

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА УСТРОЙСТВА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЭКРАНА ПОД СООРУЖЕНИЕМ

Галинский А.М.

Научно-исследовательский институт строительного производства

В Научно-исследовательском институте строительного производства (Киев, Украина) ведутся исследования технологии устройства горизонтальных противофильтрационных экранов (ГПЭ) под существующими сооружениями с использованием метода горизонтально-направленного бурения скважин. Между двумя параллельными горизонтальными скважинами, специальным рабочим органом устраивается ГПЭ из твердого противофильтрационного материала (ПФМ). Для уточнения математической модели устройства горизонтального экрана проведен комплекс экспериментов на приставке к сдвиговому прибору. Исследования проводились с использованием метода планирования эксперимента. В результате исследований получены эмпирические зависимости удельного усилия перемещению рабочего органа в песке от вертикального давления и степени уплотнения песка. Получены численные значения коэффициента, учитывающего свойства среды и форму рабочего органа.

**Ключевые слова:** технология, горизонтальный экран, планирование эксперимента, математическая модель, удельное усилие.

**Постановка проблемы.** Проблема надежной защиты грунтов и грунтовых вод от загрязнения техногенными стоками остается актуальной и сегодня. В первую очередь это касается промышленных предприятий с мокрыми технологическими процессами, в результате производственной деятельности которых происходит накопление промышленных отходов, которые зачастую являются источником техногенного загрязнения грунтов и грунтовых вод за счет инфильтрации воды, насыщенной вредными веществами, в том числе и радионуклидами. При наличии водоупорного слоя грунта на практически достигаемой глубине задача локализации загрязненных грунтов и грунтовых вод решается известными методами, например, строительством противофильтрационных завес способом «стена в грунте». При отсутствии водоупора проблему можно решить, применяя новую технологию устройства горизонтального экрана под существующими сооружениями. Для создания новой технологии необходимо решить задачу построения математической модели устройства горизонтального экрана с использованием экспериментально-теоретического метода.

**Анализ исследований и публикаций.** Анализ работ Смородинова М.И., Филахтова А.Л., Зубкова В.М., Круглицкого Н.Н. Чернухина А.М, исследований, проведенных в НИИОСП им. Герсеева Н.М. (г. Москва) и НИИСП, (г. Киев), показал необходимость совершенствования методов локализации загрязненных грунтов и грунтовых вод при отсутствии на достигаемой глубине водоупора.

Исследования, проведенные в НИИСП [1; 2], показали возможность создания горизонтального противофильтрационного экрана для локализации загрязнений, и необходимость определения влияния различных факторов на процесс образования горизонтальной полости под действием вертикального давления и устройства в ней экрана.

Анализ работ Ветрова Ю.А., Горячкина В.П. и Зеленина А.Н. показал направления исследования влияния формы рабочего органа и свойств грунта на процесс образования горизонтальной полости для устройства противофильтрационного экрана.

**Выделение не решенных ранее частей общей проблемы**

Одной из задач создания технологии устройства горизонтального противофильтрационного экрана под сооружением является разработка математиче-

ской модели процесса образования экрана на базе известных зависимостей с использованием экспериментально-теоретических методов исследования.

**Цель работы.** На основании исследований на лабораторных моделях установить эмпирические зависимости усилий перемещения рабочего органа в сыпучей среде от вертикального давления и свойств среды, а также получить значения коэффициентов, учитывающих свойства среды и форму рабочего органа для описания процесса создания горизонтального экрана.

**Основное содержание.** В НИИ строительного производства разрабатывается новая технология устройства подземного экрана для локализации загрязненных грунтов и грунтовых вод. Эта технология (рис.1) устройства горизонтального противофильтрационного экрана (ГПЭ) базируется на известной технологии устройства горизонтальных скважин методом горизонтально-направленного бурения (ГНБ) и состоит из процессов бурения параллельных направляющих горизонтальных скважин, разработку грунта между скважинами специальным грунторазрабатывающим рабочим органом с созданием полости и заполнение этой полости противофильтрационным материалом (ПФМ) [1; 2].

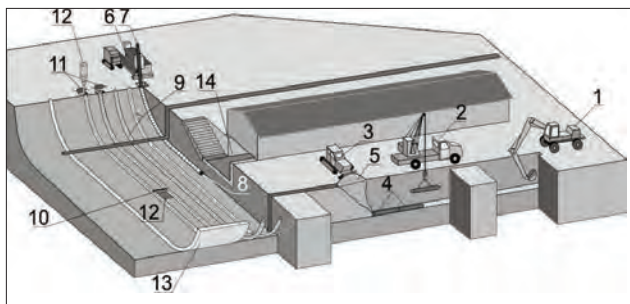
Для реализации предложенной технологии необходимо решить ряд задач, среди которых создание математической модели, описывающей процесс устройства горизонтального противофильтрационного экрана под сооружением, является достаточно важным.

В работе [3] было отмечено, что для построения математической модели процесса устройства ГПЭ в сыпучей песчаной среде правильным будет применение экспериментально-теоретического метода. Значения физико-механических характеристик сыпучей среды, которые входят в расчетные формулы наиболее точно могут быть определены экспериментальным путем.

Исходя из того, что силу сопротивления среды можно представить как сумму трех сил (1), то нами предлагается [3] в качестве базовой модели для определения силы сопротивления перемещению рабочего органа выражение (2):

$$F = F_1 + F_2 + F_3, \quad (1)$$

где  $F_1$  – сила динамического сопротивления, вызванная инерцией частиц среды, принимается



**Рис. 1. Устройство противофильтрационного экрана под сооружением**

1 – экскаватор, 2 – автокран, 3 – бульдозер, 4 – дренажная труба, 5 – щебень для дренажа, 6 – установка ГНБ, 7 – буровая штанга, 8 – буровая головка, 9 – горизонтальная скважина, 10 – рабочий орган, 11 – лебедка, 12 – ПФМ, 13 – ГПЭ, 14 – хранилище

Источник: разработка автора

пропорциональной квадрату скорости проникания тела в среду;  $F_2$  – сила вязкости среды, возникающая за счет преодоления трения между частицами среды;  $F_3$  – сила статического сопротивления, оказывающая существенное влияние и не зависящая от скорости движения тела

$$F = S \left( a_0 + \sum_{i=1}^n a_i V^i + \sum_{j=1}^k b_j \dot{V}^j \right), \quad (2)$$

где  $S$  – площадь миделя,  $a_i, b_j$  – коэффициенты, характеризующие свойства среды и форму рабочего органа;  $V$  – скорость перемещения рабочего органа;  $\dot{V}$  – ускорение рабочего органа.

Исследованию усилий, необходимых для проникновения твердого тела в грунт посвящены работы многих ученых, в том числе: Ветрова Ю.А., Горячкина В.П. и Зеленина А.Н. [4,5,6,7]. Как показывают результаты проведенных исследований для сыпучей среды, влияние вязкости является незначительным и составляющей  $F_2$  при малых скоростях можно пренебречь.

С учетом того, что скорость перемещение рабочего органа в грунте при устройстве горизонтального экрана мала и не будет превышать 10-12 м/час, то при таких скоростях преобладают упругие деформации и для расчета необходимых усилий можно пользоваться упрощенной формулой, которая позволяет учитывать процессы, протекающие в системе «твердое тело – сыпучая среда»:

$$F = S \cdot (B \cdot \rho \cdot V^2 + P), \quad (3)$$

где  $B$  – коэффициент, учитывающий свойства среды и форму рабочего органа,  $\rho$  – удельная плотность рабочего органа,  $P$  – вертикальное давление.

Если предположить, что свойства среды (песчаного грунта), можно характеризовать плотностью или степенью уплотнения (при прочих равных условиях), то коэффициент  $B$  может быть представлен в виде произведения:

$$B = C \cdot Id, \quad (4)$$

где  $Id$  – степень уплотнения среды (песка), – некий коэффициент.

С, учитывая (3), рассчитывается по формуле:

$$C = \frac{N - P}{\rho \cdot Id \cdot V^2}, \quad (5)$$

где  $N = F/S$  – удельное сопротивление перемещению рабочего органа в песчаной среде.

Если параметры  $P, V, \rho, Id$  входящие в формулы (3) и (5), являются исходными при подго-

товке процесса образования полости в грунте, то коэффициент  $B(C)$ , учитывающий свойства среды и форму рабочего органа, а также удельное сопротивление перемещению рабочего органа  $N$  могут быть определены только экспериментальным путем.

Для изучения возможности образования горизонтального экрана в песчаном грунте в условиях воздействия вертикальной нагрузки, получения эмпирическим путем значений коэффициента  $B(C)$  и удельного сопротивления  $N$  для уточнения математической модели, описывающей процесс устройства ГПЭ, была проведена серия экспериментов [2; 8] на специальной приставке к серийному сдвиговому прибору ПСГ-2М (рис. 2, 3а)

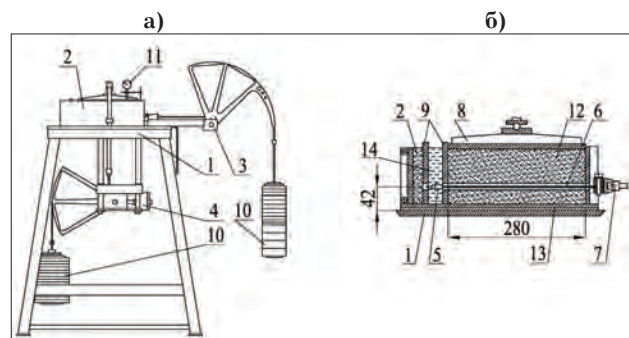
Приставка представляет собой прямоугольный грузовой отсек длиной 340 мм, шириной 100 мм и высотой 110 мм. Грузовой отсек вертикальной съемной перегородкой, разделяется на две неравные части. В большую часть отсека длиной 270 мм укладывался песок, а в малую длиной 60 мм заливался глинистый раствор.

В песке большого отсека перемещался рабочий орган в виде ножей шириной 60 мм, толщиной 7 мм с различными углами заточки:  $11^\circ, 25^\circ$  и радиальной формы. Рабочий орган перемещался тяговым устройством винтового типа, усилия в котором измерялись эталонным динамометром ДОРМ-3-0,5.

Вертикальное давление до  $1 \text{ кг/см}^2$  на песок создавалось рычажной системой прибора ПСГ-2М, которое передавалось на подвижную крышку грузового отсека приставки.

При проведении исследований в грузовой отсек приставки загружался мелко- и среднезернистый песок, который характеризовался плотностью от  $1,59$  до  $1,84 \text{ г/см}^3$ , влажностью до  $18\%$ , углами естественного откоса в воздушно-сухом состоянии  $33-34^\circ$ , а в водонасыщенном –  $30-31^\circ$  и коэффициентом фильтрации при его максимальной плотности до  $2,2 \text{ м/сутки}$ .

При перемещении рабочего органа в горизонтальном направлении в песке создавалась полость, в которую непрерывно из малого отсека подавался противофильтрационный материал в виде глинистого нетвердеющего или твердеющего растворов, образуя горизонтальный экран (рис. 3б).



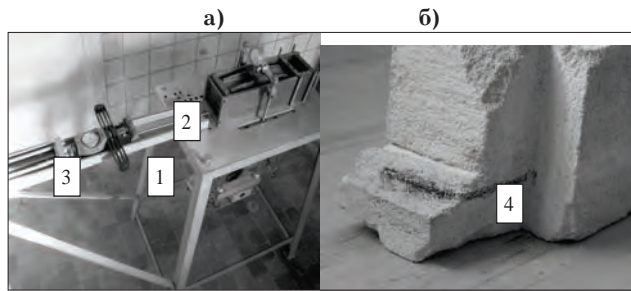
**Рис. 2. Схема сдвигового прибора ПСГ-2М в комплекте с приставкой:**

а) – общий вид; б) – приставка; 1 – прибор ПСГ-2М; 2 – приставка; 3 – рычажная система горизонтального перемещения ножа; 4 – рычажная система вертикальной нагрузки; 5 – рабочий орган (нож); 6 – тяговый трос; 7 – узел крепления троса; 8 – подвижная крышка лотка; 9 – съемная перегородка; 10 – противовес; 11 – индикатор часового типа; 12 – грунт; 13 – лоток; 14 – глинистый раствор

Источник: разработка автора

Для определения влияния формы рабочего органа (ножа) на процесс проникновения в сыпучую

среди рассматривалось два типа ножа: сферический (радиальная форма заточки) и клиновидный, при этом клиновидные ножи имели углы наклона (заточки) 11° и 25°.



**Рис. 3. Проведение испытаний в приставке к сдвиговому прибору ПСГ-2М**

а) – общий вид прибора с приставкой; б) – образец с горизонтальным экраном: 1 – сдвиговой прибор; 2 – приставка; 3 – динамометр ДОРМ-3-0,5; 4 – экран

Источник: разработка автора

Исследования проводились по методу планирования эксперимента. За основу построения плана был взят метод латинского квадрата, согласно которому были определены основные фиксированные факторы и составлена матрица изменения параметров. При фиксированных геометрических размерах и форме рабочего органа изменялся показатель степени уплотнения песка и внешнее вертикальное давление. В качестве функции отклика было принято удельное сопротивление грунта перемещению рабочего органа.

Исходя из условий проведения экспериментов, определены три уровня изменения фактора степени уплотнения ( $I_d$ ) и три уровня изменения фактора внешнего вертикального давления ( $P$ ):

- слабо уплотненные пески  $I_d=0,24$ ; ·  $P_1=0,1$  кг/см<sup>2</sup>;
- средние уплотненные пески  $I_d=0,52$ ; ·  $P_2=0,5$  кг/см<sup>2</sup>;
- сильно уплотненные пески  $I_d=0,8$  ·  $P_3=1$  кг/см<sup>2</sup>.

В качестве критерия определения оптимальных параметров принималось сочетание факторов, которое позволяет выполнить процесс при мини-

мальных усилиях и прирост функции зависимости усилий от параметров модели также будет минимальный:

$$F(V, Id, P, b) \rightarrow \min \text{ и } \Delta F(V, Id, P, b) \rightarrow \min$$

т.е., при наращивании давления и плотности увеличение усилий должно быть наименьшим ( $b$  – параметр, учитывающий форму, геометрические и топологические характеристики ножа).

Перед обработкой результатов, полученных в ходе проведения экспериментов, были найдены их статистические характеристики и проверены на пригодность для получения и оценки зависимостей, для чего использовалась среда Mathcad 14.

Результаты экспериментов на приставке к сдвиговому прибору ПСГ-2М приведены в таблице 1 и 2, где для каждого сочетания факторов степени уплотнения и вертикального давления приведены средние значения удельного сопротивления (математическое ожидание).

Проверка полученных результатов по критерию Фишера показала их равнозначность, а по критерию Вилкоксона – их однородности, что позволяет их объединять в одну совокупность.

Обработка результатов, приведенных в таблице 1, позволила представить зависимость удельного сопротивления перемещению рабочего органа от вертикального давления для различных степеней уплотнения песка и углов заточки «ножа» в виде уравнений регрессии, приведенных в таблице 3.

Графики линейных и логарифмической зависимостей, экстраполированные до давления 2 кг/см<sup>2</sup> приведены на рис. 4.

Анализ графиков, приведенных на рис. 4 показывает, что для малых и средних плотностей предпочтительнее использование клиновидного ножа с углом заточки 25°, а для высокой плотности – нож с радиальной заточкой. Особенно это хорошо видно для больших значений давления.

Обработка результатов, приведенных в таблице 2, позволила получить уравнения регрессии удельного сопротивления перемещению рабочего органа от степени уплотнения песка для различных значений вертикального давления и углов заточки ножа в виде полиномов первой и второй

Таблица 1

**Зависимость удельного сопротивления перемещению рабочего органа от вертикального давления**

Вертикальное давление $P$ , кг/см <sup>2</sup>	Удельное сопротивление перемещению рабочего органа в песке $N$ , кг/см <sup>2</sup> при степени уплотнения $I_d$								
	0,24			0,52			0,8		
	Угол заточки ножа								
	110	250	Радиал	110	250	Радиал	110	250	Радиал
<b>0,1</b>	1.7	2.7	2.5	2.5	2.3	3.3	3.4	3.7	5.0
	2.3	2.8	2.2	2.2	2.7	2.8	3.0	2.3	4.5
	2.0	2.2	2.2	2.8	2.3	5.0	3.3	3.7	3.5
	<b>Ср. мат. ожид.</b>	<b>2,0</b>	<b>2,6</b>	<b>2,3</b>	<b>2,5</b>	<b>2,5</b>	<b>3,7</b>	<b>3,2</b>	<b>3,3</b>
<b>Ср. кв. откл.</b>	<b>0,3</b>	<b>0,32</b>	<b>0,17</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>1,15</b>	<b>0,2</b>	<b>0,8</b>	<b>0,76</b>
<b>0,5</b>	13.3	17.3	16.0	28.3	13.7	34.2	32.2	26.2	49.2
	20.3	13.3	24.0	25.8	16.2	25.8	29.2	25.2	30.0
	19.2	10.0	19.5	24.2	25.3	24.2	30.5	25.8	30.3
<b>Ср. мат. ожид.</b>	<b>17,6</b>	<b>13,5</b>	<b>18,8</b>	<b>26,1</b>	<b>18,4</b>	<b>28,1</b>	<b>30,6</b>	<b>25,7</b>	<b>36,5</b>
<b>Ср. кв. откл.</b>	<b>3,8</b>	<b>3,7</b>	<b>4,01</b>	<b>2,1</b>	<b>6,1</b>	<b>5,37</b>	<b>1,5</b>	<b>0,5</b>	<b>11,0</b>
<b>1,0</b>	29.7	20.8	32.8	49.2	26.0	53.7	52.3	49	60.7
	36.7	28.3	40.3	52.0	33.7	54.2	51.7	50.8	52.5
	41.0	25.7	30.8	43.3	44.0	60.7	46.7	43.8	53.0
<b>Ср. мат. ожид.</b>	<b>35,8</b>	<b>25,0</b>	<b>34,6</b>	<b>48,2</b>	<b>33,0</b>	<b>56,2</b>	<b>50,2</b>	<b>47,9</b>	<b>55,4</b>
<b>Ср. кв. откл.</b>	<b>5,7</b>	<b>3,8</b>	<b>5,01</b>	<b>4,4</b>	<b>6,54</b>	<b>3,91</b>	<b>3,1</b>	<b>3,6</b>	<b>4,6</b>

Источник: разработка автора

Таблица 2

## Зависимость удельного сопротивления перемещению рабочего органа от степени уплотнения песка

Степень уплотнения Id при вертикальном давлении, кг/см <sup>2</sup>	Удельное сопротивление перемещению рабочего органа в песке N, кг/см <sup>2</sup>								
	0,1			0,5			1,0		
	Угол заточки ножа								
	110	250	Радиал	110	250	Радиал	110	250	Радиал
<b>0.24</b>	1.7	2.7	2.5	13.3	17.3	16.0	29.7	20.8	32.8
	2.3	2.8	2.2	20.3	13.3	24.0	36.7	28.3	40.3
	2,0	2.2	2.2	19.2	10	19.5	41	25.7	30.8
<b>Ср. мат. ожид.</b>	<b>2,0</b>	<b>2,6</b>	<b>2,3</b>	<b>17,6</b>	<b>13,5</b>	<b>18,8</b>	<b>35,8</b>	<b>25,0</b>	<b>34,6</b>
<b>Ср. кв. откл.</b>	<b>0,3</b>	<b>0,32</b>	<b>0,17</b>	<b>3,8</b>	<b>3,7</b>	<b>4,01</b>	<b>5,7</b>	<b>3,8</b>	<b>5,01</b>
<b>0.52</b>	2.5	2.3	3.3	28.3	13.7	34.2	49.2	26	53.7
	2.2	2.7	2.8	25.8	16.2	25.8	52	33.7	54.2
	2.8	2.3	5.0	24.2	25.3	24.2	43.3	44	60.7
<b>Ср. мат. ожид.</b>	<b>2,5</b>	<b>2,5</b>	<b>3,7</b>	<b>26,1</b>	<b>18,4</b>	<b>28,1</b>	<b>48,2</b>	<b>33,0</b>	<b>56,2</b>
<b>Ср. кв. откл.</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>1,15</b>	<b>2,1</b>	<b>6,1</b>	<b>5,37</b>	<b>4,4</b>	<b>6,54</b>	<b>3,91</b>
<b>0.8</b>	3.4	3.7	5.0	32.2	26.2	49.2	52.3	49	60.7
	3	2.3	4.5	29.2	25.2	30.0	51.7	50.8	52.5
	3.3	3.7	3.5	30.5	25.8	30.3	46.7	43.8	53.0
<b>Ср. мат. ожид.</b>	<b>3,2</b>	<b>3,3</b>	<b>4,3</b>	<b>30,6</b>	<b>25,7</b>	<b>36,5</b>	<b>50,2</b>	<b>47,9</b>	<b>55,4</b>
<b>Ср. кв. откл.</b>	<b>0,2</b>	<b>0,8</b>	<b>0,76</b>	<b>1,5</b>	<b>0,5</b>	<b>11,0</b>	<b>3,1</b>	<b>3,6</b>	<b>4,6</b>

Источник: разработка автора

Таблица 3

## Уравнения регрессии удельного сопротивления перемещению рабочего органа от вертикального давления

Степень уплотнения Id	Угол заточки ножа 11°	Угол заточки ножа 25°	Радиальная заточка ножа
0.24	$y=34.613x - 0.071$	$y=25.025x + 0.524$	$y=35,403x-0,236$
0.52	$y=49.408x + 0.275$	$y=33.897x + 0.548$	$y=57,129x-0,852$
0.8	$y=52.344x + 1.548$	$y=47.957x + 0.609$	$y=32,6 \ln(x+0,138)+51,17$

Источник: разработка автора

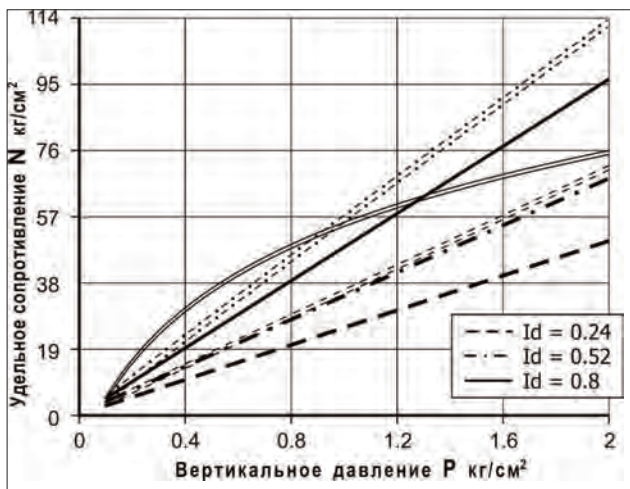
Таблица 4

## Уравнения регрессии удельного сопротивления перемещению рабочего органа от степени уплотнения песка

P, кг/см <sup>2</sup>	Квадратичная зависимость	Ср. кв. ошибка	Логарифмическая зависимость	Ср. кв. ошибка
Нож с углом заточки 11°				
0,1	$y = 3,718x + 0,475$			
0,5			$y = 12,919 \ln(x + 0,081) + 32,39$	
1,0			$y = 12,817 \cdot \ln(x + 0,015) + 54,133$	
Нож с углом заточки 25°				
0,1	$y = -6,605x^2 + 8,89x + 0,232$	$\varepsilon = 0,495$	$y = 0,5 \ln(x + 0,002) + 3,183$	$\varepsilon = 0,255$
0,5	$y = -25,373x^2 + 50,71x + 0,764$	$\varepsilon = 1,631$	$y = 14,12 \ln(x + 0,17) + 25,295$	$\varepsilon = 1,169$
1,0	$y = -41,76x^2 + 89,666x + 1,611$	$\varepsilon = 3,439$	$y = 27,41 \ln(x + 0,19) + 46,28$	$\varepsilon = 2,730$
Нож с радиальной заточкой				
0,1	$y = -6,783x^2 + 10,731x + 0,03$	$\varepsilon = 0,067$	$y = 2,13 \ln(x + 0,12) + 4,54$	$\varepsilon = 0,081$
0,5	$y = -42,435x^2 + 78,03x + 0,69$	$\varepsilon = 1,471$	$y = 20,43 \ln(x + 0,17) + 36,71$	$\varepsilon = 0,666$
1,0	$y = -132,53x^2 + 178,74x + 0,12$	$\varepsilon = 0,254$	$y = 20,04 \ln(x + 0,05) + 62,1$	$\varepsilon = 3,969$

Источник: разработка автора

степени и логарифмической функции с использованием метода наименьших квадратов. Результаты аппроксимации с оценкой соответствующих среднеквадратических ошибок приведены в таблице 4.



**Рис. 4.** Графики зависимости удельного сопротивления перемещению рабочего органа от вертикального давления при различной степени уплотнения песка для ножа с углом заточки 250 и для ножа с радиальной заточкой (двойная линия)

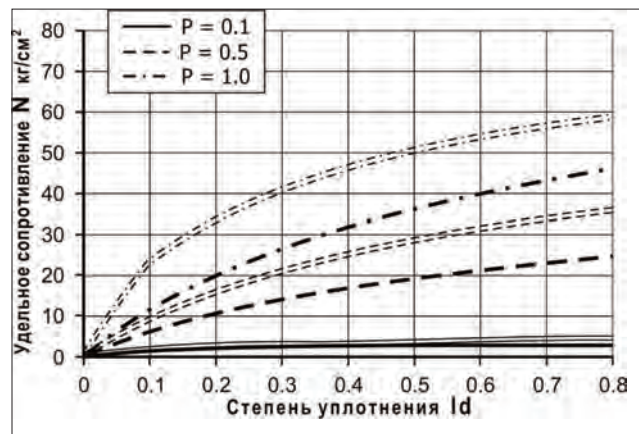
Источник: разработка автора

Из коэффициентов функций, приведенных в таблице 4 и их среднеквадратических погрешностей видно, что с увеличением давления увеличивается степень нелинейности зависимости между удельным сопротивлением и степенью уплотнения. Для давления  $P=1 \text{ кг/см}^2$  квадратичная зависимость на данном отрезке интерполяции является более точной, что объясняется сложными процессами, происходящими при взаимодействии твердого тела и грунта, а именно уменьшение сопротивления объясняется чередованием пластических и упругих деформаций и возникновением зоны разряжения в передней зоне деформации. Такой результат согласуется с экспериментами, проводимыми другими исследователями [6; 9; 10]. Однако, исходя из того, что экстраполяция функции зависимости удельного сопротивления от плотности среды показывает, что это функция в среднем возрастающая, для получения оценок предпочтительнее использовать логарифмическую зависимость.

Сравнение функций зависимости удельного сопротивления от плотности показывает, что графики для клиновидного ножа с углом заточки 25° и радиального имеют тенденцию сходиться. Этот факт подтверждается и значениями коэффициентов при логарифмической функции соответствующих зависимостей (рис. 5).

Анализ результатов исследований показывает, что удельные сопротивления перемещению рабочего органа клиновидной формы с увеличением плотности песка возрастают. Чем больше угол заточки, тем большее влияние на величину удельного сопротивления оказывает первоначальная плотность песка. При угле заточки больше 250, удельное сопротивление с повышением степени плотности песка от 0,24 до 0,6 возрастает интенсивно, а при большей плотности остается практически постоянной.

Стабилизация усилий на перемещение рабочего органа при повышении степени уплотнения песка выше 0,6 свидетельствует о том, что дальнейшее уплотнение песка в условиях проводимых экспериментов не является существенным фактором при определении усилий на перемещение рабочего органа.



**Рис. 5.** Графики зависимости удельного сопротивления перемещению рабочего органа от степени уплотнения песка при различной величине вертикального давления для ножа с углом заточки 250 и для ножа с радиальной заточкой (двойная линия)

Источник: разработка автора

Для ножа с радиальной формой заточки при высокой плотности песка усилия возрастают незначительно. Также, с увеличением давления рост усилий незначительно возрастает. Характер зависимости хорошо аппроксимируется логарифмической зависимостью.

Полученные данные, с учетом коэффициента вариации сопротивления перемещению рабочего органа, отвечают результатам, полученным для песчаных грунтов другими исследователями, изучавшими процессы резания грунтов пассивными режущими рабочими органами [11].

Следовательно, результаты определения удельных усилий перемещения рабочего органа (тяговых усилий) в приставке к сдвиговому прибору можно

Таблица 5

**Значения коэффициента С**

Вертикальное давление P, кг/см <sup>2</sup>	Значение коэффициента С при степени уплотнения Id					
	0,24		0,52		0,8	
	Угол заточки ножа					
	250	Радиал	250	Радиал	250	Радиал
0,1	12263,3	10791,7	5433,6	94834,3	4709,1	164965,5
0,5	63769,4	8150,4	40525,4	62411,4	37084,1	124972,2
1,0	117727,4	6229,3	72447,6	52756,6	69017,7	80054,6

Источник: разработка автора

считать достоверными и на них можно ориентироваться при оценке эффективности технологии устройства горизонтального экрана при дальнейших исследованиях на крупномасштабном стенде.

Используя результаты экспериментов стало возможным определение численных значений коэффициента  $S$  (табл. 5) и построение графиков зависимости коэффициента  $B$  от степени уплотнения песка при различном вертикальном давлении для ножей разной формы заточки (рис. 6, 7).

#### Выводы и предложения:

1. Эксперименты, проведенные на приставке к сдвиговому прибору ПСГ-2М, показали принципиальную возможность образования горизонтальной полости в песчаной среде безотвальным способом при воздействии вертикального давления и образования в этой полости экрана.

2. Рабочий орган в виде ножа с радиальной заточкой легче стабилизируется и является оптимальным для образования полости, особенно при увеличении плотности песчаной среды.

3. В связи с тем, что образование горизонтальной полости рабочим органом происходит при малых скоростях, в песке преобладают упругие деформации, что позволяет в качестве математической модели, учитывающей процессы, протекающие в системе «твердое тело – сыпучая среда» использовать упрощенную формулу:  $F = S \cdot (B \cdot \rho \cdot V^2 + P)$ .

4. Эмпирическим путем для ножей разной формы получены зависимости удельного сопротивления перемещению рабочего органа и коэффициента, учитывающего свойства среды и форму рабочего органа, от степени уплотнения песка и вертикального давления.

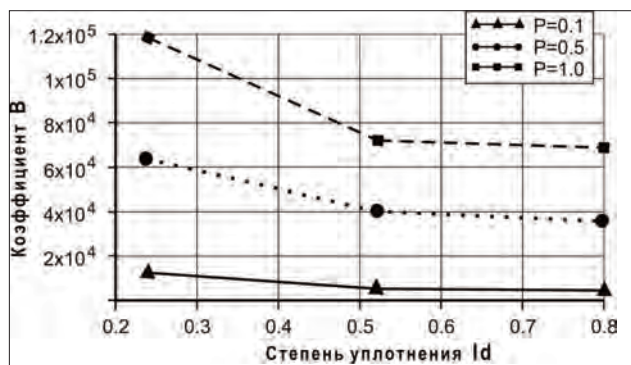


Рис. 6. График зависимости коэффициента  $B$  от степени уплотнения песка ( $I_d$ ) при различных значениях вертикального давления  $P$  для клиновидного ножа с углом заточки  $25^\circ$

Источник: разработка автора

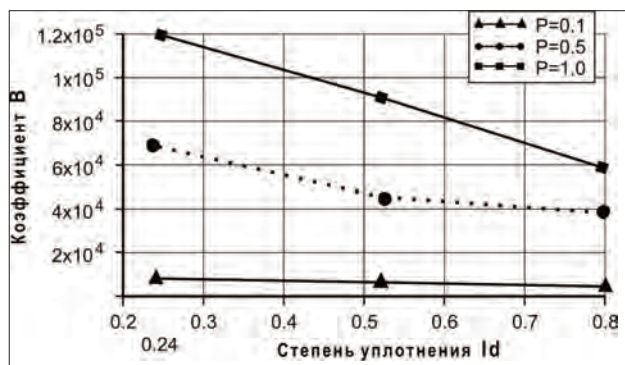


Рис. 7. График зависимости коэффициента  $B$  от степени уплотнения песка ( $I_d$ ) при различных значениях вертикального давления  $P$  для ножа с радиальной формой заточки

Источник: разработка автора

#### Список литературы:

1. Спосіб улаштування екрану під спорудою /Деклараційний патент на винахід № 35065 А від 15.03.2001, бюл. № 2 /
2. Чернухин А.М., Галинский А.М. Исследование процесса образования полости для устройства подземного экрана под сооружением. Будівельне виробництво. – Київ, 2000. – № 41. – С. 37-40.
3. Галинский О.М., Горда О.В. Основні аспекти теоретичних досліджень та моделювання процесу влаштування горизонтального екрану під спорудою. Науково-технічний журнал «Нові технології в будівництві». – Київ, НДІБВ. – 2014, № 27-28. – С. 3-9.
4. Ветров Ю. А. Сопротивление грунтов резанию. – Киев: Изд. Киевского университета, 1965 – 167 с.
5. Горячкин В. П. Собрание сочинений. – М.: Колос, 1965. – Т. 2. – 460 с.
6. Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. М.: Машиностроение, 1968.
7. Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел. – М.: Стройиздат, 1977. – 256 с
8. Galinskiy, Research of technology of construction of horizontal impervious screen under the existing structures. Conference proceedings XV Danube – European Conference on Geotechnical Engineering (DECGE 2014) 9-11September 2014, Vienna, Austria, volume 2 Paper No.1213-1219
9. Баловнев В.И. Физическое моделирование резания грунтов. – М.: школа, 1969. – 159 с.
10. Филяков А.Б., Славин Б.М., Шабанов В.И., Халявкин А.А. Анализ сил сопротивления резанию уплотненного рядового насыпного груза плоским ножом // Вестник астраханского государственного технического университета Выпуск № 2 / 2008.
11. Айзеншток И. Д. К построению физической теории резания грунтов // Резание грунтов. – М. Изд-во АН СССР, 1951. – С. 76-103.

Галінський О.М.

Науково-дослідний інститут будівельного виробництва

## ВИЗНАЧЕННЯ ЕМПІРИЧНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ДЛЯ УТОЧНЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ВЛАШТУВАННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЕКРАНУ ПІД СПОРУДОЮ

### Анотація

У Науково-дослідному інституті будівельного виробництва (Київ, Україна) ведуться дослідження технології влаштування горизонтальних протифільтраційних екранів (ГПЕ) під існуючими спорудами з використанням методу горизонтально-спрямованого буріння свердловин. Між двома паралельними горизонтальними свердловинами, спеціальним робочим органом влаштовується ГПЕ з протифільтраційного матеріалу (ПФМ), що твердіє. Для уточнення математичної моделі влаштування горизонтального екрану проведено комплекс експериментів на приставці до зсувного приладу. Дослідження проводилися з використанням методу планування експерименту. В результаті досліджень отримано емпіричні залежності питомого зусилля переміщення робочого органу в піску від вертикального тиску і ступеня ущільнення піску. Отримані чисельні значення коефіцієнта, що враховує властивості середовища і форму робочого органу.

**Ключові слова:** технологія, горизонтальний екран, планування експерименту, математична модель, питоме зусилля.

Galinskiy A. M.

Research Institute of Building Production

## DETERMINATION OF THE EMPIRICAL RELATIONSHIPS TO REFINE THE MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF HORIZONTAL SCREEN, UNDER CONSTRUCTION

### Summary

At the research Institute of building production (Kiev, Ukraine) research technology devices horizontal impervious screens (HIS) under the existing buildings, using the method of horizontal directional directed wells' drilling. Between two parallel horizontal wells, a special working body is arranged HIS of hardened impervious material (IM). To refine the mathematical model of the horizontal screen conducted a set of experiments on the console to shift the device. The research was conducted using the method of experiment planning. The studies obtained empirical dependences of the specific efforts to move the working body in the sand of the vertical pressure and the degree of compaction of sand. The numerical values of the coefficient that takes into account the properties of the medium and the form of the working body.

**Keywords:** technology, horizontal screen, design of experiments, mathematical model, specific force.

УДК 514.18 + 727.6

## КОМФОРТНЕ ЖИТЛО. КЛАСИФІКАЦІЯ ЖИТЛА В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД РІВНЯ КОМФОРТНОСТІ. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛІТНОГО ЖИТЛА

Калашнікова В.В.

Національний авіаційний університет

Вивчено проблему забезпечення психологічного комфорту житла. Наведено класифікацію житла за рівнем комфорту. Охарактеризовано поняття «елітне житло». Досліджено основні вимоги до елітного житла у Європі, Росії, Україні. Визначено цільову аудиторію власників. Проаналізовано класифікації елітного житла.

**Ключові слова:** психологічний комфорт, елітне житло, вимоги, цільова аудиторія, класифікація, категорія.

**Постановка проблеми.** Головним завданням проектування сучасного житла є забезпечення комфорту. Сьогодні проблема забезпечення фізіологічного комфорту вирішена достатньо і всесторонньо. Сучасне житло має забезпечувати не лише фізіологічний комфорт, а й психологічний. Тобто, ще на стадії проектування житла, має бути передбачені всі умови та засоби, для досягнення комплексного комфорту, а також трансформації і розвитку відповідно до вікових та біоритмічних особливостей майбутнього власника. Існує класифікація житла в залежності від рівня комфортності. На ринку житлової нерухомості все частіше фігурує поняття «елітне житло», воно вважається

найкомфортнішим. Немає єдиного офіційного тлумачення цього терміну на міжнародному рівні, а отже і вимоги до елітного житла суттєво різняться у багатьох країнах. Тому потрібно з'ясувати, що таке елітне житло для України і яке місце займає психологічний комфорт під час його проектування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У численних нормативних документах надано вичерпну інформацію щодо вимог, яким має відповідати житло [1]; праця Товбича В.В. [2] охоплює всі можливі рівні проектування житла; у книзі Нойферт П., Нефф Л. [3] проілюстровано численні варіанти архітектурно-планувальних рішень різних форм житла. Проте навіть, якщо збудувати житло відпо-