

АКАДЕМИЯ НАУК КАЗАХСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

инж. МУРЗАЛИЕВ Г. Д.

РАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕТОД

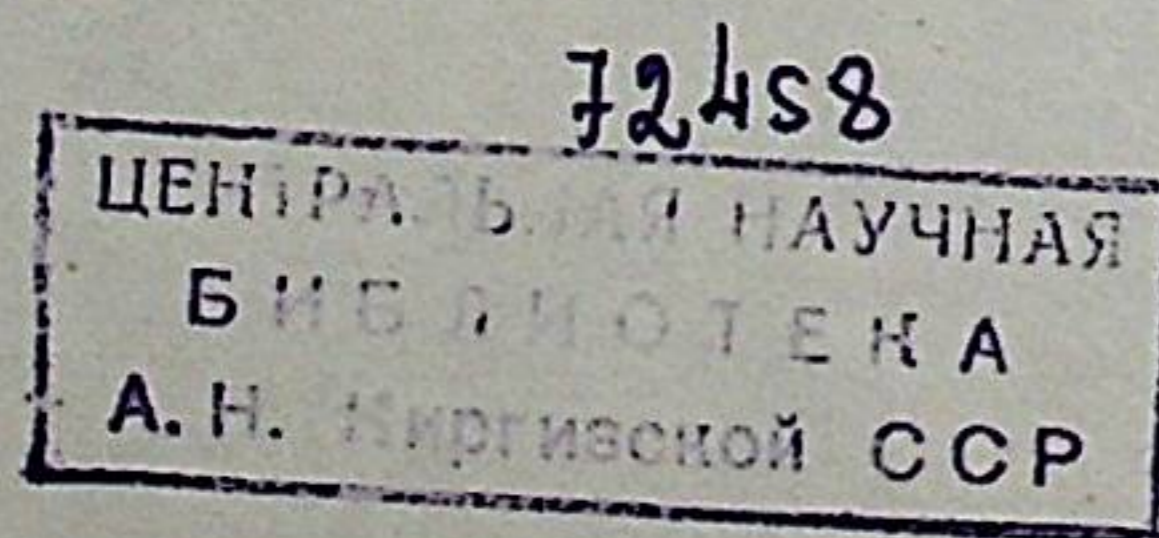
вскрытия больших котлованов
в условиях плавунных грунтов и принципы
его применения при строительстве ГЭС

• Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук.

АЛМА-АТА — 1954 г.

А. 2

Работа выполнена
в научно-исследовательском институте
водного и лесного хозяйства
Казахского филиала ВАСХНИЛ



Бурное развитие гидротехнического строительства в нашей стране (в том числе в Средней Азии и Казахстане), широкое распространение плавунных грунтов, особенно в низовьях наших рек, огромные размеры котлованов современных гидротехнических сооружений делают весьма актуальным вопрос о рациональном методе вскрытия больших котлованов в условиях водонасыщенных (плавунных) грунтов и принципах его применения. В свете постановлений XIX съезда партии, сентябрьского и февральско-мартовского пленумов ЦК КПСС предстоят еще более грандиозные работы по гидротехническому строительству в нашей стране. В связи с этим вопрос этот приобретает весьма большое народнохозяйственное значение. Но, несмотря на все это, он до сих пор еще не изучен и в научно-технической литературе не освещен. Этому вопросу и посвящена настоящая работа. Работа состоит из шести разделов.

В первом разделе работы дается подробный обзор исторического развития взглядов исследователей на сущность плавунных, и, на основе новейших воззрений советских ученых на этот вопрос, принимается классификация плавунных грунтов, по которой последние делятся на псевдоплавунны и истинные плавунны. Дается определение этих грунтов с детальным освещением их физико-механических и строительных свойств.

Во втором разделе рассматриваются сущность основных методов вскрытия котлованов в водонасыщенных грунтах и вопрос о возможности применения их в условиях плавунных. Указывается, что открытый водоотлив в условиях плавунных грунтов и больших котлованов без шпунтового ограждения не приемлем по причинам оплывания откосов, вымыва частиц грунта со дна котлована и чрезвычайного удорожания строительных работ.

Устройство при этом шпунтового ограждения может только несколько ослабить указанные недостатки открытого во-

доотлива. Но в этом случае открытый водоотлив уже не будет играть самостоятельную роль, а будет являться лишь вспомогательным средством при шпунтовом ограждении.

Кессонный метод применяется, обычно, для устройства сравнительно небольших в плане сооружений (мостовые опоры и проч.).

Применение же его для вскрытия котлованов крупных гидротехнических сооружений связано с рядом технических трудностей как в смысле достижения необходимой связи между отдельными кессонами, так и в смысле производства работ. Кроме того, кессонный метод имеет ряд других недостатков, исключающих его применение в условиях крупных гидротехнических сооружений.

Метод цементации дает наилучший эффект в скальных и крупно-скелетных грунтах. В грунтах с илстыми и суглинистыми прослойками и, вообще, с мелкозернистыми заполнителями цементация должных результатов не дает.

Для вскрытия котлованов в плавунных грунтах не пригоден и метод битумизации. Совершенно не поддаются горячей битумизации мелкозернистые пески и илстые грунты, так как при малых давлениях битум не проникает в поры этих грунтов, а при значительных давлениях он прорывается на поверхность по путям наименьшего сопротивления.

При холодной битумизации битумные эмульсии проникают в поры песчаных грунтов при сравнительно незначительных давлениях только в том случае, если коэффициент фильтрации их больше $0,00012$ м/сек.

Что же касается метода силикатизации, то надо сказать, что как двухрастворный, так и однорастворный его способы, вполне применимы для закрепления плавунных грунтов.

Метод замораживания грунтов в настоящее время широко применяется у нас в Советском Союзе во всех областях строительства. Огромный опыт этих строительных (Московский метрополитен, высотные здания г. Москвы и т. д.) показал, что даже в чрезвычайно неблагоприятных геологических и гидрогеологических условиях этот метод дает прекрасные результаты. Он принципиально применим для устройства ограждений больших котлованов в условиях плавунных грунтов.

Одним из самых эффективных методов вскрытия котлованов в водонасыщенных грунтах является осушение

их путем искусственного понижения уровня грунтовых вод. Наибольшее распространение получило водопонижение трубчатыми колодцами с применением, так называемых, глубинных насосов. В последние годы получило значительное развитие также водопонижение мелкими и глубокими иглофильтрами. Но на крупных гидростройках последнее применяется, главным образом, для местных понижений уровня грунтовых вод в качестве подсобно-вспомогательного мероприятия при основных водопонижительных работах трубчатыми колодцами.

Помимо общих достоинств, метод водопонижения трубчатыми колодцами и иглофильтрами обладает еще следующими положительными качествами: а) меньшая потребность в материалах и оборудовании и относительная простота эксплуатации установок, б) меньший объем земляных работ по откосам котлована и в) удобство производства строительных работ с широким применением механизации.

Таким образом, из всех рассмотренных в работе основных методов вскрытия котлованов в водонасыщенных грунтах для условий плавунных применимыми являются: шпунтовое ограждение, методы силикатизации и замораживания грунтов, а также метод искусственного понижения уровня грунтовых вод трубчатыми колодцами и иглофильтрами.

В третьем разделе работы рассматриваются геологические и гидрогеологические условия основания гидроузла, взятого как пример для исследований. Гидроузел строится на прокопе петли реки на расстоянии 500 м от головы этого прокопа. Основные размеры котлована гидроузла: ширина по дну— 200 м, длина— 175 м, наименьшая глубина— $6,85$ м и наибольшая— $11,80$ м. Уровень грунтовых вод залегает на глубине 3 м от поверхности земли. В бетонной части гидроузла размеры котлована характеризуются следующими данными: ширина— 200 м, длина— 90 м и наибольшая глубина— $11,65$ м.

В месте расположения гидроузла с поверхности залегает желтый пылеватый суглинок мощностью от 2 до 4 м, а ниже, до разведанной глубины $37,5$ м, залегают мелкозернистые пески с включениями линз суглинков мощностью от $0,15$ до 3 м. Мощность этого мелкозернистого песка составляет 150 — 200 м.

Гранулометрический состав грунта: частиц с размерами фракций от $0,5$ до 10 мм—в среднем $0,9$ проц., от $0,25$ до

0,5 мм—17 проц., от 0,10 до 0,25 мм—50 проц., от 0,005 до 0,10 мм—22,4 проц. и менее 0,005 мм—10,6 проц.

Согласно произведенным исследованиям, коэффициент фильтрации грунтов котлована изменяется в пределах от $K = 0,00005$ до $K = 0,00012$ м/сек.

Амплитуда годовых колебаний уровня грунтовых вод равна 2,7 м.

Грунты котлована рассмотренного гидроузла относятся к псевдоплывунам, находящимся, по некоторым признакам, на грани истинных пловунов и потому требуют применения специальных методов для вскрытия в них котлованов.

В разделе четвертом работы приведены исследования по установлению наиболее рационального метода вскрытия больших котлованов в условиях пловунных грунтов и по установлению принципов его применения.

Произведенными расчетами установлена та глубина забивки шпунтов или та глубина заложения контурных стенок из силикатизированного и замороженного грунтов, которая удовлетворяла бы условию недопущения вымыва частиц грунта из под-низа ограждений; эта глубина получилась равной 44 м. Стоимости ограждений из металлических шпунтов и из силикатизированного и замороженного грунтов выразились при этом следующими цифрами:

Таблица № 1

Стоимости ограждений котлована в тыс. руб.		
из металлических шпунтов	из силикатизированного грунта	из замороженного грунта
4400,0	8100,0	8100,0

Для возможности сравнения этих данных со стоимостью метода водопонижения, были проведены исследования по установлению наиболее рационального размещения в плане водопонижающих колодцев, установлению наиболее рационального числа и глубины их, выявлению влияния продолжительности водопонизительных работ на стоимость последних и влияния организации производства строительных работ на их продолжительность.

Для исследований по первому вопросу были рассмотрены 6 вариантов размещения в плане водопонижающих колодцев: а) с охватом одним кольцом колодцев контура котлована всего гидроузла без разбивки его на секции; б) то же, но с разбивкой котлована на две секции пер-

пендикулярно оси гидроузла; в) то же, но с разбивкой котлована на две секции параллельно оси гидроузла; г) с охватом одним кольцом колодцев котлована только бетонной части гидроузла без разбивки его на секции; д) то же, но с разбивкой котлована бетонной части гидроузла на две секции параллельно его оси и е) то же, но с разбивкой котлована бетонной части на три секции параллельно оси гидроузла. Сравнение удельных показателей всех этих вариантов дало следующую картину:

Таблица № 2

	Варианты размещения водопонижающих колодцев в плане					
	по контуру всего гидроузла			по контуру бетона		
	а	б	в	г	д	е
длина линий колодцев	910,0	1150,0	1125,0	720	840	960,0
$\frac{м}{\%}$	100	127,0	124,0	79,0	92,0	105,0
то же на 1000 м ³ земработ	2,8	3,5	3,4	2,2	2,6	2,9
$\frac{м}{\%}$	104	125,0	122,0	79,0	93,0	104
то же на 1000 м ³ бетона	11,0	14,0	13,0	9,0	10,0	12,0
$\frac{м}{\%}$	100	127,0	118,0	82,0	91,0	109,0

Наиболее выгодными при этом оказались варианты „а“, „г“ и „д“.

Но вариант „д“ вынуждал бы производить строительные работы в две очереди и сильно затруднял бы их производство вообще, так как один ряд колодцев проходит при этом варианте внутри котлована и, притом, пересекает основной бетон. То же самое надо сказать и о вариантах „е“, „б“ и „в“. Таким образом, все эти четыре варианта размещения колодцев с разбивкой котлована на секции вызывают необходимость производства строительных работ по очередям, требуют (вследствие этого) почти непрерывного демонтажа и перемонтажа колодцев, вызывают большие осложнения при выполнении почти всех видов строительных работ, делают поэтому неизбежными простой и неполное использование строймеханизмов, обо-

рудований и вспомогательных производств, удлиняют (тем самым) сроки выполнения работ и, в конечном счете, ведут к сильному удорожанию строительства.

Всеми этими недостатками не обладают варианты „а“ и „г“.

Действительно, эти варианты позволяют, в зависимости от материально-технических возможностей стройки на тот или иной период, принимать при необходимости любое количество очередей, начинать и заканчивать строительные работы с любого участка котлована, принимать любую форму организации и выполнения строительных работ, совершенно исключают ремонт колодцев в процессе работы, создают наилучшие условия для полного использования возможностей строймеханизмов, оборудования и вспомогательных производств и дают, тем самым, возможность максимально сократить сроки строительства.

Размещение колодцев по контуру только бетонной части гидроузла дает, кроме того, возможность максимально полезно использовать создающуюся воронку депрессии, возможно полнее использовать двухстороннее влияние рядов водопонижающих колодцев, что является существенным преимуществом этого варианта перед вариантом размещения их по контуру котлована всего гидроузла.

Для выяснения вопроса, какой из двух этих вариантов является наиболее выгодным и установления наиболее рационального числа и глубины колодцев, проведены соответствующие исследования: 1) для случая размещения водопонижающих колодцев по контуру бетона при числах колодцев 6, 12, 24, 48, 72, 96 и 144 с расстояниями между ними соответственно в 120, 60, 30, 15, 10, 7,5 и 5 метров и 2) для случая размещения колодцев водопонижения по контуру котлована всего гидроузла при числах колодцев 24, 36 и 48.

Результаты проведенных расчетов для случая „1“ сведены в таблицу № 3.

Как видно из таблицы, водопонижение 96 и 144 колодцами нерационально, так как варианты эти, в части глубины колодцев, не имеют никаких преимуществ перед водопонижением 72 колодцами. Дебиты же отдельных их колодцев не превышают 0,9 л/сек, что неизбежно влечет за собою неполное использование производительности даже маломощных поршневых насосов.

Обычно принято считать, что с увеличением числа колодцев уменьшается их глубина, при одном и том же

Число колодцев „п“	Расстояние между колодцами „l“ м.	Глубина колодцев „Н“ м.	Понижение в центре установки „S ₀ “ м.	Радиус влияния установки „R“ м.	Дебит установки „Q“ м ³ /сек.	Дебит одного колодца „q“ м ³ /сек.
6	120	28,0	13,5	388,0	0,121	0,020
12	60	27,0	„	380,0	0,114	0,0095
24	30	24,0	„	357,0	0,100	0,0042
48	15	21,0	„	338,0	0,087	0,0018
72	10	20,0	„	329,0	0,082	0,0011
96	7,5	20,0	„	329,0	0,082	0,0009
144	5	20,0	„	329,0	0,082	0,0006

требуемом понижении уровня грунтовых вод; это положение подтверждается (табл. № 3) и нашими исследованиями. Но эта закономерность, оказывается, имеет место только до известного предела.

Действительно, в нашем случае сказанное положение имеет место только при изменении числа колодцев от 6 до 72. Увеличение же числа колодцев от 72 до 144, при обязательном обеспечении одного и того же требуемого понижения, не вызывает дальнейшего уменьшения глубины этих колодцев.

Отсюда следует, что для каждого заданного значения понижения уровня грунтовых вод, при данном конкретном контуре линии водопонижающих колодцев, существует определенный рациональный предел для глубины и числа колодцев водопонижения.

Уменьшение глубины водопонижающих колодцев ниже этого предела не обеспечивает требуемого понижения уровня грунтовых вод (при данных условиях), а увеличение числа колодцев выше этого предела не приведет, при тех же условиях, к дальнейшему уменьшению их глубины, а вызовет лишь непроизводительные расходы.

Действительно, в нашем примере уменьшение глубины колодцев меньше 20 м., хотя бы на незначительную величину, не обеспечивает требуемого понижения, а в увеличении числа колодцев больше 72 нет смысла, так как это увеличение не влечет за собой уменьшения глубины водопонижающих колодцев менее 20 м.

Отсюда вытекает и следующее положение: требуемое понижение уровня грунтовых вод не было бы обеспечено в нашем случае, если бы мощность водо-

носного слоя была менее 20 м, ибо в этом случае и глубина водопонижающих колодцев была бы меньше 20 м.

Точно также, требуемое понижение не было бы обеспечено в нашем случае 48, 24, 12 и 6 колодцами, если бы глубины их или мощности водоносных слоев были соответственно меньше 21, 24, 27 и 28 м.

Этот наш вывод в известной мере подтверждает результаты опыта Эренбергера и др. о том, что понижение у наружной поверхности, по крайней мере для одиночно действующего колодца, не может быть доведено до водоупора и что статический уровень грунтовых вод не может быть понижен у наружной поверхности колодца более, чем на половину высоты уровня воды от водонепроницаемой подошвы.

Значит, при данном контуре линии водопонижающих колодцев, требуемое понижение может быть рационально обеспечено любым числом колодцев, находящимися в интервале от названного выше предела до 1, но при том только условии, если водоносный слой имеет достаточную для этого мощность.

В рассматриваемом примере размещения колодцев по контуру бетона, указанным выше пределом для числа колодцев является 72, а для их глубины—20 м.

Поскольку мощность водоносного слоя в нашем случае довольно значительная (150—200 м.), то водопонижение может быть осуществлено здесь любым числом колодцев, находящимся в интервале от 72 до 1.

В других же случаях, т. е. при сравнительно ограниченных мощностях водоносного слоя, число колодцев будет лимитироваться глубиной залегания водоупора от статического уровня грунтовых вод.

Например, если бы в нашем случае эта глубина была равна 24 м, то мы для обеспечения требуемого понижения не смогли бы применить число колодцев, меньшее 24. Точно также, если бы мощность водоносного слоя была 27 м, то мы не смогли бы обеспечить требуемого понижения числом колодцев, меньшим 12 и т. д. и т. д.

Установление факта существования для каждого конкретного контура линии водопонижающих колодцев (при данной постоянной величине понижения и данных гидрогеологических условиях) определенного предела для числа и глубины трубчатых колодцев чрезвычайно важно. В практике проектирования водопонижительных установок это обстоятельство не учитывается, что приводит к произ-

вольному назначению излишне большого числа колодцев и, следовательно, к неоправданному удорожанию водопонижительных работ. Это обстоятельство в существующей технической литературе не отмечено, вследствие чего до сих пор нет достаточно сознательного подхода к вопросу об определении рационального числа и глубины водопонижающих колодцев.

Таблица № 3 показывает далее, что уменьшение глубины колодцев в связи с увеличением их числа идет значительно медленнее последнего. Из таблицы видно, например, что увеличение числа колодцев с 6 до 12, т. е. в два раза, ведет к уменьшению их глубины всего лишь на 1 метр. (с 28 до 27 м), т. е.—на 3,6 проц; увеличение числа колодцев с 12 до 24 и с 24 до 48, т. е. также в два раза, влечет за собою уменьшение глубины их на 3 м (с 27 до 24 м и с 24 до 21 м), т. е. соответственно на 11,7 проц. и 12,5 проц.; с увеличением числа колодцев с 48 до 72, т. е. до предельно рационального числа их для данного случая, глубина колодцев уменьшается уже лишь на 1 м. (21 до 20 м), т. е. на 4,7 проц. Дальнейшее увеличение числа колодцев уменьшения их глубины не вызывает.

Факт значительно более медленного уменьшения глубины водопонижающих колодцев по сравнению с увеличением их числа указывает на то, что водопонижение гораздо выгоднее производить меньшим числом, но более глубоких колодцев с соответственно большими расстояниями между ними. Это видно и из таблицы № 4, где приведены результаты технико-экономических расчетов, проведенных для чисел колодцев 6, 12, 24, 48, 72, 96 и 144, размещенных по контуру бетона и для продолжительности водопонижения в 4 месяца.

Таблица № 4

Продолжительность водопонижения в месяцах	Стоимость водопонижения в млн. руб. при числе колодцев и расстояниях между ними в м:						
	6 $\frac{6}{120}$	12 $\frac{12}{60}$	24 $\frac{24}{30}$	48 $\frac{48}{15}$	72 $\frac{72}{10}$	96 $\frac{96}{7,5}$	144 $\frac{144}{5}$
4	0,29	0,32	0,38	0,50	0,65	0,84	1,16

Примечание: числитель—число колодцев, а знаменатель—расстояние между ними.

Как видим, в пределах рассмотренных чисел колодцев, в нашем случае наиболее выгодным в технико-экономическом отношении является водопонижение 6 колодцами с расстояниями между ними в 120 м.

Сказанное о выгодности водопонижения меньшим числом, но более глубоких, колодцев следует и из данных таблицы № 3, которая показывает, что, чем меньше число колодцев, тем меньше общий погонаж их глубин и тем больше дебит отдельно взятого колодца; следовательно, в этом случае возрастает и возможность использования насосов более совершенных конструкций с большой производительностью, что и ведет, в конечном счете, к значительному снижению стоимости водопонижительных работ.

Из сказанного вытекает, что при проектировании водопонижительных установок нужно принимать возможно минимальное число колодцев, допустимое при данной мощности водоносного слоя.

Результаты проведенных расчетов для случая размещения водопонижающих колодцев по контуру котлована всего гидроузла приведены в таблице № 5.

Таблица № 5

Число колодцев „п“	Глубина колодцев „Н“ м.	Понижение в центре установки „S“ м.	Радиус влияния установки „R“ м.	Дебит установки „Q“ м ³ /сек.	Дебит 1 колодца „q“ м ³ /сек.	Стоимость водопонижения при продолжительности его в 4 месяца в млн. руб.
48	32	10	309,0	0,177	0,0036	0,82
36	36	„	323,0	0,187	0,0052	0,80
24	40	„	345,0	0,202	0,0090	0,80

Незначительная разница в стоимости водопонижения при разных числах колодцев объясняется, видимо, тем, что для расчета данного случая взят сравнительно небольшой интервал числа колодцев (от 24 до 48). Но в общем, и здесь наблюдается та же закономерность уменьшения стоимости водопонижения с уменьшением числа водопонижающих колодцев.

Сравнение данных таблиц № 4 и № 5 для одинаковых чисел колодцев обоих вариантов (для 24 и 48 колодцев) дает следующую картину (таблица № 6):

Таблица № 6

Варианты размещения колодцев	Стоимость водопонижения в млн. руб. при числах колодцев	
	24	48
1. По контуру котлована всего гидроузла	$\frac{0,80}{100\%}$	$\frac{0,82}{100\%}$
2. По контуру бетона	$\frac{0,38}{48\%}$	$\frac{0,50}{61\%}$

Как показывают цифры этой таблицы, размещение водопонижающих колодцев по контуру бетона, по сравнению с размещением их вокруг котлована всего гидроузла, дает удешевление водопонижительных работ на 39 проц. (в случае 48 колодцев) и на 52 проц. (в случае 24 колодцев). Эти цифры ясно указывают на безусловную технико-экономическую выгоду размещения колодцев по контуру бетона, а не по контуру котлована всего гидроузла. Такое размещение дает возможность наиболее полно использовать двухстороннее влияние рядов колодцев, значительно сократить длину их линий, а также уменьшить расстояние между двумя рядами, параллельными оси гидроузла. Это последнее обстоятельство ведет, в свою очередь, к уменьшению глубин водопонижающих колодцев. Все это, вместе взятое, и обуславливает технико-экономическую выгоду размещения колодцев водопонижения по контуру бетона по сравнению с размещением их по контуру котлована всего гидроузла.

К сожалению, до сих пор в известных нам проектах водопонижения, составленных даже весьма авторитетными организациями, принцип планового размещения колодцев по контуру бетона не соблюдался, несмотря на вполне очевидную технико-экономическую целесообразность этого принципа. Мы предлагаем в своей работе именно этот принцип размещения колодцев в плане с двухсторонним использованием пониженного уровня грунтовых вод.

Весьма важным вопросом является также вопрос о продолжительности водопонижительных работ и о влиянии ее на их стоимость. В практике проектирования, в громадном большинстве случаев, сначала составляется проект организации и производства основных строитель-

ных работ, а затем уже приспособляется к нему проект водопонижения. Между тем, зачастую проекты производства основных строительных работ недоучитывают новейшие достижения науки и техники, умелое использование которых намного ускорило бы ход строительства и сократило бы, тем самым, сроки его выполнения. В ряде же случаев они составляются просто неправильно, ориентируя стройку на проведение работ по очередям, секциям и т. д., что безусловно ведет к удлинению срока строительных работ и удорожает их.

Для выяснения влияния продолжительности водопонижения на его стоимость, проведены были технико-экономические расчеты для взятого нами примера при разной продолжительности водопонижительных работ (в 4, 8, 12 и 28 месяцев). Результаты этих расчетов приводятся в таблице № 7.

Таблица № 7

Продолжительность водопонижения в месяцах	Стоимость водопонижения в млн. руб. при числах колодез и расстояниях между ними в м						
	6 120	12 60	24 30	48 15	72 10	96 7,5	114 5
4	$\frac{0,29}{100\%}$	$\frac{0,32}{100\%}$	$\frac{0,38}{100\%}$	$\frac{0,50}{100\%}$	$\frac{0,65}{100\%}$	$\frac{0,84}{100\%}$	$\frac{1,16}{100\%}$
8	$\frac{0,52}{179\%}$	$\frac{0,58}{181\%}$	$\frac{0,67}{176\%}$	$\frac{0,87}{174\%}$	$\frac{1,15}{177\%}$	$\frac{1,45}{173\%}$	$\frac{1,90}{161\%}$
12	$\frac{0,77}{266\%}$	$\frac{0,84}{262\%}$	$\frac{0,96}{253\%}$	$\frac{1,23}{246\%}$	$\frac{1,65}{256\%}$	$\frac{2,07}{246\%}$	$\frac{2,90}{250\%}$
20	$\frac{1,72}{645\%}$	$\frac{1,85}{579\%}$	$\frac{2,10}{552\%}$	$\frac{2,69}{539\%}$	$\frac{3,53}{542\%}$	$\frac{4,49}{532\%}$	$\frac{5,33}{461\%}$

Как видим, с увеличением продолжительности водопонижения в два раза, стоимость его, в зависимости от числа колодез, увеличивается от 1,6 до 1,8 раз; с увеличением продолжительности в 7 раз, стоимость водопонижения увеличивается от 4,6 до 6,5 раза, т. е. стоимость водопонижения растет почти во столько же раз, во сколько раз растет его продолжительность. Эти цифры ясно показывают технико-экономическую целесообразность возможно большего сокращения сроков водопонижительных работ.

Для этого необходимо, чтобы проект водопонижения составлялся не на основе уже законченного проекта производства основных строительных работ, а — одновременно и во взаимной увязке с последним. При этом оба этих проекта должны составляться так, чтобы проект водопонижения создавал наилучшие условия для выполнения строительных работ, а проект последних максимально и умело использовал новейшие достижения науки и техники, могущие обеспечить возможно большее сокращение сроков строительства. Проект водопонижения ни в коем случае не должен допускать производства работ по очередям с разбивкой котлована на ряд секций, так как это усложняет производство строительных работ, значительно удлиняет их сроки, а следовательно, и сроки водопонижения, что, в конечном результате, приводит к резкому повышению стоимости строительства в целом.

Насколько важно практическое значение сказанного можно видеть из того, что проведенными расчетами по организации и производству строительных работ нашего примера обоснованно доказано, что продолжительность последних, а следовательно, и водопонижительных работ, должны быть не больше 4 месяцев, тогда как проектирующими организациями этот срок был установлен в 28 месяцев, т. е. необоснованно был дан срок в 7 раз больший.

Сводя данные таблицы № 1 и № 7 в общую таблицу, получаем таблицу № 8 технико-экономических показателей различных методов, применимых для вскрытия больших котлованов в условиях плавунных грунтов.

Как показывает эта таблица, стоимость шпунтового ограждения, по сравнению со стоимостью водопонижения, дороже от 1,3 раза (при водопонижении 72 колодцами в течение 28 месяцев, т. е. при самом невыгодном случае применения водопонижения) и до 15 раз (при водопонижении 6 колодцами в течение 4 месяцев, т. е. при самом рациональном случае его применения и правильной организации строительных работ). Стоимость же противотрадиционных стенок из силикатизированного и замороженного грунтов превышает стоимость водопонижения от 2,3 раза (при водопонижении 72 колодцами в течение 28 месяцев) до 28 раз (при водопонижении 6 колодцами в течение 4 месяцев). Совершенно очевидно поэтому, что в условиях больших котлованов и плавунных грунтов методы шпунтового ограждения, силикатизации и замораживания

Таблица № 8

Стоимость в млн. рублей

Противофильтрационных стенок высотой в 44 м		Водопонижения при числах колодцев						
из металл. шпунта	из силикатиз. и заморож. грунтов	6	12	24	58	72	96	144
4,4	8,1	при T = 4 мес.						
		0,29	0,32	0,38	0,50	0,65	0,84	1,16
		при T = 8 мес.						
		0,52	0,58	0,67	0,87	1,15	1,45	1,90
		при T = 12 мес.						
.	.	0,77	0,84	0,96	1,23	1,65	2,17	2,90
		при T = 28 мес.						
.	.	1,72	1,85	2,10	2,69	3,53	4,49	5,3

Примечание: T—продолжительность водопонижительных работ

грунтов безусловно нерациональны по экономическим соображениям. Вопрос об их применении в этих условиях может быть поставлен лишь при незначительной мощности вскрываемого водоносного слоя. В нашем случае, например, вопрос этот может быть поставлен при мощности водоносного слоя, не превышающей 19—20 м.

В этом разделе работы дается далее краткий обзор современных конструкций фильтров водопонижающих колодцев и указывается, что до сих пор не имеется надежных формул для расчета их длины и что последняя, в большинстве случаев, назначается произвольно.

В работе рекомендуется предел, больше которого нет смысла назначать длину фильтров водопонижающих колодцев. Этот предел предлагается устанавливать, исходя из условия обязательной затопленности фильтров водопонижающих колодцев в период основной работы водопонижительной установки, т. е. в период ее работы после достижения требуемого понижения уровня грунтовых вод. Этому условию удовлетворяет длина фильтра, не превышающая высоту динамического уровня грунтовых вод у наружной поверхности колодцев, расположенных наиболее близко к центру тяжести водопонижительной установки.

В пятом разделе работы кратко освещается сущность проектов водопонижения, предложенных для осушения котлована гидроузла, взятого как пример для исследований, и дается критическая их оценка с точки зрения принципов, выдвигаемых настоящей работой. В результате приводится сравнительная таблица № 9 технико-экономических показателей этих проектов, а также вариантов автора диссертации.

Таблица № 9

№ п-п	Варианты водопонижения	Стоимость водопонижения в млн. руб при продолжительности его в:			
		4 мес.	8 мес.	12 мес.	28 мес.
1	Первый вариант Фундамент-строения	—	—	—	7,5
2	Второй вариант Фундамент-строения	—	—	—	6,5
3	Техно-рабочий проект Фундамент-строения	—	—	—	5,0
4	Проект Института „Среднегипроводхлопок“ (Сазвод-произ)	—	—	—	4,5
5	Варианты настоящей работы:				
	а) при 6 колодцах	0,29	0,52	0,77	1,72
	б) при 72 колодцах	0,62	1,15	1,65	3,53

Таблица показывает, что даже при самом невыгодном варианте водопонижения (72 колодцами в течение 28 месяцев), применение предлагаемых настоящей работой принципов проектирования водопонижительных установок дает, по сравнению со стоимостью водопонижения по обычным проектам вышеназванных организаций, экономию от 1,3 до 2,1 раза.

Эти данные наглядно подтверждают правильность выдвигаемых нами принципов и с полной очевидностью показывают, насколько важно соблюдение их при проектировании водопонижительных установок и насколько могут быть серьезными ошибки и экономические последствия при их несоблюдении.

В шестом разделе работы приводятся общие выводы, основные из которых сводятся к следующему:

1. Широкое распространение плавунных грунтов (особенно в низовьях рек нашей страны), большие размеры

котлованов современных гидросооружений, в свете предстоящих гигантских работ в области гидротехнического строительства делают весьма актуальными вопросы о рациональном методе вскрытия больших котлованов в условиях плавунных грунтов и принципах его применения.

2. Применение в этих условиях открытого водоотлива нерационально и даже невозможно так же, как и кессонного метода и методов цементации и битумизации грунтов.

3. Приемлемы для вскрытия больших котлованов в условиях плавунных грунтов методы шпунтового ограждения, силикатизации и замораживания грунтов, а также искусственного понижения уровня грунтовых вод. Но, в технико-экономическом отношении, из всех этих методов, наиболее рациональным в этих условиях является искусственное водопонижение.

4. Метод искусственного понижения уровня грунтовых вод можно применять в различных вариантах, т. е. одного и того же требуемого понижения уровня грунтовых вод можно достигнуть при различном размещении в плане водопонижающих колодцев и при разных их числах и глубинах.

а) Из всех рассмотренных в диссертации вариантов размещения водопонижающих колодцев в плане, с точки зрения удобства производства строительных работ, по приведенным в таблице № 1 удельным показателям и вообще в технико-экономическом отношении, наиболее рациональными являются варианты их размещения одним кольцом: или по контуру котлована всего гидроузла, или же по контуру только бетонной его части, без каких бы то ни было разбивок котлована на секции.

Но, с точки зрения возможно полного использования двухстороннего влияния рядов водопонижающих колодцев, оказывается значительно выгодным размещать последние не по контуру котлована всего гидроузла, а по контуру только бетонной его части. Так, например, в нашем случае, размещение колодцев водопонижения по второму из этих вариантов дало удешевление стоимости водопонижительных работ, по сравнению с первым вариантом, на 39—52 проц.

Следовательно, проектировать водопонижительные установки нужно так, чтобы колодцы водопонижения размещались одним кольцом не по контуру котлована всего гидроузла, а по контуру бетонной его части, что дает

возможность полнее использовать создающуюся при водопонижительных работах воронку депрессии, т. е. двухстороннее влияние рядов колодцев и ведет к удешевлению работ.

б) Произведенными в настоящей работе исследованиями показано, что для каждого значения величины требуемого понижения, при данном конкретном контуре линии водопонижающих колодцев, существует определенный рациональный предел для глубины и числа колодцев водопонижения.

Увеличение числа колодцев больше этого предела не вызывает дальнейшего уменьшения глубины колодцев (при одном и том же требуемом понижении), а уменьшение глубины их меньше этого предела не обеспечивает требуемого понижения.

В нашем случае, например, этим пределом для числа колодцев является 72, а для глубины их—20 м.

Отсюда следует, что при проектировании водопонижительных установок нужно решительно отказаться от произвольного назначения числа и глубины колодцев, как это обычно делается, а назначать их, установив предварительно эти пределы для каждого конкретного случая.

5. Из исследований настоящей работы вытекает также, что уменьшение глубины водопонижающих колодцев, в связи с увеличением их числа, идет значительно медленнее последнего. Это указывает на то, что водопонижение гораздо выгоднее производить меньшим числом, но более глубоких колодцев с соответственно большими расстояниями между ними и соответственно большими их дебитами, что будет удовлетворять и требованиям наиболее полного использования производительности современных глубинных насосов лучших конструкций. При проектировании водопонижительных установок должен быть соблюден и этот принцип.

6. Практическое и теоретическое значение положений и принципов, выдвигаемых в п.п. 4 и 5 настоящих выводов, огромно. Но, несмотря на полную очевидность этого, в известных нам проектах водопонижения, составленных даже авторитетными организациями, эти положения и принципы не соблюдались и, насколько нам известно, выдвигаются они впервые. Это обстоятельство еще более усиливает актуальность исследованных в настоящей работе вопросов.

7. Проект водопонижения должен составляться не на

основе уже законченного проекта производства основных строительных работ, как это практикуется до сих пор, а—одновременно и во взаимной увязке с ним и так, чтобы проект водопонижения создавал наилучшие условия для производства строительных работ и для полного использования новейших достижений науки и техники тем, чтобы выполнить их в наиболее короткие сроки.

Сказанное имеет весьма большое практическое значение, ибо, как показано в настоящей работе, стоимость водопонижения возрастает во столько же раз, во сколько раз увеличивается продолжительность его.

8. В практике проектирования водопонижения длину фильтров водопонижающих колодцев, ввиду отсутствия надежных расчетных формул, назначают в значительной мере произвольно. В настоящей работе предлагается предел для наибольшей длины фильтров, устанавливаемый, исходя из условия обязательной затопленности их у колодцев, наиболее близко расположенных к центру тяжести водопонизительной установки в период после достижения установкой требуемого понижения в котловане сооружения.

9. При проектировании производства работ начало водопонизительных работ целесообразно приурочивать ко времени наименьшего стояния уровня грунтовых вод, что сократит сроки первоначального понижения, а, следовательно, и затраты на эти работы. К сожалению, во многих случаях практики не учитывается и этот момент.

10. Сравнение технико-экономических показателей обычных проектов водопонижения, предложенных различными проектными организациями для гидроузла, взятого в настоящей работе как пример для исследований, с таковыми, полученными на основе применения выдвигаемых нами принципов, полностью подтверждают правильность выводов нашей работы.

11. Прделанная работа не исчерпывает задач, стоящих перед научными исследованиями в этой области. Поэтому, учитывая большое народнохозяйственное значение поднятого в работе вопроса, продолжение научно-исследовательских работ в этом направлении является одной из задач первостепенной важности.
