле (6) составляет  $\sigma_{\text{о}} = 56,4 \times 100$  Па.

Сравнение показывает, что в этом случае расчетное вертикальное давление у оси ячейки примерно на 10% больше, чем у стен, т.е. эпюра близка к равномерной, что в условиях гладких стенок закономерно. Для эллипсоидальной формы эпюры коэффициент неравномерности, входящий в выражение (9) параметра  $k$ ,  $a = \sigma_c / \sigma_{\text{о}} = 53,05/56,4 = 0,934$ .

Для полученной выше величины давления грунта  $\sigma_{\text{о}}$  при глубине ячейки 79,6 см подбор из формулы Янсена (8) дает параметр  $k = 0,117$ . При подстановке его в формулу получаем расчетное давление на основании, равное  $\sigma_z = 43,65 \times 100$  Па. Это давление на 3% меньше полученного в опытах ( $45,0 \times 100$  Па). В случае параболоида разница является большей, и его параметры не приводятся.

Таким образом, в опытах с неуплотненным грунтом в условиях гладких стенок ячейки форма эпюры давления близка к эллипсоиду вращения, т.е. к кривой 2 на рисунке.

#### 2. Опыты с шероховатыми стенками

В этой серии из 6 опытов давление песчаного грунта на основание получено равным  $35,26 \times 100$  Па, а исходные параметры имели следующие значения:  $\delta = \varphi = 36^\circ$ ,  $\gamma = 1,373 \times 10 \text{ Н/м}^3$ ,  $H = 80$  см.

В асимптотическом решении вертикальное давление равно:

$$\text{- у оси } \sigma_1 = 11,84 \times \operatorname{tg}^2 (45 + 36/2) = 45,6 \times 100 \text{ Па;}$$

$$\text{- у стен } \sigma_c = 11,84/0,488 = 24,3 \times 100 \text{ Па,}$$

где  $0,488 = \lambda$  – коэффициент горизонтального давления у шероховатых стен.

Осредненное асимптотическое давление с предпосылкой об эллипсоиде вращения равно  $\sigma_{\text{о}} = 38,5 \times 100$  Па. Как пока-

зывают оценки, здесь расчетное давление у оси в случае шероховатых стен почти в 1,9 раза больше, чем у стен. Это также закономерно, поскольку в таких условиях значительно развиты касательные напряжения, уменьшающие давления у стен. При этом коэффициент неравномерности  $a = 24,3/38,5 = 0,63$ .

Для давления  $38,5 \times 100$  Па подбор по формуле Янсена при глубине 80 см дает параметр  $k = 0,225$ , при использовании которого давление на основание равно  $\sigma_{\text{ЗН}} = 36,34 \times 100$  Па. Это расчетная величина на 2,1% больше полученного в опытах.

Таким образом, при шероховатых стенках эпюра давления грунта на основание, полученная в этой серии опытов, имеет форму эллипсоида вращения, т.е. вид кривой 2 (рис.), как и в случае гладких стенок.

Сопоставим результаты автора этого опыта с данными, полученными с неуплотненным грунтом в опытах других исследователей.

### 3. Опыты А.М. Латышенкова

Эти опыты проводились в квадратных ячейках размерами от 27 до 50 см с шероховатыми (ряжевыми) стенками высотой 220 см с заполнением их сухим песком ( $g = 1,51 \times 10$  кН/м<sup>3</sup>,  $j = 36,5^\circ$ ) [8]. Давление на основание в опытах составляло  $\sigma_{\text{ЗН}} = 46,8 \times 100$  Па (здесь приведены результаты характерного опыта в ячейках размером  $27 \times 27$  см).

Асимптотическое давление для этих опытов по формуле эллипсоида составило  $45,9 \times 100$  Па, что на 2,1% меньше опытного. При этом коэффициент неравномерности  $a = 0,636$ .

По формуле параболоида давление равно  $41,57 \times 100$  Па, но имеет большее отклонение от опытного (на 12,6%), и дальше мы его не рассматриваем.

В этих опытах параметр Янсена составил  $k = 0,218$ . Здесь вследствие большой глубины заполнителя второй сомножитель в формуле (8) близок к единице, что упрощает подбор этого параметра.

Итак, в квадратной ячейке у А.М. Латышенкова в условиях неуплотненного грунта и шероховатых стенок давление, так же, как и в опытах автора, ближе к эллипсоиду вращения, а параметр  $k = 0,218$ .

### 4. Опыты К. Пипера [9].

Опыты проводились с тремя видами заполнителей в условиях шероховатых сте-

нок (с наклейкой на них наждачной бумагой) в металлической трубе диаметром 60 см с жестким днищем, высотой 308 см.

4-а. В опыте со среднезернистым песком крупностью 1-2 мм ( $g = 1,474$ ,  $j = 38,8^\circ$ ) вертикальное давление равно  $\sigma_z = 94 \times 100$  Па, а параметр  $k = 0,233$ . Асимптотическое давление по формуле эллипсоида составило  $\sigma_o = 100,9 \times 100$  Па, а с учетом высоты заполнителя и параметра  $k = 0,216$  оно равно  $\sigma_{\text{ЗН}} = 99,8 \times 100$  Па, что на 6,1% превышает опытное.

Для параболоида расчетное давление  $\sigma_{\text{П}} = 91,4 \times 100$  Па, а с учетом высоты и параметра  $k = 0,24$  оно равно  $90,8 \times 100$  Па, что на 3,5% меньше опытного. Как видим, опытное давление находится между эллипсоидом и параболоидом, но ближе к последнему. При этом коэффициент неравномерности давлений  $a = 0,69$ .

Отметим, что здесь вследствие большой глубины заполнителя (308 см) параметр Янсена для давления в опытах с учетом его глубины и без её учета по величине практически одинаков: 0,233 и 235.

4-б. В опыте Пипера с мелким песком крупностью 0,7-1,2 мм для эллипсоида вращения вертикальное давление составляет  $97,9 \times 100$  Па, а с учетом высоты и параметра  $k = 0,227$  оно равно  $97,0 \times 100$  Па, что на 3,2% превышает опытное  $94,0 \times 100$  Па. При параболоиде вращения давление составляет  $89,0 \times 100$  Па, а с учетом глубины –  $88,4 \times 100$  Па, что на 6,4% меньше опытного.

Здесь, как видим, опытные данные тоже находятся между эллипсоидом и параболоидом, но ближе к эллипсоиду вращения. Для него коэффициент неравномерности  $a = 0,63$ . Для опытных данных параметр Янсена здесь равен  $k = 0,228$ .

4-в. В опытах Пипера с зерном (данные приведены для полноты картины) вертикальное давление составило  $43,0 \times 100$  Па и оказалось ближе к параболоиду вращения ( $42,2 \times 100$  Па), что на 1,8% меньше опытного. При этом коэффициент  $a = 0,706$ .

Как видим, в опытах Пипера в цилиндрической ячейке формируется пространственная эпюра вертикального давления песчаного заполнителя на жесткое основание, которая находится между параболоидом и эллипсоидом вращения. При этом для среднего песка и зерна при шероховатых стенках оно ближе к параболоиду, а для мелкого, так же, как и у автора, – к эллипсоиду вращения.



В целом анализ показывает, что для песков при одинаковой шероховатости стен давлению с эпюрой в виде эллипсоида соответствуют коэффициент неравномерности  $a = 0,63...0,64$ , а параболоиду – несколько больший по величине ( $a = 0,69...0,71$ ), хотя для них параметры Янсена практически одинаковы с величиной  $0,22...0,23$ .

Эллипсоид возникает для мелкого песка и в условиях гладких стен, при этом коэффициент  $a = 0,934$ .

Для обобщения полученных результатов и их наглядности основные параметры давлениа, полученные для рассмотренных выше опытов, приведены в таблице.

Таблица

**Вертикальное давление песчаного грунта-заполнителя для неуплотненного грунта на основание в опытах и по расчетной методике**

№, заполнитель	Опытные данные			Расчетные данные	Отношение расчетных и опытных данных: (6)/(5)	
	характеристики заполнителя					давление, $\sigma_{zn}(0), \times 100$ Па
	объем. вес $g, 10$ кН/м <sup>3</sup>	угол $j^\circ$	угол $\delta^\circ$	давление, $\sigma_{zn}(0), 100$ Па, форма эпюры		
1	2	3	4	5	6	7
<b>В опытах с ячейкой 25 × 25 см высотой Н = 79,6 см с гладкими стенками</b>						
Песок мелкий	1,364	36	23	45,0	43,65 – эллипс, $k = 0,117$	0,97
<b>В опытах с ячейкой 25 × 25 см, Н = 80 см, с шероховатыми стенками</b>						
Песок мелкий	1,373	36	36	35,26	36,34 – эллипс, $k = 0,225$	1,021
<b>3. В опытах Латышенкова с ячейкой 27 × 27 см, Н = 220 см, с шероховатыми стенками</b>						
Сухой речной песок	1,51	36-37	38	45,9	46,8 – эллипс, $k = 0,218$	1,02
<b>4. В опытах Пипера с ячейкой D = 60 см, Н = 308 см, с шероховатыми стенками</b>						
а) песок средний	1,474	38,8	31,7	94	90,8 – парабол, $k = 0,233$	0,966
б) песок мелкий	1,441	38,0	32,8	94	97,0 – эллипс, $K = 0,227$	1,032
в) зерно	0,703	32,6	25,8	43	42,2 – парабол.	0,98
<b>В опытах Латышенкова с ячейкой 27x 27 см, Н = 220 см, с шероховатыми стенками</b>						
Галька (4-12 см)	1,43	38-40	39,7 41,3	52,4	54,8 – ровная, $k = 0,176$	1,046

5. Опыты А.М. Латышенкова с галькой проводились при ряжевых стенках ячейки размером 27 × 27 см ( $g = 1,43 \times 10$  кН/м<sup>3</sup>, углы  $j = 39^\circ, \delta = 40,5^\circ$ ) [8]. В опытах давление галечникового грунта на основание составило  $52,4 \times 100$  Па.

Расчеты показали, что давление по эллипсоиду вращения здесь равно  $44,1 \times 100$  кПа, что заметно меньше опытного. При этом последнее по величине близко к главному максимальному напряжению  $54,8 \times 100$  Па, определенного по формуле (3) (с разницей 4,6%). На рисунке этому случаю соответствует равномерная эпюра № 1, т.е. опытные данные располагаются между главным напряжением и давлением по эллипсоиду, но ближе к первому. Здесь при асимптотическом давлении параметр  $k = 0,177$ , а с учетом глубины заполнителя –  $k = 0,176$ , т.е. практически без изменений вследствие большой глубины.

Результат получен в серии из 13 опытов. Он относится к числу редких и, на первый

взгляд, противоречивых. Дело в том, что в соответствии с теорией давление, равное главному максимальному напряжению, должно возникать при касательном напряжении  $t = 0$ , т.е. при абсолютно гладких стенках ячейки. В опытах же, наоборот, угол трения у стен  $\delta_{\text{лаб}} = 40,5^\circ$ , что свойственно шероховатым стенкам. Однако этот высокий угол трения, полученный в сдвиговых опытах, еще не свидетельствует о его реализации в ячейке, а его фактическая величина может иметь меньше значения, например, вследствие незначительных осадок этого малосжимаемого галечникового грунта относительно стен в модели.

Действительно, если предположить, что величина фактического коэффициента трения у стен в опытах составила  $\text{tg} \delta_\phi = 0,625$ , тогда из формулы (3) при угле внутреннего трения  $39^\circ$  коэффициент горизонтального давления  $\lambda = 0,275$ . Поскольку равномерной эпюре давления, полученной в опытах, соответствует коэффициент  $a = 1,0$ , то из форму-

лы (9) параметр  $k = 1,0 \cdot 0,275 \cdot 0,625 = 0,172$ , который, как видим, близок к величине опытного значения 0,176, т.е. предпосылка о неполном развитии угла контактного трения у стен объясняет полученный результат.

### Выводы

1. Форма эпюр давления песчаного грунта на основание в ячеистых конструкциях соответствуют эллипсоиду или параболоиду вращения. Это наблюдается в ячейках и квадратной, и круглой форм, причем с разными их плановыми размерами.

2. Эллипсоид вращения наблюдается в опытах с ячейками разных размеров при шероховатых стенках с речным песком у Латышенкова, с мелким песком у Пипера, а также у автора, в том числе, и при гладких стенках. Для эллипсоида в условиях шероховатых стенок коэффициент неравномерности, входящий в выражение параметра Янсена, составляет  $a = 0,63 \dots 0,64$ , а в условиях гладких –  $a = 0,934$ .

3. Параболоид вращения наблюдается в опытах Пипера при заполнении ячеек среднезернистым песком и зерном, т.е. с заполнителями большей крупности. Коэффициент неравномерности здесь имеет большую величину, чем при эллипсоиде вращения, и составляет  $a = 0,69 \dots 0,71$ .

4. Максимальное значение параметра Янсена  $k$  в опытах для песчаных грунтов при шероховатых стенках ячеек у разных авторов составляет  $k = 0,22 \dots 0,23$ , причем он практически не зависит от формы эпюр давления.

5. В опытах с галечниковым грунтом получена равномерная эпюра вертикального давления с ординатой, равной главному максимальному напряжению, что авторы объясняют неполным развитием угла трения у стен вследствие малой сжимаемости этого грунта в модельных условиях. Равномерную форму эпюры здесь характеризует коэффициент  $a$ , равный максимальному значению  $a = 1,0$ . При этом параметр Янсена  $k = 0,175$ , который меньше по величине, чем для песчаного грунта, поэтому здесь возникает большее по величине давление, равное главному максимальному напряжению.

### Библиографический список

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

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

3. Алипов В.В. Исследование давления грунтового заполнителя в железобетонных гидротехнических сооружениях ячеистой конструкции // Труды ВНИИ ВОДГЕО. Вып. 12. М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1965. С. 89-103.

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

5. СНиП 2.06.07-87. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения / Госстрой СССР. М.: ЦЦТП Госстроя СССР, 1987. 40 с.

6. Шарков В.П. Некоторые вопросы сейсмостойкости ячеистых гидротехнических сооружений на скальном основании: Автореферат канд. диссертации. М.: МГМИ, 1982. 29 с.

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

8. Латышенков А.М. Лабораторные исследования нагрузки в ряжах // Гидротехническое строительство. 1938. № 5. С. 7-10.

9. Pippel K. und Wenzel F. Druckverhältnissen in silozellen. Berlin. P. 127.

Материал поступил в редакцию 16.03.2017 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. BAKHTIN, P.Z. METELJSKY

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

## FILLER PRESSURE IN CELLULAR STRUCTURES AND ITS CONNECTION WITH THE DIAGRAM FORM UNDER THE CONDITIONS OF LAYING WITHOUT COMPACTION

*The aim of the research is to study the filler pressure on the foundation in structures of cellular construction which determines their steadiness and strength depending on the diagram shape. The article uses the analytical research method of experimental data. It was found that for sandy soils the diagram of pressure can have a shape close to the ellipsoid or paraboloid of rotation. It is observed in experiments of different authors regardless of the degree of the walls roughness, forms of cells in the plan and type of filler. For diagrams of the parabolic form the pressure is smaller than in elliptical one due to the different value of the coefficient of non-uniformity included in the Jansen parameter in his formula and are equal respectively to 0.63... 0.64 and 0.69...0.71. Thus the Jansen parameter does not practically depend on these forms and at the rough walls according to different authors is 0.22-0.23. When filling the cells with pebbles the pressure diagram has a form close to the uniform one, with an ordinate equal to the main maximal voltage.*

*Hydraulic structures, cells, filler, experiments, pressure, analysis, form of diagrams, rated parameters.*

### References

1. **Sharkov V.P.** O reserve ustoichivosti yacheistyh sooruzhenij na skaljnom osnovanii // Hydrotehnicheskoe stroiteljstvo. 2001. № 2. S. 20-24.

2. **Emeljyanov L.M.** Davlenie grunta v yacheistyh podpornyh sistemah. M.: MPIIVH, 1959. 82 s.

3. **Alipov V.V.** Issledovanie davleniya gruntovogo zapolnitelya v zhelezobetonnyh hydrotehnicheskikh sooruzheniyah yacheistoj constructsii // Trudy VNII VODGEO. Vyp. 12. M.: VNII VODGEO, 1965. S. 89-103.

4. **Geniev G.A.** Voprosy dinamiki sypuchej sredy / Akademiya stroiteljstva i arhitektury SSSR. Tsentraljny nauchno-issledovateljsky institute stroiteljnyh constructsij (TSNIISK): Nauchnoe soobshchenie. Vyp. 2. M.: TSNIISK, 1958. 122 s.

5. SNiP 2.06.07-87. Podporynye steny, sudohodnye shlyuzy, rybopropusknye i rybozashchitnye sooruzheniya / Gosstroj SSSR. M.: TSTSTP Gosstroja SSSR, 1987. 40 s.

6. **Sharkov V.P.** Nekotorye voprosy seismostoikosti yacheistyh hydrotehnicheskikh sooruzhenij na skaljnom osnovanii: avtoreferat cand. Dissertatsii. M.: MGMI, 1982. 29 s.

7. **Sharkov V.P.** K opredeleniyu raschetnogo ugla treniya gruntovogo zapolnitelya

v yacheistoj constructsii // Prirodoobustrojstvo. 2015. № 3. S. 64-67.

8. **Latyshenkov A.M.** Laboratornye issledovaniya nagruzki v ryazah // Hydrotehnicheskoe stroiteljstvo. 1938. № 5. S. 7-10.

9. **Pipper K. und Wenzel F.** Druckverhaltnissen in silozellen. Berlin. P. 127.

The material was received at the editorial office  
16.03.2017

### Information about the authors

**Sharkov Vyacheslav Petrovich**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of hydraulic engineering structures, FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Boljshaya Academicheskaya, 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 hydraulic engineering structures, FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Boljshaya Academicheskaya, d. 44; tel.: 8-499-976-24-60.

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