

## Конструкции элементов грунтовых плотин, обеспечивающих надежную работу ГТС в условиях марганцевого заилиения

Одной из широко известных причин выхода из строя дренажей является их хемогенное заилиение. Настоящая статья посвящена проблемам заилиения дренажных систем нерастворимыми соединениями марганца. Высокое содержание марганца в поверхностных, грунтовых и подземных водах характерно для многих регионов РФ, а также ближнего и дальнего зарубежья. В частности, воды с высоким содержанием марганца широко распространены в бассейне р. Кама, где расположен Воткинский гидроузел, водоприемная способность коллекторно-дренажной системы грунтовых плотин которого в настоящее время значительно снижена из-за обильного загрязнения всех ее элементов гидроксидами и оксидами марганца.

В 1998 г. впервые при полевом обследовании дренажа привлекли к себе внимание специалистов ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» довольно мощные, плотные, густого черного цвета отложения в дренажном коллекторе плотины № 2. Химический анализ, выполненный в лаборатории фильтрационных исследований им. акад. Н.Н. Павловского ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», показал, что материал отложений практически нацело представлен оксидом марганца ( $MnO_2$ ).

В течении последующих лет службой эксплуатации ГЭС отмечались выходы фильтрационных вод на пойме за плотиной № 2 и вымочки на откосах, сначала лишь в период высокого стояния уровней воды в верхнем бьефе. После снижения уровня воды в верхнем бьефе неблагоприятные водопроявления исчезали. К 2003 г. выходы фильтрационных вод на пойме за плотиной № 2 проявлялись уже в виде луж и ручейков, а на приплотинной части поймы – в виде вымочек, заполненных водой, и заболоченных массивов.

Впервые осенью 2003 г. уровень воды в одном из смотровых колодцев поднялся на 1,7 м, достигнув отметки поверхности земли 74,50 м. Позднее, в 2003-2004 гг. проведенные исследования показали, что причиной закупорки коллектора являются скопления хемогенных марганцевых отложений, повсеместно распространенных в дренаже плотины №2.

Результаты натурных наблюдений свидетельствуют о том, что в последние годы наблюдается устойчивый подъем депрессионной поверхности в теле грунтовых плотин, средние значения напоров растут со скоростью 1-3 см в год [1, 2].

Очевидно, что частичное заилиение или полная закупорка отводящих трактов дренажей (закрытых и/или открытых коллекторов), полостей дренажных труб, кольматаж водоприемных отверстий в трубах и стыковых зазоров между ними, обратных фильтров и придренной области грунта марганцевыми отложениями ведет к уменьшению водоприемной и транспортирующей способности дренажа, частичному или полному выходу его из строя, что в свою очередь может привести к нарушению надежности грунтовой плотины в целом [3]. Так в 2004 г. на одном из участков полное перекрытие полости коллектора привело к затоплению смотровых колодцев, выходу фильтрационных вод на дневную поверхность с подтоплением нижнего бьефа.

Анализ полевых и лабораторных исследований, проведенный нами [4, 5], показал, что определяющими факторами, приводящими к интенсивному марганцевому заилиению дренажа и уменьшающими его работоспособность, являются:

- Высокие (до 18 мг/л) концентрации ионов марганца в дренируемых подземных водах. При этом концентрации, относимые по классификации степени опасности заохривания соединениями железа к слабым, также необратимо снижают работоспособность дренажа, приводя к закупорке дренажных отверстий марганцевыми отложениями.
- Совместное отведение закрытым дренажным коллектором кислородсодержащих фильтрационных вод и подземных вод с высоким содержанием ионов марганца.
- Струйный излив воды в полость коллектора через многочисленные дренажные отверстия при малых значениях расхода, ведущий к дополнительному насыщению воды кислородом воздуха.
- Расположение дренажных отверстий в зоне переменного уровня воды в коллекторе.
- Малые уклоны дренажного коллектора.
- Подпорный режим движения потока в дренажном и отводящем коллекторах с малыми скоростями потока, где, как в отстойнике, создаются благоприятные условия для выпадения в осадок, формирования и накопления марганцевых отложений.
- Строительный мусор, ПГС, песчаные частицы, просыпавшиеся или оставленные в ходе строительства в полости дренажного коллектора, не только способствуют образованию застойных зон, но и являются ядрами, на которых более интенсивно происходит формирование марганцевых отложений.

Учитывая характер образования, транспортирования и отложения соединений марганца в полости труб дренажного и отводящих коллекторов, нами предложен комплекс мероприятий по предупреждению формирования или минимизации влияния марганцевых отложений на работу дренажного коллектора и обратного фильтра грунтовых плотин Воткинской ГЭС [5]. Данный комплекс включает:

1. Предотвращение поступления богатых марганцем вод в дренаж путем реконструкции неэффективных и устройства дополнительных разгрузочных скважин.
2. Снижение уровня воды в водоемах и водотоках, расположенных в непосредственной близости от коллекторно-дренажной сети, способствующих формированию подпорного режима движения потока грунтовых вод.
3. Недопущение подпорного режима движения воды с малыми скоростями потока в полости дренажного и отводящих коллекторов (если создание такого режима не включено в схему самопромывной работы дренажа).
4. Регулярные осмотры полости труб дренажного и отводящих коллекторов, а также водоприемных отверстий.
5. Организацию профилактической очистки отстойников смотровых колодцев и полостей коллекторов от заилиения.

Систематизация подходов к решению проблемы марганцевого заилиения дренажей напорных сооружений Воткинской ГЭС, а также опыт путей решения проблем хемогенного заилиения в водоподготовке и мелиорации [6, 7, 8], позволила разработать основные принципы конструирования элементов грунтовых плотин, работающих в подобных условиях.

Основные принципы конструирования элементов грунтовых плотин, работающих в условиях потенциального заилиения марганцевыми отложениями, определяются созданием режимов работы, предотвращающих или минимизирующих процессы окисления в дренируемых водах и образование нерастворимых марганцевых соединений, а также обеспечивающих работоспособность дренажей.

На блок-схеме представлены предложенные авторами принципы конструирования элементов грунтовых плотин, работающих в условиях потенциального заилиения марганцевыми отложениями, где выделено два основных направления решения проблемы: активное и пассивное.

Активные решения направлены на создание режимов работы, исключающих возможность протекания процессов окисления в элементах дренажного обустройства плотин.

Пассивные решения направлены на продление срока службы гидротехнических сооружений путем создания в дренажных конструкциях резервных и дополнительных объемов, аккумулирующих марганцевые отложения или путем периодического удаления отложений из полостных элементов системы.

В таблице представлена классификация конструкций элементов грунтовых плотин, обеспечивающих надежную работу ГТС в условиях марганцевого заилиения, разработанных на основе предложенных принципов конструирования.

К активному направлению конструирования можно отнести создание дренажных систем, обеспечивающих раздельное отведение марганецсодержащих и кислородсодержащих дренажных вод и создание анаэробных условий работы дренажных устройств. Работа данных конструкций направлена на полное исключение возможности контакта ионов марганца с растворенным в воде кислородом и, тем самым, на предотвращение формирования марганцевых отложений.

Раздельное отведение марганецсодержащих и кислородсодержащих дренируемых вод может быть достигнуто:

- созданием противофильтрационных контуров, разделяющих потоки с повышенным содержанием ионов марганца и растворенный кислород;
- снижением базиса разгрузки марганецсодержащих вод водопонижающими установками или дренажами, отводящими эти воды в нижний бьеф по отдельному тракту;
- перераспределением тока марганецсодержащих вод барражными системами;
- осаждением марганца в толще грунта вне зоны дренажа.

Противофильтрационные контуры, разделяющие потоки, могут представлять собой системы, вертикальных, горизонтальных, наклонных, комбинированных элементов (поз. 1.1). Кроме того, в состав общего противофильтрационного контура плотины могут быть включены естественные слабоводопроницаемые инженерно-геологические элементы основания (поз. 1.3). Решение о применении данного варианта разделения потоков должно приниматься на стадии предпроектных изысканий и выбора варианта конструкции плотины. Внедрение предложенного конструктивного принципа на стадии эксплуатации имеет существенные ограничения, а для ряда конструкций вообще невозможно.

# Принципы конструирования элементов грунтовых плотин

## Активные

### Разделение марганецсодержащих и кислородсодержащих дренируемых вод

- Создание специальных противофильтрационных устройств
- Понижение пьезометрических уровней напорных горизонтов
- Сохранение естественных противофильтрационных элементов основания
- Подавление, перераспределение тока марганецсодержащих вод барражными системами
- Специальное дренирование марганецсодержащих вод со сбросом по отдельному тракту
- Кислородное осаждение марганца в толще грунта вне зоны дренажа

### Создание анаэробных условий работы дренажных устройств

- Устройство гидрозамков
- Подогрев дренажа

## Пассивные

### Создание специальных самопромывных конструкций дренажа

- Конструкции самопромывного дренажа, использующего для промывки воду с верхнего бьефа
- Конструкции самопромывного дренажа, использующего для промывки воду с нижнего бьефа
- Дренажа с уклоном, обеспечивающим промывные скорости потока
- Конструкции самопромывного дренажа, использующего для промывки эффект периодического шлюзования
- Конструкции самопромывного дренажа, использующего для промывки сезонные колебания уровня депрессионной поверхности

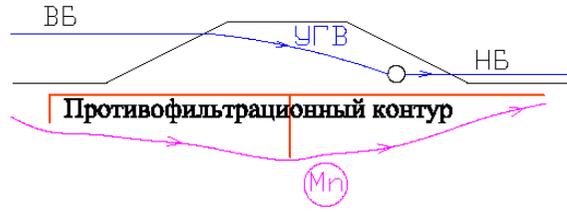
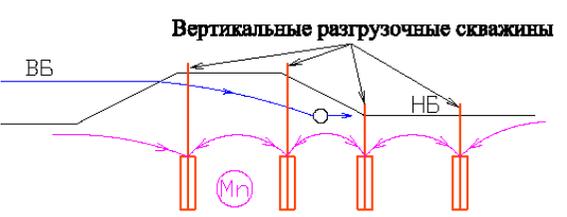
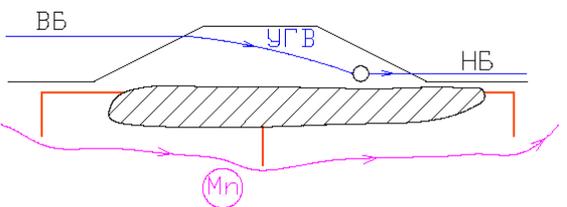
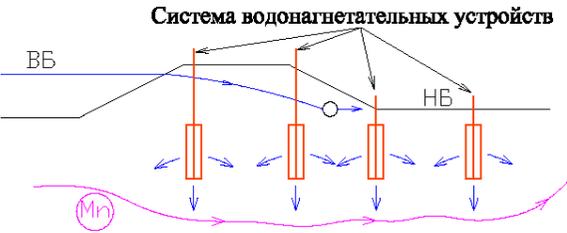
### Создание запасных объемов на заиление

- Создание дублирующих дренажных систем, поставленных в режим «ожидания»
- Создание очертаний грунтовых ГТС, рассчитываемых с учетом наращивания профиля в процессе увеличения заиленного объема
- Создание дренажей и их элементов с запасным габаритом объема заиления

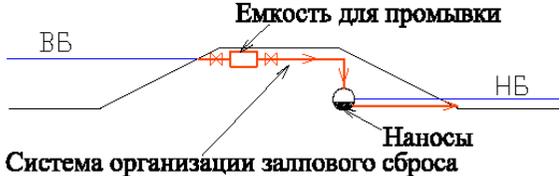
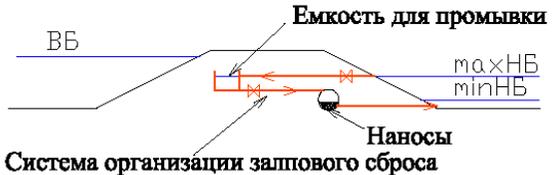
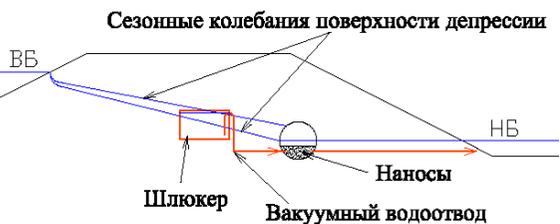
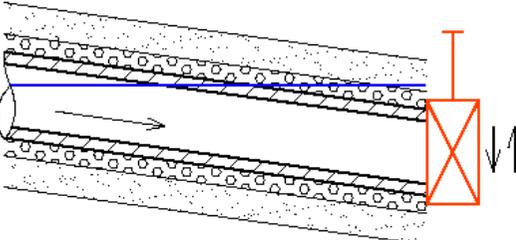
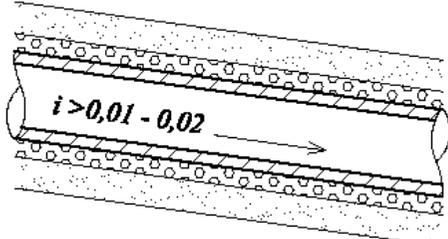
### Цикличное восстановление эффективности

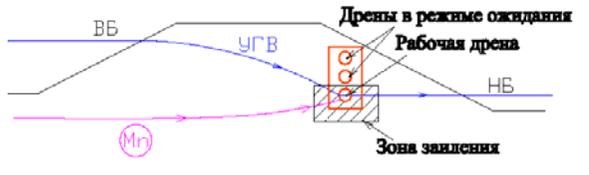
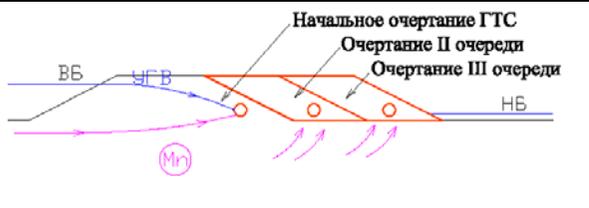
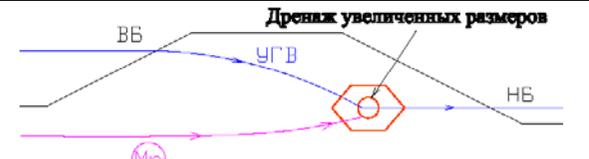
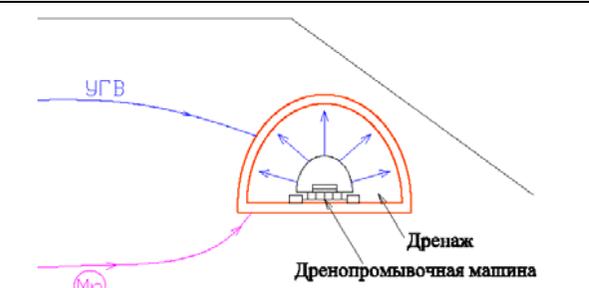
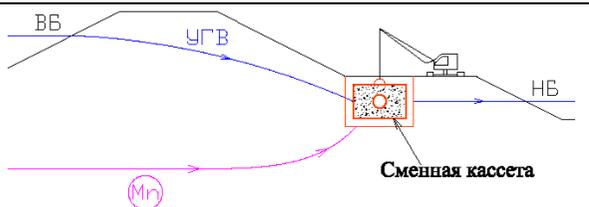
- Создание дренажных конструкций, позволяющих производить очистку высокотехнологическими методами
- Конструкции дренажа сборно-разборного (кассетного) типа

## Классификация конструкций элементов грунтовых плотин, эффективных в условиях хомогенного марганцевого кольматажа

Принципы конструирования	Пути достижения	Принципиальная схема	Краткая характеристика	Условия применения
1	2	3	4	5
Активные направления конструирования Разделение марганецсодержащих и кислородсодержащих потоков	1.1. Создание специальных противофильтрационных устройств	 <p style="text-align: center;"><b>Противофильтрационный контур</b></p>	Представляют собой систему комбинированных, вертикальных, горизонтальных, наклонных гидроизоляционных элементов, предотвращающих поступление марганецсодержащих вод в дренаж и включенных в общий противофильтрационный контур. При создании противофильтрационных элементов могут использоваться материалы, традиционно применяемые в гидротехническом строительстве, а также современные геосинтетические материалы.	Стадия проектирования – наиболее эффективно. Стадия эксплуатации – с некоторыми ограничениями.
	1.2. Понижение пьезометрических уровней напорных горизонтов	 <p style="text-align: center;"><b>Вертикальные разгрузочные скважины</b></p>	Понижение пьезометрических уровней в напорных горизонтах может быть достигнуто устройством системы полей разгрузочных скважин, установленных в горизонт марганецсодержащих вод с разгрузкой в нижний бьеф, а также устройством других типов дренажа (лучевого, галерейного, верного и др.)	Стадия проектирования – устройство некоторых видов дренажа возможно только в период строительства ГТС, например, дренаж галерейного типа. Стадия эксплуатации – дренажи, строительство которых возможно без вывода ГТС из эксплуатации в условиях напорной работы сооружения (вертикальный, лучевой и др.).
	1.3. Сохранение естественных противофильтрационных элементов основания		В противофильтрационный контур включаются естественные слабопроницаемые инженерно-геологические элементы в основании ГТС.	Предусматривается на стадии проекта – требуется детальное оконтуривание слабопроницаемых инженерно-геологических элементов в основании и выполнение соответствующих фильтрационных расчетов.
	1.4. Подавление, перераспределение тока марганецсодержащих вод барражными системами	 <p style="text-align: center;"><b>Система водонагнетательных устройств</b></p>	Выполняется отжатием марганецсодержащих вод специальной водонагнетательной системой. Представляет собой водоподающую систему и систему перфорированных нагнетательных водоводов (скважин). В конструкции должен быть использован естественный напор со стороны верхнего бьефа, система регулирования напоров и система мониторинга.	Стадия проектирования. Стадия эксплуатации – с некоторыми ограничениями.

1	2	3	4	5
Активные направления конструирования	Разделение марганецсодержащих и кислородсодержащих потоков	<p>1.5. Специальное дренирование марганецсодержащих вод со сбросом по отдельному тракту</p>	Внедрение в пласт марганецсодержащих вод дренажа (пластовый, лучевой, вертикальный, горизонтальный и т.д.), оснащенного сборным коллектором с отводом в нижний бьеф.	Предусматривается на стадии проекта.
	1.6. Кислородное осаждение марганца в толще грунта вне зоны дренажа	<p>1.6. Кислородное осаждение марганца в толще грунта вне зоны дренажа</p> <p><b>Зоны кислородного осаждения марганца</b></p>	Обеспечивается подачей расчетного расхода поверхностных вод с высокой концентрацией кислорода в пласт марганецсодержащих вод через специальные нагнетательные скважины (метод Vyredox, установка ВОДГЕО и др.).	Предусматривается на стадии проекта. На стадии эксплуатации – с некоторыми ограничениями.
Создание анаэробных условий	2.1. Устройство гидрозамков	<p>2.1. Устройство гидрозамков</p> <p><b>Гидрозамок</b></p>	Обеспечивает работу дренажа в подтопленном режиме, в результате прекращается поступление кислорода в зону дренажа, предотвращаются процессы окисления и формирование марганцеворудных отложений не происходит.	Предусматривается на стадии проекта.
	2.2. Подтопление дренажа	<p>2.2. Подтопление дренажа</p> <p><b>Водовыпуск</b></p>	Подтопление дренажа за счет заглубления под уровень нижнего бьефа. В результате прекращается поступление кислорода в зону дренажа, предотвращаются процессы окисления и формирование марганцеворудных отложений не происходит.	Предусматривается на стадии проекта.

1	2	3	4	5
<p style="text-align: center;"><b>Пассивные направления конструирования</b></p> <p style="text-align: center;">Создание специальных самопромывных конструкций дренажа</p>	<p>3.1. Конструкции самопромывного дренажа, использующего для промывки воду с верхнего бьефа</p>		<p>Для промывки дренажной системы используется энергия воды верхнего бьефа. Осуществляется периодический залповый сброс.</p>	<p>Предусматривается на стадии проекта.</p>
	<p>3.2. Конструкции самопромывного дренажа, использующего для промывки воду с нижнего бьефа</p>		<p>Для промывки дренажной системы используется энергия воды нижнего бьефа. Осуществляется периодический залповый сброс.</p>	<p>Предусматривается на стадии проекта.</p>
	<p>3.3. Конструкции самопромывного дренажа, использующего для промывки сезонные колебания уровня депрессионной поверхности</p>		<p>В теле плотины в зоне сезонных изменений уровня депрессионной поверхности размещается емкость (шлюкер) с водоотводом вакуумного типа. При подъеме поверхности депрессии выше верха емкости происходит ее заполнение, срыв вакуума и по водоотводу промывные воды залпово подаются в дренаж.</p>	<p>Предусматривается на стадии проекта.</p>
	<p>3.4. Конструкции самопромывного дренажа, использующего для промывки эффект периодического шлюзования</p>		<p>По трассе дренажа устанавливаются запорные или подпорные устройства (затворы, водосливы). Выполняется периодическое подтопление дренажа с последующим залповым сбросом.</p>	<p>Предусматривается на стадии проекта или эксплуатации.</p>
	<p>3.5. Дренажа с уклоном, обеспечивающим промывные скорости потока</p>		<p>Для промывки дренажной системы используется энергия воды транспортируемого дренажного потока. Уклоны дренажных линий должны быть <math>i &gt; 1 - 2 \%</math>, скорость потока <math>v &gt; 0,4 \text{ м/с}</math>.</p>	<p>Предусматривается на стадии проекта.</p>

1	2	3	4	5
Пассивные направления конструирования	4.1. Создание дублирующих дренажных систем, поставленных в режим «ожидания»		Системы, поставленные в режим «ожидания». В этом случае системы располагаются на разных уровнях одна над другой. При заилении нижележащего дренажа и выходе его из строя дублирующие системы последовательно и автоматически вступают в работу.	Стадия проектирования – наиболее эффективно. Стадия эксплуатации – с некоторыми ограничениями.
	4.2. Создание очертаний грунтовых ГТС, рассчитываемых с учетом наращивания профиля в процессе увеличения заиленного объема		Конструкция либо задается заранее с большим запасом, либо предполагает технологическую возможность изменения контура сооружения, приводящую к повышению устойчивости ГТС (создание соответствующих пригрузок низового откоса, его уположение и др.)	Стадия проектирования – наиболее эффективно. Стадия эксплуатации – с некоторыми ограничениями.
	4.3. Создание дренажей и их элементов с запасным габаритом объема заиления		Обеспечивают надежную работу сооружения благодаря повышенной водопримной и водопротускной способности.	Предусматривается на стадии проекта.
Циклическое восстановление эффективности	5.1. Создание дренажных конструкций, позволяющих производить очистку высокотехнологическими методами		Габариты и конструкция дренажных систем обеспечивают возможность выполнения их очистки с применением механизированных высокотехнологических устройств и механизмов.	Предусматривается на стадии проекта.
	5.2. Конструкции дренажа сборно-разборного (кассетного) типа		Конструкция дренажных систем включает в себя сборно-разборные элементы (сменные блоки) по типу сменных фильтров используемых в водоподготовке на станциях обезжелезивания и деманганаии. Сменные элементы могут заменяться в процессе эксплуатации по мере снижения эффективности работы (заиления).	Предусматривается на стадии проекта. Стадия эксплуатации – с некоторыми ограничениями.

Снижение базиса разгрузки марганецсодержащих вод может быть достигнуто устройством системы полей разгрузочных скважин, установленных в горизонт марганецсодержащих вод, а также устройством других типов дренажа (лучевого, галерейного, веерного и др.) (поз. 1.2, 1.5). Устройство некоторых видов дренажа возможно только в период строительства ГТС, например, дренаж галерейного типа. Некоторые другие виды дренажа могут быть построены без вывода ГТС из эксплуатации в условиях напорной работы сооружения (вертикальный, лучевой и др.).

Использование барражных систем позволяет выполнить отжатие марганецсодержащих вод специальной водонагнетательной системой, подающей в пласт основания воду из верхнего бьефа сооружения (поз. 1.4). Наиболее целесообразно данную конструкцию реализовывать по проекту в процессе строительства ГТС.

В основу схемы осаждения марганца в толще грунта вне зоны дренажа положен внедренный на ряде станций водоснабжения метод деманганации (обезжелезивания) подземных вод путем искусственного создания в водоносном пласте на участках водозабора зон, резко отличающихся по окислительно-восстановительным условиям от природных. При искусственном насыщении подземных вод кислородом в водоносном марганецсодержащем пласте формируются зоны, в пределах которых происходит интенсивное окисление и осаждение марганца (железа). Такая зона создается закачкой в пласт через скважины или другие устройства расчетного расхода воды, не содержащей ионов марганца и насыщенной кислородом (поз. 1.6).

Для создания анаэробных условий работы дренажных устройств используют подтопление дренажа за счет устройства специальных гидрозамков (поз. 2.1), обеспечивающих работу дренажа в подтопленном режиме, либо путем заглубления водовыпусков под уровень нижнего бьефа (поз. 2.2). Данные схемы обеспечивают прекращение поступления кислорода в зону дренажа, что предотвращает процессы окисления и формирование марганцевородных отложений не происходит. Создание анаэробных условий работы дренажных устройств возможно только на стадии проектирования дренажных систем.

К пассивному направлению конструирования отнесены самопромывные дренажные системы, системы с периодической механической очисткой отложений спецмашинами, конструкции с запасными габаритами на заиливание а также сборно-разборные конструкции дренажей.

Изменение условий накопления уже образовавшихся нерастворимых марганцевых отложений основывается на создании специальных конструкций дренажа, которые обеспечивают самоочистку полостных элементов дренажных конструкций. При этом возможны два варианта удаления марганцевого наилка:

- организация периодических залповых сбросов с использованием: аккумулированной энергии воды верхнего (поз. 3.1) или нижнего (поз. 3.2) бьефов; зарядкой накопительной емкости промывного устройства (шлюкера) при сезонных повышениях уровней депрессионной поверхности в теле плотины (поз. 3.3); регулирование уровней в дренаже подпорными устройствами (поз. 3.4);
- проектирование дренажных конструкций с гидравлическими параметрами, обеспечивающими транспорт дренажных вод со скоростями потока, при которых оседание выпавших в осадок частиц невозможно (поз. 3.5).

Также к пассивным конструктивным решениям относится создание дублирующих дренажных систем, поставленных в режим «ожидания» (поз. 4.1). Данные системы могут быть устроены во время строительства ГТС, а также с определенными ограничениями и в период эксплуатации. Создание очертаний грунтовых ГТС, рассчитываемых с учетом наращивания профиля в процессе увеличения заиленного объема (поз. 4.2), возможно путем выполнения соответствующих пригрузок низового откоса, его уположения и др., что необходимо учитывать уже на стадии проектирования. Создание дренажей и их элементов с запасным габаритом объема заиливания обеспечивает надежную работу сооружения благодаря повышенной водоприемной и водопропускной способности и должно предусматриваться на стадии проектирования (поз. 4.3). Необходимо отметить, что данные решения при их внедрении на стадии эксплуатации требуют значительных объемов земляных работ, а работоспособность запасных и наращиваемых габаритов также ограничена во времени, что является их существенным недостатком. Применение конструкций, имеющих запасные объемы на заиливание, без проведения периодических очисток гидравлическими (поз. 4.1 – 4.3) или механическими (поз. 5.1) способами полостей дренажа от марганцевых отложений, приведет к значительному и необоснованному сокращению срока работы дренажной системы.

Применение сборно-разборной конструкции дренажа позволяет по мере необходимости заменять «загрязненные» блоки на «чистые» (поз. 5.2). Создание специальных конструкций дренажа должно быть предусмотрено на стадии проекта.

Некоторые виды этих конструкций и методов борьбы с марганцевым заилием дренажа реализованы на Воткинской ГЭС. Это решения, относящиеся к пассивным направлениям конструирования: дренажные трубы с запасным габаритом пропускной способности (т.к. фактические дренажные расходы оказались меньше проектных), понижение пьезометрических уровней путем устройства системы вертикальных скважин и снижения уровней поверхностных и грунтовых вод в пойме грунтовых плотин, строительство дублирующей нитки дренажа, проходящей над трассой проектного дренажа, на одном из участков грунтовой плотины. Однако все эти мероприятия обладают отмеченными выше недостатками, т.е. работоспособность дублирующего дренажа будет ограничена во времени

Наиболее применимым для условий Воткинской ГЭС решением, которое значительно уменьшило бы проблему марганцевого заилиения дренажа грунтовых плотин, нам представляется, является устройство системы веерного дренажа, строящегося из вертикальных шахт методом горизонтального бурения и работающего в подтопленном режиме. Данная конструкция может быть внедрена без вывода объекта из эксплуатации на период ремонта.

Накопленный нами опыт показывает, что необходимо уже на стадии изысканий и проектирования грунтовых гидротехнических сооружений на территориях с сильно минерализованными грунтовыми водами более внимательно относиться к потенциальным проблемам, которые могут быть вызваны хемогенным заилием, и принимать соответствующие адекватные меры еще до их проявления. Только при этом условии возможен выбор наиболее оптимального варианта конструкции плотины без увеличения в дальнейшем затрат на эксплуатацию.

### **Выводы**

1. На основе выполненного анализа факторов, влияющих на образование марганцевого заилиения элементов грунтовых плотин, разработан комплекс методов и подходов к решению обеспечения работоспособности дренажной системы гидротехнического сооружения.
2. Выделены два основных принципа конструирования дренажей напорных грунтовых сооружений, эффективных в данных условиях: активный – направленный на предотвращение окислительных процессов в зоне дренажа, и пассивный – направленный на продление срока службы ГТС путем создания в дренажных конструкциях резервных и дополнительных объемов аккумуляции марганцевородных отложений или цикличного восстановления их эффективности.
3. На основе предложенных принципов конструирования разработаны и классифицированы дренажные конструкции, позволяющие предотвратить формирование марганцевых отложений, минимизировать их проявления и, тем самым, обеспечить надежность и работоспособность сооружения.

### **Список литературы**

1. **А.В. Гинц, М.Г.Лопатина, И.Н. Гусакова, В.Ф. Фисенко.** Проблема хемогенного заилиения дренажа грунтовых плотин Воткинской ГЭС. // Гидроэнергетика. Тезисы докладов научно-технической конференции. С-Пб.: Издательство ВНИИГ им. Веденеева. 2005 г.
2. **Фисенко В. Ф., Деев А. П.** Рекомендации по организации натуральных наблюдений на эксплуатируемых ГТС с учётом опыта Воткинской ГЭС. // Безопасность энергетических сооружений. 2005. вып.15.
3. **Сольский С.В.** Основные технические решения по ремонту и реконструкции дренажа грунтовых плотин. - // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, т.243. 2004, С.193-203.
4. **Лопатина М.Г.** Оценка влияния марганцевого загрязнения на фильтрационные свойства грунтового материала тела и обратного фильтра плотины № 2 Воткинской ГЭС. // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева Т. 246, 2007. С. 30-38.
5. **Лопатина М.Г.** Разработка принципов дренажного обустройства грунтовых плотин в условиях хемогенного заилиения. // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева Т. 252, 2008. С.40-49.
6. **Мурашко А.И., Сапожников Е.Г.** Защита дренажа от заилиения. // Минск. Из-во «Ураджай», 1978. 252 с.
7. Пособие по проектированию сооружений для очистки и подготовки воды (к СНиП 2.04.02-84) - М: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. 128 с.
8. **Кулаков В. В., Сошников Е. В., Чайковский Г. П.** Обезжелезивание и деманганация подземных вод: Учебное пособие - Хабаровск: ДВГУПС, 1998. – 100 с.