

П.Н. Должиков, Д.В. Пронский, О.А. Рыжикова

## **ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ДИСПЕРСНЫХ ПОРОД ПРИ НАПОРНО-ИНЪЕКЦИОН- НОЙ КОНСОЛИДАЦИИ**

*По результатам лабораторных исследований получена зависимость коэффициента фильтрации суглинка от его объемной массы скелета. Установлены необходимые величины изменения объемной массы скелета суглинка при его напорно-инъекционной консолидации глиноцементными растворами.*

---

### **ФІЛЬТРАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ВОДОНАСИЧЕНИХ ДИСПЕРСНИХ ПОРІД ПРИ НАПІРНО-ІН'ЄКЦІЙНІЙ КОНСОЛІДАЦІЇ**

*За результатами лабораторних досліджень отримана залежність коефіцієнта фільтрації суглинка від його об'ємної маси скелета. Встановлено необхідні величини зміни об'ємної маси скелета суглинка при його напірно-ін'єкційній консолидації глиноцементними розчинами.*

---

### **FILTRATION PROPERTIES OF SATURATED DISPERSE SOILS AT PRESSURE- INJECTION CONSOLIDATION**

*By the results of laboratory researches dependence of coefficient of loam filtration on its volume mass of a skeleton is obtained. Necessary values of volume mass change of loam skeleton at its pressure-injection consolidation by temping solutions are established.*

---

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Условия строительства и эксплуатации различных наземных и подземных инженерных сооружений во многом определяются свойствами горного массива. Наиболее уязвимыми к внешним воздействиям и изменчивыми по своим характеристикам являются дисперсные массивы, представленные рыхлыми несвязными и мягкими связными породами, в частности, песками, супесями, лессами, суглинками и глинами [1]. При этом практический интерес для изучения имеют дисперсные массивы, залегающие над горными выработками, в основаниях наземных инженерных объектов или являющиеся конструктивными под-

порными элементами гидротехнических сооружений. Под воздействием негативных природных и техногенных факторов такие массивы могут существенно изменять свои физические, механические и фильтрационные свойства, что, как правило, приводит к аварийной ситуации на инженерном объекте. В мировой практике известно много способов стабилизации, упрочнения и водоизоляции аварийно-опасных участков массива, однако наиболее эффективным, в настоящее время, является комплексный метод тампонажа глиноцементными растворами [2, 3]. Таким образом, изучение свойств дисперсных массивов до и после производства тампонажных работ представляет собой

актуальную прикладную задачу.

*Целью работы* является установление закономерностей изменения фильтрационных свойств разуплотненных зон дисперсных массивов при их консолидации посредством напорно-инъекционных технологий.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Наиболее распространенными дисперсными породами на территории Восточного Донбасса являются суглинки, в связи с чем они и были выбраны в качестве объекта исследований. Образцы суглинков отобраны на территории Антрацитовского района

Луганской области. Их основные усредненные инженерно-геологические характеристики при естественном сложении приведены в табл. 1 и 2.

Лабораторные исследования коэффициента фильтрации водонасыщенного суглика при различной объемной массе его скелета проводились на компрессионно-фильтрационном приборе ПКФ-01, в соответствии со стандартной методикой испытаний [4]. Исходя из геометрических параметров рабочего кольца прибора (внутренний диаметр 7,14 см, высота 2,04 см) объем загрузки породой составлял 81,68 см<sup>3</sup>.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СУГЛИНКОВ ЕСТЕСТВЕННОГО СЛОЖЕНИЯ

Таблица 1

№ п/п	Наименование свойств	Единица измерения	Величина
1	Удельная масса	г/см <sup>3</sup>	2,63
2	Объемная масса	г/см <sup>3</sup>	2,15
3	Объемная масса скелета	г/см <sup>3</sup>	1,72
4	Коэффициент фильтрации	м/сут	0,05
5	Весовая влажность	%	18,90
6	Сцепление	кН/м <sup>2</sup>	26,80
7	Угол внутреннего трения	град	18,00

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ СУГЛИНКОВ

Таблица 2

Содержание фракций, %		
песчаных (0,05–2 мм)	пылеватых (0,002–0,05 мм)	глинистых (< 0,002 мм)
55	32	13

Перед испытаниями вода и суглинок выдерживались в лаборатории до выравнивания их температуры с температурой воздуха.

Задание определенной исходной величины объемной массы скелета породы в эксперименте достигалось путем предварительной подготовки образцов. Суглинок с помощью пестика с резиновым наконечником разминался до исчезновения комковатости, после чего определялась его весовая влажность. При этом необходимая масса дисперсной породы, засыпаемой в рабочее кольцо прибора, рассчитывалась по

формуле:

$$m_n = V_k \cdot \gamma_{c.исх} \cdot (1 + W_{исх}), \quad (1)$$

где  $V_k$  – рабочий объем кольца компрессионно-фильтрационного прибора, см<sup>3</sup>;

$\gamma_{c.исх}$  – исходная объемная масса скелета, г/см<sup>3</sup>;

$W_{исх}$  – исходная весовая влажность, доли ед.

После укладки в рабочее кольцо прибора необходимого количества породы, для достижения степени влажности не менее 0,9 ее увлажняли расчетным количеством

воды, после чего для насыщения всего объема ее выдерживали в эксикаторе в течение 1 – 2 суток. Требуемое для полного водонасыщения суглинка количество воды определяли по следующей формуле:

$$m_e = V_k \cdot \left[ 1 - \gamma_{c.исх} \cdot \left( \frac{1}{\gamma_y} - W_{исх} \right) \right], \quad (2)$$

где  $\gamma_y$  – удельная масса породы (т.е. масса единицы объема ее минеральной части), г/см<sup>3</sup>.

Для эксперимента были подготовлены образцы с исходной объемной массой скелета от 1,3 до 1,9 г/см<sup>3</sup> с шагом 0,05 г/см<sup>3</sup>. После испытаний образцов на компрессионно-фильтрационном приборе коэффициент фильтрации, приведенный к условиям температуры 10 °С, вычислялся по формуле:

$$K_\phi = \frac{864 \cdot \varphi \cdot A_n \cdot h}{t \cdot A_k \cdot (0,7 + 0,03 \cdot T_\phi)}, \quad (3)$$

где 864 – переводной коэффициент (см/с в м/сут);

$\varphi$  – безразмерный коэффициент, зависящий от наблюдаемого падения уровня воды в пьезометре и величины начального напора;

$A_n$  – площадь сечения пьезометра, см<sup>2</sup>;

$h$  – высота образца грунта, см;

$t$  – время падения уровня воды, с;

$A_k$  – площадь кольца, см<sup>2</sup>;

$T_\phi$  – фактическая температура воды при опыте, °С.

По результатам лабораторных исследований установлена зависимость коэффициента фильтрации суглинка от величины объемной массы его скелета, которая на рис. 1 показана штриховой линией.

Также, с помощью ПЭВМ, проводился корреляционно-регрессионный анализ опытных данных. Полученная регрессионная кривая показана на рис. 1 сплошной линией. Аналитически исследуемая зависимость наиболее адекватно описывается полиномиальной кривой третьей степени

(коэффициент корреляции 0,88):

$$K_\phi = -12,23 \cdot \gamma_c^3 + 67,28 \cdot \gamma_c^2 - 123,37 \cdot \gamma_c + 75,42. \quad (4)$$

Анализ графика зависимости, приведенного на рис. 1, позволяет сделать вывод о том, что в процессе консолидации суглинка изменение его фильтрационных характеристик подчиняется полиномиальной закономерности, при этом уплотнение его скелета до величины 1,75 – 1,8 г/см<sup>3</sup> позволяет обеспечить водонепроницаемость, достаточную для нормальной эксплуатации большинства инженерных объектов ( $K_\phi < 0,02$  м/сут).

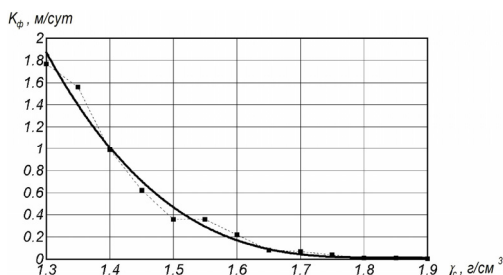


Рис. 1. Зависимость коэффициента фильтрации суглинка от объемной массы его скелета

При проектировании технологических параметров напорно-инъекционной консолидации дисперсных пород глиноцементными растворами важным вопросом является установление необходимой степени уплотнения разуплотненных пород, показателем которой может служить величина необходимого приращения объемной массы скелета к его абсолютной величине до начала тампонажных работ. Преобразовав выражение (4), получим аналитическую зависимость коэффициента фильтрации от величины изменения объемной массы скелета:

$$K_\phi = -12,23 \cdot (\Delta\gamma_c + \gamma_{c.исх})^3 + 67,28 \times (\Delta\gamma_c + \gamma_{c.исх})^2 - 123,37 \times$$

$$(\Delta\gamma_c + \gamma_{c.исх}) + 75,42, \quad (5)$$

где  $\Delta\gamma_c$  – приращение объемной массы скелета, г/см<sup>3</sup>.

Как показывает практика, степень разуплотнения минерального скелета суглинков может изменяться в значительных пределах. Для удобства анализа был проанализирован ряд суглинков с исходной объемной массой скелета  $\gamma_{c.исх} = 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8$  г/см<sup>3</sup>, что позволило, на основании выражения (5), построить соответственно шесть зависимостей  $K_{\phi} = f(\Delta\gamma_c)$  (см. рис. 2).

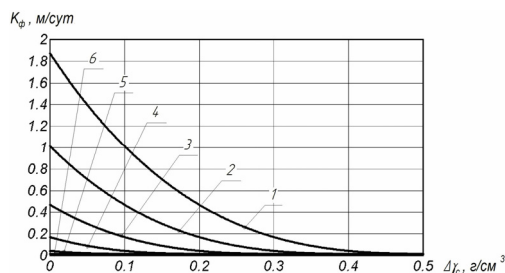


Рис. 2. Зависимость коэффициента фильтрации суглинка от величины изменения объемной массы его скелета при  $\gamma_{c.исх}$ : 1 – 1,3 г/см<sup>3</sup>; 2 – 1,4 г/см<sup>3</sup>; 3 – 1,5 г/см<sup>3</sup>; 4 – 1,6 г/см<sup>3</sup>; 5 – 1,7 г/см<sup>3</sup>; 6 – 1,8 г/см<sup>3</sup>

Анализ результатов исследований, приведенных на рис. 2, позволяет сделать вывод о том, что приращение объемной массы скелета суглинка при инъекционной консолидации в практических условиях составит не более 0,45 – 0,5 г/см<sup>3</sup>, при этом для достижения водонепроницаемости разуплотненного суглинка достаточно увеличить плотность его скелета на 25 – 40%

при  $\gamma_{c.исх} = 1,3 – 1,4$  г/см<sup>3</sup>, на 10 – 20% при  $\gamma_{c.исх} = 1,5 – 1,6$  г/см<sup>3</sup> и на 1 – 5% при  $\gamma_{c.исх} = 1,7 – 1,8$  г/см<sup>3</sup>. На основании этого были определены величины и построена диаграмма распределения приращений объемной массы скелета суглинка, для обеспечения его водонепроницаемости (рис. 3).

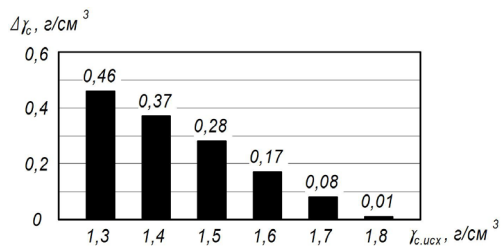


Рис. 3. Распределение необходимых приращений объемной массы скелета суглинка при различной исходной объемной массе его скелета

## ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования позволили установить полиномиальную зависимость коэффициента фильтрации водонасыщенных связных дисперсных пород от величины их объемной массы скелета.

2. Полученная зависимость коэффициента фильтрации суглинка от величины изменения его объемной массы скелета позволяет при проектировании процесса напорно-инъекционной консолидации тампонажными растворами оценить необходимую степень уплотнения породного скелета для достижения водонепроницаемости консолидируемой зоны массива.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролов А.Ф. Инженерная геология / А.Ф. Фролов, И.В. Коротких. – М.: Недра, 1990. – 412 с.

2. Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт / Э.Я. Кипко, П.Н. Должиков, Н.А. Дудля [и др.]. – Д.: НГУ, 2004. – 367 с.

3. Инъекционная стабилизация оползневых грунтов: монография / [Должиков П.Н., Фурдей П.Г., Кирияк К.К., Рыжикова О.А.]. – Донецк: Світ книги, 2012. – 212 с.

4. ГОСТ 25584-90. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации: стандарт / Государственный строительный комитет СССР. – М.: Стандартинформ, 2008. – 17 с.

## ОБ АВТОРАХ

Должиков Петр Николаевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций Донбасского государственного технического университета.

Пронский Дмитрий Владимирович – к.т.н., доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Донбасского государственного технического университета.

Рыжикова Ольга Александровна – аспирант кафедры строительных геотехнологий Донбасского государственного технического университета.