

**ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ  
АКТИВИЗАЦИИ ГРУНТА В ОКРЕСТНОСТИ ЗАГЛУБЛЕННОГО  
ВОДОПРОВОДЯЩЕГО СООРУЖЕНИЯ**

Експериментально встановлено існування навколо водопровідних споруд трьох зон з різною гідравлічною активністю.

**ELECTROMETRIC ESTIMATION OF HYDRAULIC ACTIVATION  
OF A GROUND IN A VICINITY DEEPENED WATER CONVEYANCE  
STRUCTURE**

The existence around water conveyance structure of three zones with various hydraulic activity is experimentally established.

Неотъемлемой частью наземных комплексов угледобывающих шахт являются гидротехнические сооружения, в том числе и заглубленные. Одним из аспектов, определяющих их эксплуатационную надежность, является взаимодействие указанных сооружений с окружающей геосредой. Наличие техногенно привнесенного элемента в геосреду изменяет как ее напряженное состояние, так и важнейшие показатели физико-механических свойств среды. Во многих случаях заглубленные гидротехнические сооружения располагаются ниже уровня грунтовых вод и вносят возмущение в протекание естественных геофильтрационных явлений в грунтовой толще. Наиболее эффективным методом изучения состояния влагосодержащей среды в окрестности заглубленного гидротехнического объекта является бурение шпуров с выполнением геофизического каротажа и одновременный отбор проб грунта с последующим их исследованием в лабораторных условиях.

Натурный эксперимент по исследованию состояния грунтовой толщи в окрестности водопроводящего сооружения (ВПС) был выполнен на шахтных водосбросах нижнего и верхнего прудов-отстойников шахты «Красноармейская-Западная № 1». Каждый водосброс представляет собой комплекс из двух секционированных железобетонных труб круглого сечения диаметром 2 м. Окружающие водосбросы породы представлены глинами.

Внешний вид водосброса нижнего пруда-отстойника представлен на рис. 1.

В центральной части каждой из труб водоводов сквозь ее оболочку был пробурен шпур диаметром 42 мм и длиной 3,5 м. На грунтовом разрезе были отобраны пробы заоболочечного грунта для дальнейшего исследования в лабораторных условиях.

В связи с неустойчивым состоянием шпуров несколько раз подряд было выполнено их повторное перебуривание, а затем произведен геофизический каротаж. Опыт показывает, что наиболее эффективным геофизическим методом определения состояния увлажненного грунта является электроразведка на переменном токе низкой частоты [1, 2].



Рис. 1 – Внешний вид водосбросного сооружения со стороны выходного оголовка

Был использован четырехэлектродный симметричный шпуровой зонд в комплекте с аппаратурой ШИИС -3М1 [3]. Аппаратура разработана в институте геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (далее по тексту ИГТМ НАНУ). Внешний вид комплекта представлен на рис. 2.



Рис. 2 – Аппаратура ШИИС-3М1 в комплекте со шпуровым зондом

Схема выполнения шпурового каротажа грунтовой толщи в окрестности водопроводящего сооружения представлена на рис. 3.

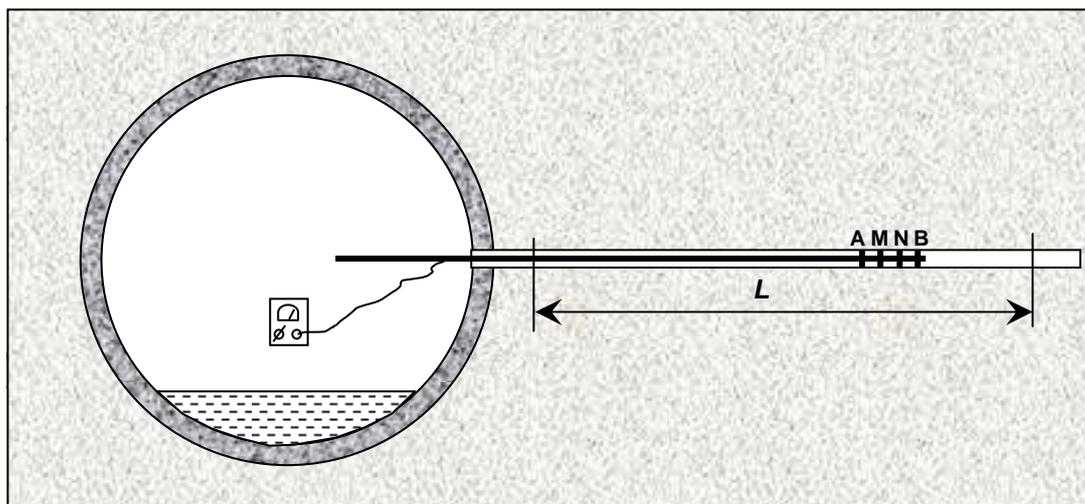


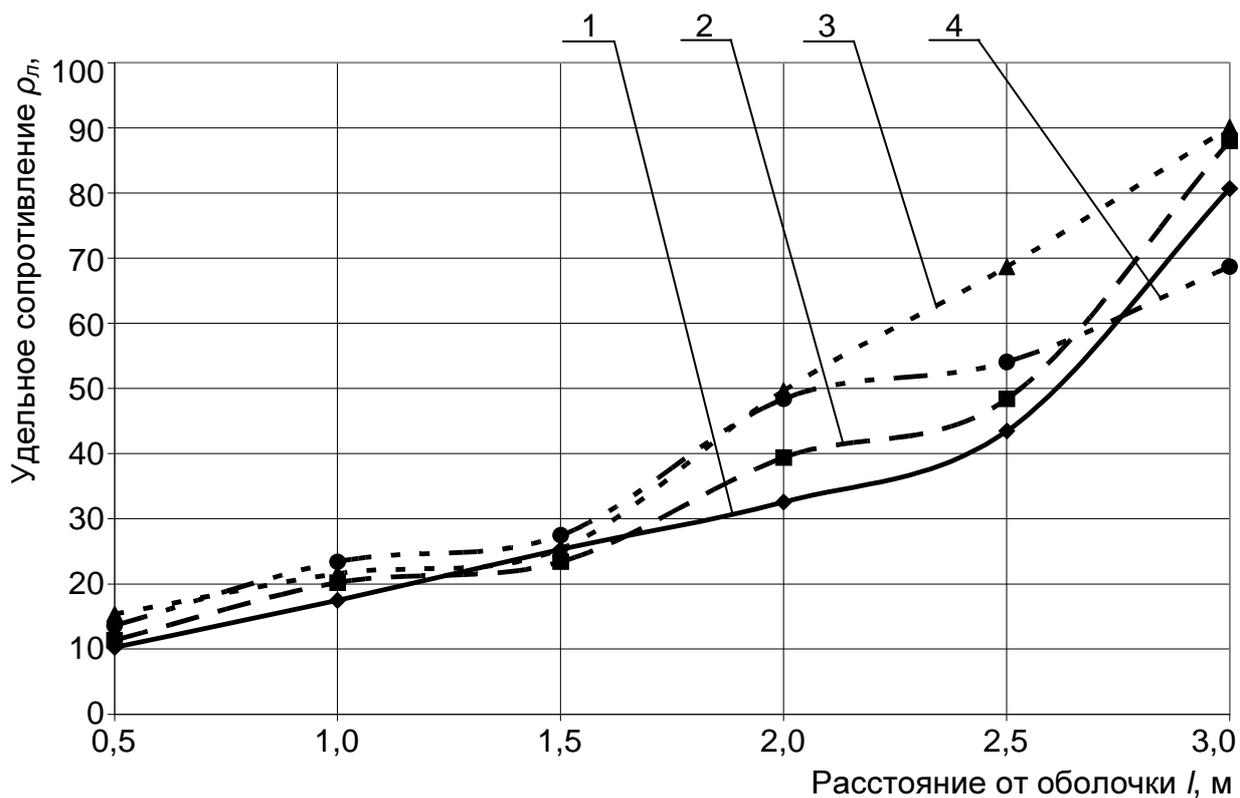
Рис. 3 – Схема электрического каротажа прилегающей к тоннелю грунтовой толщи с использованием симметричного четырехэлектродного зонда

При измерениях следует принимать во внимание наличие «мертвой зоны» в начальной и конечной части шпура, обусловленной размерами зонда, а также толщину железобетонной стенки ВПС, равную 0,2 м. Измерения могут быть выполнены в пределах длины  $L$ , которая в нашем случае находится в интервале от 0,7 до 3,2 м от устья шпура. Шаг измерений составлял 0,5 м.

Использовалась методика выполнения измерений, разработанная специалистами ИГТМ НАНУ для вертикальных шахтных стволов [4], ввиду значительного сходства указанных объектов. Первичные данные в виде совокупности значений кажущегося электрического сопротивления  $R_k$  пересчитывались в значения общепринятого параметра – кажущегося удельного электрического сопротивления  $\rho_k$ .

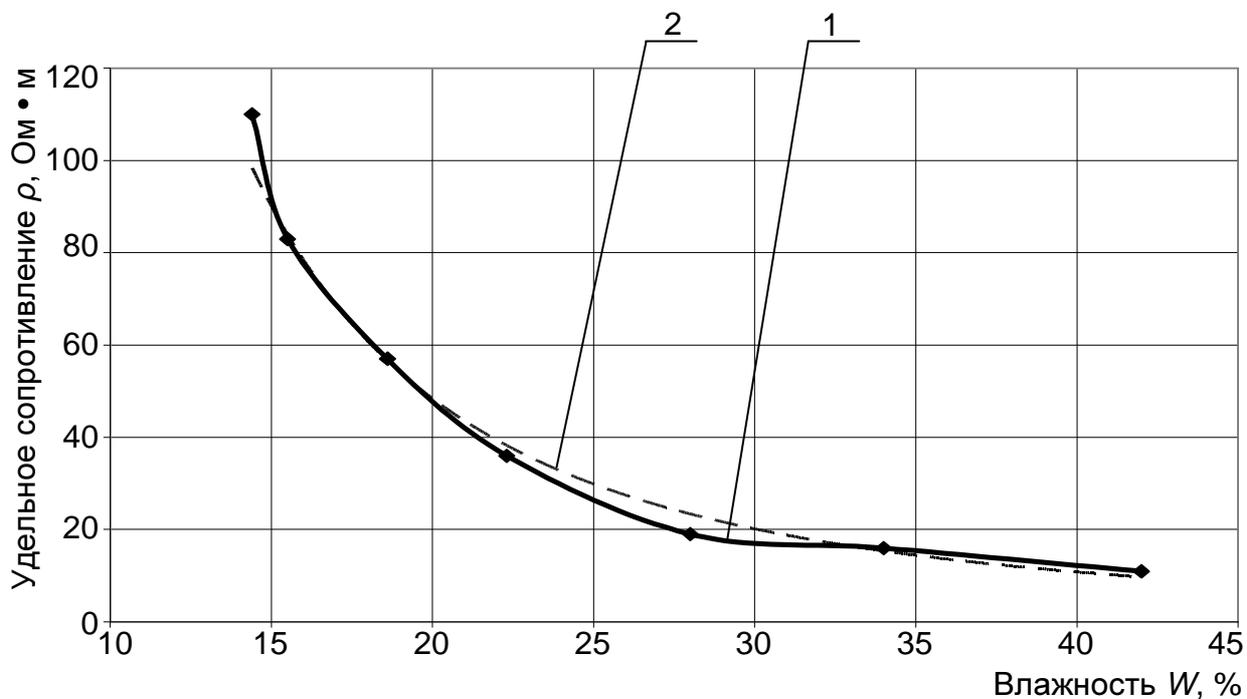
Для каждого из шпуров были построены графическая зависимость между величиной  $\rho_k$  и глубиной шпура  $l$  в заоболочечном пространстве с началом отсчета на границе оболочки и окружающей ВПС среды. Совокупность указанных зависимостей представлена на рис. 4.

Под категорию глин подпадает широкий спектр горных пород, существенно отличающихся физическими свойствами. Поэтому для конкретного объекта существуют свои конкретные геологические особенности, которые должны учитываться при эксплуатации ВПС. В лабораторных условиях была определена зависимость между влажностью  $W$  отобранных проб глины и ее удельным электрическим сопротивлением  $\rho$ . Определение влажности выполнялось методом высушивания до постоянной массы в соответствии с ГОСТ 5180-84 [5]. Для определения электрического сопротивления глины на различных этапах увлажнения использовали методику, определяемую ГОСТ 25494-82. [6]. По результатам лабораторных исследований была получена графическая зависимость, представленная на рис. 5.



1 – левая верхнего водосбора, 2 – правая верхнего водосбора,  
3 – левая нижнего водосбора, 4 – правая нижнего водосбора

Рис. 4 – Изменение кажущегося удельного электрического сопротивления глины по мере удаления от оболочки водопроводящего сооружения



1 – экспериментальная зависимость; 2 – аппроксимирующая кривая

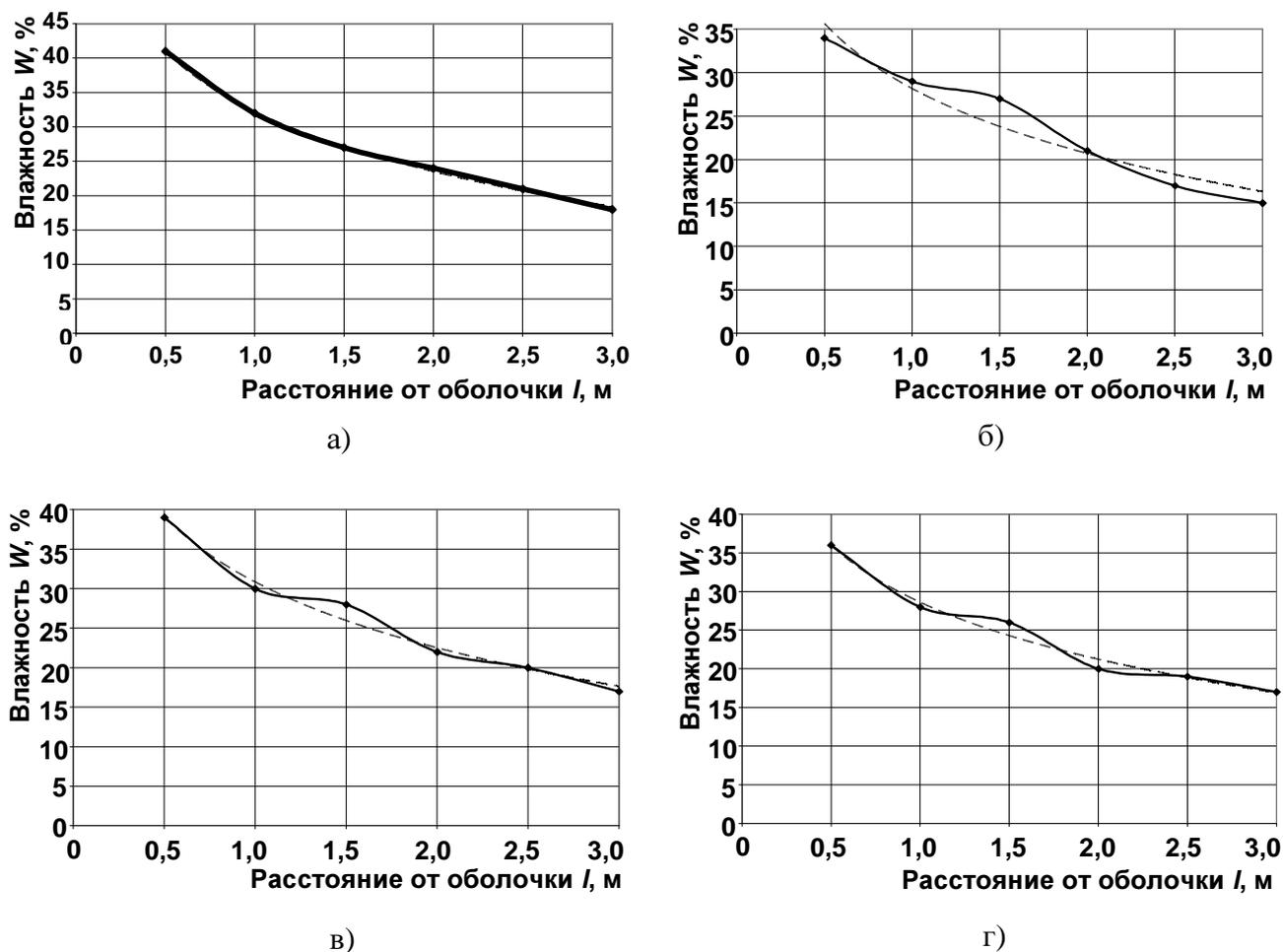
Рис. 5 – Зависимость удельного электрического сопротивления глины от ее влажности

Экспериментально полученная зависимость между влажностью глины и ее удельным электрическим сопротивлением может быть с удовлетворительным приближением описана степенной функцией вида

$$\rho = a W^n, \quad (1)$$

где:  $a = 31263$ ;  $n = -2,16$ .

С использованием графиков, представленных на рис. 4, а также уравнения (1) были построены зависимости изменения влажности глины по мере удаления от контура каждой из труб в грунтовой массив. Они представлены на рис. 6. Аппроксимирующие зависимости показаны пунктирными линиями.



а) – левая труба верхнего водосброса; б) – правая труба верхнего водосброса  
в) - левая труба нижнего водосброса; г) - правая труба нижнего водосброса

Рис. 6 – Изменение влажности приконтурной зоны в зависимости от расстояния до оболочки трубы

Представленные графически на рис. 6 закономерности изменения влажности по мере удаления от оболочки трубы удовлетворительно описываются обратной логарифмической зависимостью вида

$$W = -a \ln l + b. \quad (2)$$

Значения коэффициентов, входящих в выражение (2) для различных труб приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Коэффициенты, входящие в зависимость (2) для различных труб

Труба	Коэффициент $a$	Коэффициент $b$
левая верхнего водосброса	12,6	32,2
правая верхнего водосброса	10,8	28,2
левая нижнего водосброса	12,0	30,8
правая нижнего водосброса	10,6	28,6

В лабораторных условиях в соответствии с ГОСТ 5180-84 были определены значения параметров, определяющих консистенцию глины. Граница раскатывания глины соответствует влажности  $W_p = 27\%$ , а граница текучести - влажности  $W_L = 45\%$ . По указанным данным согласно ГОСТ 25100-95 [7] были также получены значения показателя текучести  $I_L$  глинистого грунта на различных расстояниях от оболочки. По результатам визуального наблюдения за процессом бурения непосредственно за оболочкой имеется вода в свободном состоянии, поэтому влажность глины может быть принята за 100%. Вычисленные значения показателя текучести по четырем шпурам, а также обобщающие усредненные величины определяемого параметра приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Изменение показателя текучести в глинистой среде при удалении от оболочки труб водосбросов

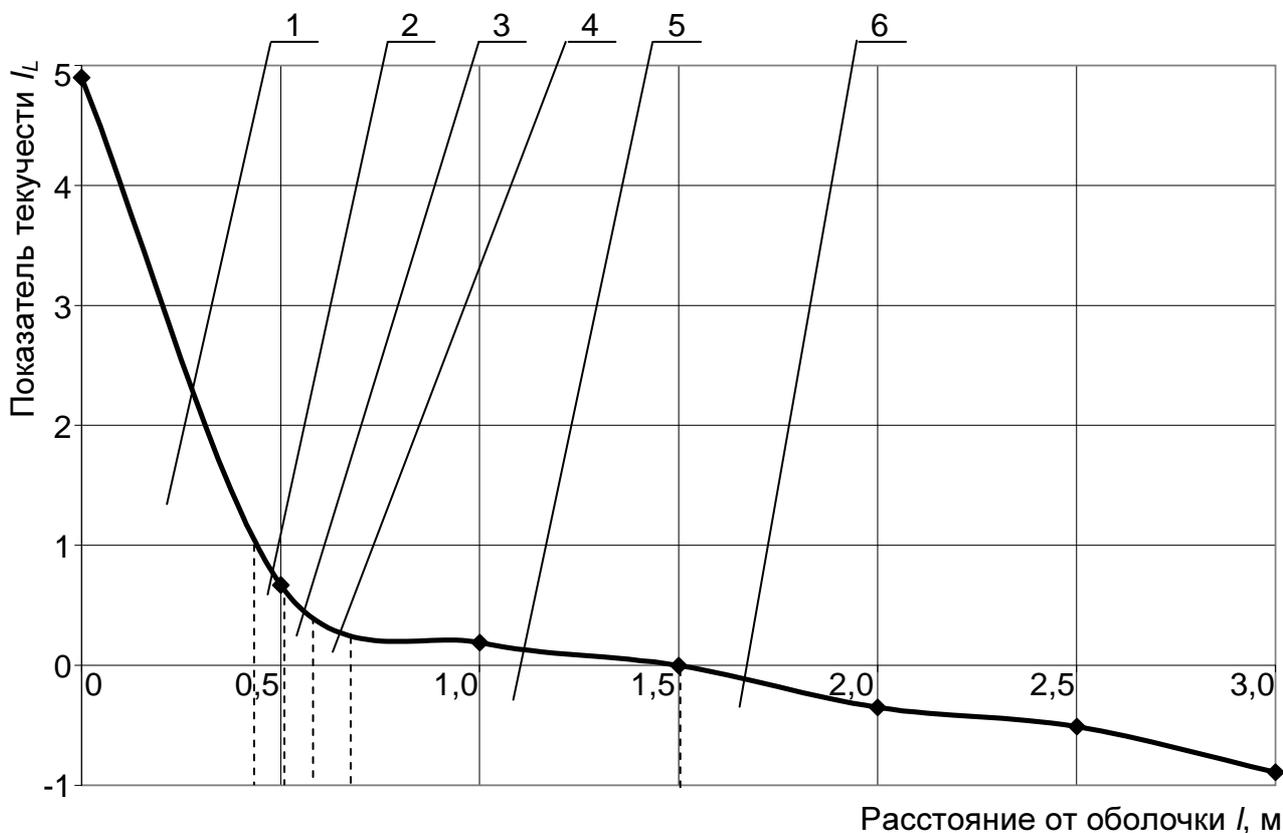
Расстояние от оболочки $l$ , м	Показатель текучести $I_L$ для приконтурной зоны труб водосбросов				
	левой верхнего	правой верхнего	левой нижнего	правой нижнего	усредненные значения
0	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90
0,5	0,80	0,47	0,80	0,60	0,67
1,0	0,33	0,13	0,20	0,10	0,19
1,5	0	0	0,10	-0,10	0
2,0	-0,20	-0,40	-0,33	-0,47	-0,35
2,5	-0,40	-0,67	-0,47	-0,63	-0,51
3,0	-0,60	-0,80	-0,67	-0,67	-0,69

В механике грунтов общепризнанной является классификация состояния глин и суглинков по величине показателя текучести [8, 9], которая приведена в табл. 3.

Таблица 3 – Характеристики состояния глин и суглинков по величине показателя текучести

Величина показателя текучести $I_L$	Характеристика состояния
меньше 0	твердые
от 0 до 0,25	полутвердые
от 0,25 до 0,50	тугопластичные
от 0,50 до 0,75	мягкопластичные
от 0,75 до 1	текучепластичные
свыше 1	текучие

На основании вышеприведенных табл. 2 и 3 построена усредненная графическая зависимость изменения показателя текучести по мере удаления от оболочки водовода вглубь глинистого массива с выделением характерных его состояний. Она представлена на рис. 7.



1 – текучее, 2 – текучепластичное, 3 – мягкопластичное,  
4 – тягучепластичное, 5 – полутвердое, 6 – твердое

Рис. 7 – Изменение состояния глинистого массива с увеличением расстояния от трубы водовода

Вышеприведенные зоны характеризуют состояние грунтового глинистого массива, но не отражают механизма взаимодействия частиц грунта с водой. Автором предложена укрупненная зональность состояния увлажненной среды вокруг выработки, которая, по его мнению, носит более универсальный характер, поскольку может быть применена у к любым типам грунтов, а не только к глинистым. Выделяется три зоны, отражающие степень гидроактивации грунта:

- гидроразрыхленная;
- связно-нарушенная увлажненная;
- монолитно-диффузионная.

Гидроразрыхленная зона характеризуется возможностью свободного перемещения частиц воды относительно частиц грунта под влиянием градиента давления. Ее можно отождествить с зоной текучести.

Монолитно-диффузионная зона предполагает диффузию, как основной механизм направленного перемещения частиц воды в сторону меньшей ее кон-

центрации. Этот механизм характерен для полутвердого и твердого состояния.

Связно-нарушенная увлажненная зона занимает промежуточное положение и характеризуется смешанным механизмом перемещения воды в грунтовой среде. Применительно к глинистым породам она определяет их пластическое состояние.

Для указанных зон в табл. 4 приведен сводный набор параметров применительно к конкретному объекту – грунтовой толще в окрестности водосбросных сооружений шахты «Красноармейская-Западная № 1». Отметим, что для другого объекта часть параметров может иметь в пределах указанных зон другие значения.

Таблица 4 – Значения показателей физических свойств грунта для зон с различной степенью гидроактивации

Зона	Границы $l$ , м	Сопротивление $\rho_k$ , Ом • м	Влажность $W$ , %	Показатель текучести $I_L$
гидроразрыхленная	0 – 0,4	меньше 8,4	45 – 100	больше 1
связно-нарушенная, увлажненная	0,4 – 0,7	8,4 – 16,4	33 – 45	0,25 – 1,0
монолитно-диффузионная	свыше 0,7	больше 16,4	меньше 33	меньше 0,25

Рассмотренные выше результаты получены для объекта, который уже длительное время находился в эксплуатационном состоянии. Они могут быть служить в качестве ориентира для установившегося режима взаимодействия ВПС с окружающей геосредой, как при интерпретации результатов полевых измерений, так и при выполнении компьютерного моделирования

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жданов М.С. Электроразведка. Учебник / М.С. Жданов. М.: Недра, 1986. - 316 с.
2. Якубовский Ю.В. Электроразведка: Учебник для вузов / Ю.В. Якубовский, И.В. Ренард - М: Недра, 1991.- 359 с.
3. Усаченко Б.М. Научные и приборные разработки для геофизической экспресс-диагностики состояния шахт, карьеров и гидротехнических сооружений. / Б.М. Усаченко, А.А. Яланский, Т.А Паламарчук, В.Н. Сергиенко // Горный вестник Узбекистана. - № 2. – С. 84 – 86.
4. Руководство по геофизической диагностике состояния системы "крепь-породный массив" вертикальных стволов. Дополнение к РД 12.18.073-88 / А.Ф.Булат, Б.М. Усаченко, А.А. Яланский, В.Н. Сергиенко, С.И. Скипочка, Т.А. Паламарчук и др. - Донецк: Лебедь, 1999.- 44 с.
5. ГОСТ 51180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
6. ГОСТ 25494-82. Породы горные. Метод определения удельного электрического сопротивления.
7. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация.
8. Малышев М.В. Механика грунтов. Основания и фундаменты / М.В. Малышев, Г.Г. Болдырев - М.: Изд.-во ассоциации строительных вузов, 2004. – 328 с.
9. Иванов П.Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений / П.Л. Иванов - М.: Высшая школа, 1985. – 352 с.