

АКАДЕМИЯ НАУК КАЗАХСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ

Аспирант СУГУРОВ Ш. Б.

ИЛИСТО-ПЕСЧАНЫЕ СМЕСИ ДЛЯ
ЭКРАНА ЗЕМЛЯНОЙ ПЛОТИНЫ
АЛМАТИНСКОЙ ОЗЕРНОЙ ГЭС

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

АЛМА-АТА
1953

А-20

Работа выполнена в лаборатории гидротехнических соору-
жений и селевых явлений.

72469
ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А. Н. Киргизской ССР

ВВЕДЕНИЕ

Противофильтрационные преграды в земляных плотинах возводятся из разнообразных материалов, как-то: металл, железобетон, бетон, битум, дерево, торф, глина, суглинок и т. д. Металлические, железобетонные и бетонные экраны применяются очень редко из-за дороговизны и дефицитности. Кроме того, вследствие неизбежных деформаций тела плотины, в сплошном бетонном или железобетонном экране появляются трещины.

В практике гидротехнического строительства нашли широкое применение местные материалы: торф, глина и суглинок. Основными преимуществами противофильтрационных преград, возведенных из этих материалов, являются: во-первых, нечувствительность к деформациям тела и основания плотины и, во-вторых, дешевизна. Однако, эти грунты не всегда имеются на месте стройки и доставка их из отдаленных карьеров вызывает удорожание стоимости работ. В этих условиях возникает необходимость выявления других местных материалов, обладающих слабой водопроницаемостью и могущих быть использованными как вышеупомянутые материалы. Одним из таких материалов является ил, свойства которого изучены крайне недостаточно.

Илы известны широкому кругу строителей как грунты, непригодные для строительных целей по ряду своих физико-механических свойств: незначительный угол внутреннего трения, разжижение под водой, малые допускаемые напряжения на сжатие и т. д. В то же время известна весьма малая водопроницаемость его. В связи со строительством плотины на Озёрной ГЭС Алматинского каскада ГЭС из песчано-гравелистых грунтов и отсутствием на месте глинистых и суглинистых грунтов возникла необходимость детального изучения ила для применения его в качестве противофильтрационного материала. При этом имелось в виду использование его для создания водонепроницаемого экрана. В диссертационной работе, выполненной автором под научным руководством профессора И. И. Знаменского, проведены исследования по изучению

физико-механических свойств ила, смесей его с песком, а также намечены пути применения его в качестве противотриационного материала для земляных плотин.

II. Свойства ила и его смесей с песком

Смеси ила с песком составлялись из грунтов, имеющих непосредственно на месте строительства. Песок характеризуется следующим гранулометрическим составом (табл. 1):

Таблица 1

Фракции в мм	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25
% содержание	2,9	1,6	2,8	4,7	11,5	31,9	12,7	27,2	4,7

По данным наших исследований величина коэффициента фильтрации песка в зависимости от степени уплотнения колеблется в пределах 0,02 — 0,002 см/сек.

По данным лабораторных исследований изучаемый нами ил имеет следующий гранулометрический состав (табл. 2):

Таблица 2

Фракции в мм	>0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001
% содержание	—	3,5	28,0	27,5	28,3	12,7

Величины, характеризующие другие физико-механические свойства ила со структурой, близкой к естественной, сведены в таблицу 3.

Таблица 3

Название грунта	Объемный вес г/см ³	Объемный вес скелета г/см ³	Удельный вес г/см ³	Объемная усадка %	Набухание %	Пористость %	Коэффициент пористости e	Число пластичности M _p	Угол внутр. трения α°	Коэффициент фильтрации к см/сек
Озёрный ил	1,79	1,14	2,78	60	13,5	59,0	1,44	31,78	9°	0,000023

По своей фильтрационной способности изучаемый нами ил можно отнести к тяжелым суглинкам, а по пластичности — к высокопластичным грунтам — глинам.

Смеси ила и песка подвергались исследованию при 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 и 90 процентном содержании ила по весу. В

результате исследования были определены величина коэффициента фильтрации, число пластичности, величина угла внутреннего трения и изучены другие физико-механические свойства.

Значения коэффициента фильтрации и числа пластичности приводятся в таблице 4.

Таблица 4

Содержание ила %	Коэффициент фильтрации при 10°C, см/сек	Уменьш. коэффиц. фильтрации в единицах	Пределы пластичности		Число пластичности M _p	Объемный вес сухой смеси г/см ³
			верхн.	нижн.		
0	0,0260	1	—	—	—	Объемные веса изменялись в пределах 1,40—1,42 г/см ³
5	0,0119	204	—	—	—	
10	0,00039	66	—	—	—	
20	0,00028	89	—	—	—	
30	0,00016	1620	20,65	13,67	6,98	
40	0,00012	2170	26,34	15,80	10,54	
50	0,00017	1530	34,33	17,86	16,57	
60	0,00007	3720	41,34	20,25	21,09	
70	0,000054	4900	45,10	24,15	20,95	
80	0,000031	8400	53,82	27,57	26,25	
90	0,000023	11300	62,49	31,78	30,71	
100	0,000023	11300	65,83	34,05	31,78	

Из приведенной таблицы видно, что добавление ила в песок значительно снижает коэффициент фильтрации его.

Резкое снижение коэффициента фильтрации имеет место при 30% ила по весу. При дальнейшем увеличении количества ила в песке уменьшение коэффициента фильтрации происходит очень медленно, постепенно приближаясь к коэффициенту фильтрации чистого ила, который в наших опытах равен 0,000023 см/сек (при γ_{скелета} = 1,40 г/см³). Например, смесь с содержанием 90% ила имеет такой же коэффициент фильтрации, как и чистый ил (0,000023 см/сек). Следует при этом отметить, что коэффициент фильтрации этой смеси по сравнению с тридцатипроцентной уменьшился только лишь в 7 раз, тогда как коэффициент фильтрации тридцатипроцентной смеси по сравнению с чистым песком уменьшился более, чем в 1600 раз. Добавление ила в песок свыше 30% не является рациональным, потому что увеличение ила приводит к заметному уменьшению угла естественного откоса смеси под водой. Как мы увидим ниже, тридцатипроцентная смесь является оптимальной не только по водонепроницаемости, но и по другим свойствам.

Из данных таблицы 4 видно, что с увеличением количества ила в смеси пластичность её увеличивается равномерно. Например, число пластичности смеси при 30% ила в ней составляет 6,98, а при 90% — 30,71, тогда как у чистого ила оно равно 31,78. Таким образом, тридцатипроцентная смесь по своей пластичности более подходит к супесям, а по фильтрационным свойствам — к тяжелым суглинкам.

Опыты, проведенные в приборе Пузыревского, показали, что тридцатипроцентная смесь обладает и значительным углом внутреннего трения, почти не отличающимся от угла внутреннего трения песка (табл. 5).

Таблица 5

№№ п-п	Название грунта	Коэффициент трения φ	Угол внутр. трения $\alpha = \arcs \operatorname{tg} \varphi$
1	Чистый песок	0,754	37°
2	Смесь песка с 10% ила	0,740	36°30'
3	Смесь песка с 20% ила	0,728	36°05'
4	Смесь песка с 30% ила	0,705	35°10'

Углы внутреннего трения других смесей с большим содержанием ила уменьшаются, постепенно приближаясь к углу внутреннего трения чистого ила (9°).

Как указывалось выше, при определении коэффициента фильтрации смеси не подвергались уплотнениям. Объемный вес скелета грунта при этом не превышал 1,42 г/см³ (табл. 4). Поэтому, нами были проведены серии опытов по определению коэффициента фильтрации смесей при различной степени уплотнения их. Исследованиям подвергались смеси с 5, 10, 20 и 30% содержанием ила. При этом ставилась задача выяснить возможность применения для тела экрана смеси с содержанием ила менее 30% с допустимой величиной коэффициента фильтрации, а также изучить компрессионные свойства. Опыты проводились в одометрах и результаты их приводятся в таблицах 6 и 7.

Таблица 6

Результаты компрессионных испытаний песка и смеси его с 30% ила.

Название грунта	Приведенная пористость e	Изменение приведенной пористости при изменении нагрузки кг/см ²							
		0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	0,5	0,0
Чистый песок	0,596	0,578	0,566	0,546	0,535	0,524	0,505	0,518	0,533
Смесь песка с 30% ила	0,573	0,509	0,472	0,441	0,421	0,409	0,389	0,392	0,418

Объемный вес скелета 20%-ной смеси в этих опытах изменился от 1,90 до 2,02 г/см³, а коэффициент фильтрации её при этом уменьшился от 0,00001 до 0,0000003 см/сек, т. е. в 300 раз (табл. 7). Коэффициент фильтрации 30% смеси, равный 0,0000012 см/сек при $\gamma_{ск} = 1,90$ г/см³ при дальнейшем сжатии грунта также

Таблица 7

Значение коэффициента фильтрации песка и смесей его с илом в зависимости от величины уплотняющей нагрузки кг/см²

Название грунта	Объемный вес скелета до сжатия $\gamma_{ск}$ г/см ³	Коэффициент фильтрации в см/сек при 10°C и нагрузке кг/см ²						
		0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0
Чистый песок	1,71	0,0025	0,0022	0,0022	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020
Смесь песка с 5% ила по весу	1,93	0,00048	0,00038	0,00038	0,00035	0,00031	0,00027	0,00021
Смесь песка с 10% ила по весу	2,05	0,00030	0,00024	0,00024	0,00022	0,00022	0,00020	0,00018
Смесь песка с 20% ила по весу	1,90	0,00010	0,000061	0,000011	0,000011	0,000007	0,0000033	0,0000003
Смесь песка с 30% ила по весу	1,81	0,000012	0,0000022	0,0000019	0,0000011	0,000001	0,0000004	—

уменьшился и при $\gamma_{ск} = 2,07 \text{ г/см}^3$ уже был равен нулю. Удельная вертикальная нагрузка при этом была 6 кг/см^2 .

Эти данные показывают, что смеси с содержанием ила 20 — 30% по весу при уплотнении их кулачковыми катками весом 5 тонн, оказывающих давление на грунт 40 кг/см^2 , могут успешно применяться в теле водонепроницаемой части гидротехнических сооружений (земляные или набросные плотины и каналы) как противотриационный материал, и, очевидно, противотриационные преграды, возведенные из таких смесей, по своей водонепроницаемости не будут уступать глиняным экранам или ядрам и одеждам. Экраны или ядра, возведенные из таких смесей, составляющие которых находятся на месте строительства, несмотря на дополнительные затраты, связанные с перемешиванием их составляющих, могут, в случае необходимости подвозки глины из отдаленных карьеров, конкурировать с глиняными даже и в экономическом отношении.

Преимуществом таких смесей перед глинами можно считать большой угол внутреннего трения в увлажненном состоянии около 35° (см. табл. 5), против $12 — 18^\circ$ у чистой глины, что позволяет делать более крутые мокрые откосы экранов.

Уменьшение триационной способности песка с добавлением к нему ила также подтверждается опытами, проведенными над моделью земляной плотины с песчано-илистыми экранами.

Смеси с малым количеством ила обладают также и незначительной усадкой. Например, объёмная усадка десятипроцентной смеси равна 2,67, двадцатипроцентной — 5,4, тридцатипроцентной — 10,1 и сорокапроцентной — 26 процентам, тогда как чистый ил обладает объёмной усадкой до 60%.

III. Методы получения однородных смесей ила с песком

Данными исследований установлена возможность получения из смесей ила с песком водонепроницаемого материала, вполне пригодного по своим физико-механическим свойствам для тела противотриационных экранов и ядер земляных плотин. Однако применение этой смеси в производственных условиях требует разработки рациональных методов получения однородной смеси. В целях выявления наиболее приемлемых методов применительно к условиям вышеупомянутой плотины нами рассмотрены два метода: метод кольматации и метод механического перемешивания.

1. Метод кольматации

В последние годы советскими учеными проделаны значительные работы по изучению процессов кольматации. В результате этих исследований установлено, что кольматация представляет собой процесс вмыывания мелких частиц в поры грунта. Наиболее тщательное изучение кольматации проведено кандидатом технических наук Т. А. Неговской под руководством академика Е. А.

Замарина. По её данным основная масса глинистых частиц ($<0,01 \text{ мм}$) при вмыывании проникла на глубину 12 — 14 см, в результате чего уменьшение коэффициента триации в пределах верхнего слоя грунта толщиной 7,65 см достигало 150 раз.

На основании этих данных мы предполагали получить оптимальную смесь ила с песком гидравлическим путём. С этой целью нами проводились опыты по кольматации в прямоугольных деревянных ящиках и на видоизменённом триационном приборе типа Каменского.

Все эти опыты проводились с теми же грунтами (песок и ил), из которых изготовлялась смесь.

Опыты по вмыыванию в деревянных ящиках проводились с растворами ила, изготовленными в весовом соотношении 1:50, 1:100 и 1:200, а в триационном приборе — 1:400, 1:500, 1:1000 и 1:1500. По данным этих опытов количество илистых частиц, вмытых даже в верхний слой грунта толщиной 5 см, не превышает 2,1%, что показывает непригодность кольматации для применения её как метода получения рекомендуемых нами оптимальных смесей ила с песком.

2. Метод механического перемешивания

Насколько нам известно, методы перемешивания грунта в гидротехническом строительстве до сих пор в литературе не освещены и, по видимому, если подобные работы и проводились, то лишь в незначительном объёме. Процессы перемешивания грунтов в дорожном и гидротехническом строительстве, конечно, не отличаются друг от друга. Поэтому перемешивающие машины, выпускаемые для дорожного строительства, можно использовать для подобных целей и в гидротехническом строительстве. Такой машиной можно рекомендовать дорожную фрезу Д — 215А, выпущенную нашей промышленностью и являющуюся наиболее совершенной по конструкции из существующих дорожных фрез.

Опыты по перемешиванию песка с суглинком, торфом и жидкими вяжущими, проведенные инженерами Н. М. Валдайцевым и М. К. Щедриным под руководством профессора А. Д. Далина и профессором М. Х. Пигулевским, показали, что фрезы после двух-трех проходок дают почти однородную смесь.

IV. Техничко-экономические показатели экрана из смеси ила с песком в условиях земляной плотины Озерной ГЭС

Возведение экрана из смеси грунтов содержит в себе лишний по сравнению с возведением экранов из однородных материалов процесс по перемешиванию грунтов. Когда необходима подвозка глины или суглинка для экрана из очень отдаленных карьеров эти лишние затраты, связанные с перемешиванием, являются незначительными по сравнению со стоимостью перевозки грунтов и

постройка экрана из вышеуказанной смеси, безусловно, является наиболее рациональной. В этом можно убедиться на примере земляной плотины Озерной ГЭС, где в составе экрана из смеси применяется ил и песок, находящиеся на месте стройки, а для глиняного экрана используются лёссовидные суглинки, карьер которых расположен на расстоянии 8 км от места плотины.

Экономическое сравнение возведения экранов сделано при одинаковых методах производства работ одними и теми же строительными машинами, за исключением дорожных фрез, которые предусматривались для перемешивания грунтов при илисто-песчаном экране. В качестве землеройных, транспортных и разравнивающих машин приняты имеющиеся на стройке экскаватор Э-1004, автомобили-самосвалы ЗИС-585 и бульдозеры на базе трактора С-80. В качестве уплотняющей машины нами принят самоходный кулачковый каток весом 5,5 тн, производительностью 165 м³/час и стоимостью машиномены 113 р. («Производство земляных работ». Справочное пособие. 1952 г.).

Производительность и стоимость машиномены экскаватора, бульдозера и дорожной фрезы определены по справочнику.

Производительность автосамосвалов определялась тяговыми расчётами, а количество их — на основе транспортных расчётов по формуле профессора И. И. Знаменского.

По нашим подсчётам стоимость 1 м³ суглинистого и илисто-песчаных экранов при одинаковых объемах (8900 м³) соответственно равна 19,25 и 11,36 рублям, т. е. возведение илисто-песчаного экрана обходится в 1,7 раза дешевле суглинистого. В стоимость суглинистого и илисто-песчаного экранов включены только лишь основные расходы.

V. Выводы

1. Добавление ила к песчаным грунтам значительно уменьшает коэффициент фильтрации последних.

2. Резкое снижение коэффициента фильтрации происходит в пределах двадцати — тридцати процентных смесей. Эти смеси обладают значительными углами внутреннего трения (около 35°), пластичностью (6,98) и незначительной объёмной усадкой (5 — 10%).

3. Двадцати — и тридцати процентные смеси при уплотнении их вертикальными нагрузками соответственно 6 и 2 кг/см² являются пригодными для применения их в качестве противофильтрационных материалов. Тридцати процентная смесь при уплотнении ее вертикальной нагрузкой 6 кг/см² становится практически водонепроницаемой.

4. Двадцати — и тридцати процентные смеси, приближающиеся по своим фильтрационным способностям к тяжелым суглинкам, а по пластичности, по углу внутреннего трения и по усадке — к супесям, являются оптимальными, и их можно предложить для при-

менения в теле противофильтрационного экрана земляной плотины Озерной ГЭС.

5. Наиболее надёжным и целесообразным способом получения однородных смесей грунтов в настоящее время является метод механического перемешивания дорожными фрезами Д-215А.

6. В условиях Озерной ГЭС возведение илисто-песчаного экрана по сравнению суглинистым обходится дешевле в 1,7 раза, а по сравнению с бетонными и железобетонными экранами — в десятки раз.

7) Подобные смеси могут найти себе применение в аналогичных с Озерной ГЭС условиях и в низовьях некоторых рек в качестве водонепроницаемого материала для экранов, понуров и ядер земляных плотин и противофильтрационных одежд каналов.

