

Регулирование влажности почвы дубль-сооружениями на осушительно-увлажнительных системах

Минаев И.В.
(БГПА)

Многолетний опыт эксплуатации осушительно-увлажнительных систем показал, что в сложившихся условиях в конструкциях подпорно-сбросных сооружений имеется существенный изъян, который не позволяет оперативно управлять УГВ и соответственно влажности почвы. Эти сооружения предназначены для пропуска весенних паводковых расходов, сброса ливневых вод, опорожнения каналов, когда поддержание УГВ на высоких отметках не требуется. Но в вегетационный период необходимо медленное или ступенчатое понижение УГВ с нормированным сбросом объемов воды. Это объясняется тем, что часть корней растений развивается в подпочве и стремится вниз к влажным слоям грунта; для растений это форма выживания, поскольку в почве, содержащей основные питательные вещества, часто влажность колеблется, достигая влажности разрыва капилляров или даже влажности завядания. Регулирование влажности в подпочве не менее важно, чем в почве. Но для этого необходимы медленное снижение (со скоростью, близкой к скорости углубления корневой системы) уровней, обеспеченное хорошо управляемым расходом воды [1]. Такие расходы достигаются работой других сооружений, или дубль-сооружениями. В качестве дубль-сооружения при основном сооружении может служить сифон в виде трубы в обход подпорного сооружения (например, с коробчатым затвором). Этими сооружениями оснащены большинство осушительно-увлажненных систем Нечерноземной зоны. Конструкции и методы гидравлического расчета дубль-сооружений в настоящее время проходят опытную проверку и позволяют решить указанную проблему.

На рис.1 представлена конструкция одного варианта дубль - сооружения в виде сифона из пластмассовых труб, уложенных в грунт в обход подпорного сооружения с коробчатым затвором. Горизонтальная часть трубы-сифона имеет горловину с пробкой для залива воды. Конец сифона в верхнем бьефе имеет клапан, в нижнем бьефе - вентиль. Сброс воды от отметки Δh_{\max} до Δh_i или Δh_{\min} осуществляется в результате следующих действий:

- сифон заливается водой через горловину 5, при этом клапан 6 будет закрыт;
- открывается вентиль 7 в нижнем бьефе;
- слив воды до требуемого уровня фиксируется по водомерной рейке (трубе) 2;

- по достижении заданного уровня Δh_i закрывается вентиль 7 и сброс воды прекращается.

Сифоном можно оборудовать любое существующее сооружение, т.е. не нужно производить работ в основном сооружении. Нет надобности строить подъемное устройство для оперативного регулирования уровня воды (УВ) в верхнем бьефе. Подъемник (ручная лебедка) необходим только для подъема коробчатого затвора для опускания и подъема УВ в периоды сброса больших объемов воды.

Сохранность сифона обеспечивается тем, что трубы укладываются в траншеи и засыпаются грунтом, горловина 5 и вентиль 7 помещаются в бетонные коробки.

Сифон обеспечивает плавный сброс воды из верхнего бьефа и точность установки заданного уровня.

После весеннего снеготаяния обычно в почве и подпочве возникает предельное распределение влажностей. В работе [2, с. 349] приведены кривые распределения влаги в случае образования на контакте почвы и подпочвы контактного слоя (K_1), на котором может образовываться временный слой водонасыщенной почвы. В подпочве также возможен аналогичный случай распределения влаги выше водоупорного слоя. Выше УГВ в грунте и УГВ в почве образуется капиллярная кайма [2, с. 293] с изменяющейся по высоте капиллярной влажностью (КВ). Выше капиллярной влагоемкости образуется влагоемкость ППВ (или НВ - для почвы)*¹ соответствующая свойствам почвы и подпочвы. На уровне УГВ влажность соответствует полной влагоемкости (ПВ) почвы и подпочвы. В контактном слое (K_1) влажность меняется скачкообразно между слоями.

Расходование влаги из почвы (выше слоя K_1) на физическое испарение (E_1) и эвапотранспирацию (E_2) растениями (суммарное испарение $E = E_1 + E_2$) приводит к перераспределению влаги в почве, при этом происходит обособление (иссушение) верхнего слоя (3...7 см) [3].

В бездождный период идет убывание влаги из почвы за счет преимущественно эвапотранспирации, исчезает УГВ₁. Дальнейшее убывание влаги приводит к ее уменьшению в почве (менее НВ)*¹ это убывание по глубине неравномерно. С развитием корневой системы потребление влаги происходит и из нижних слоев почвы, но медленнее (на контактном слое). За предельную кривую влажности почвы следует считать кривую, соединяющую (ВЗ...ВРК), так как влажность почвы под кривой считается труднодоступной [2, с. 611]. Суммарное потребление воды из почвы идет с различной интенсивностью, но постоянно. Если длительное время не выпадают осадки, то отбор

влаги корнями растений проявляется и на влажности подпочвенных слоев грунта. При длительном отсутствии осадков кривые влажности грунта в подпочве имеют общие с почвенным слоем очертания, но с особенностями, определяемыми влиянием УГВ и структурой подпочвенного грунта. При отборе влаги корнями растений из подпочвы УГВ может длительное время оставаться на одной и той же отметке (если отток воды из дренажа прекращен), поэтому кривая, связывающая КВ и НВ трансформируется в кривую связи КВ и ВРК, а затем в КВ и ВВ значительно медленнее, а последняя связь (КВ.. ВЗ) бывает весьма редко.

Если же УГВ опускается на некоторую глубину, то все кривые связи опускаются на одну и ту же величину (отметим, что с приближением УГВ к отметке заложения дрен будет наблюдаться трансформация кривых в иные формы). Существенное значение имеет свойство контактного слоя (K_r). Количество корней ниже этого слоя окажется значительно меньше, чем в верхнем (в слое почвы), так как практически все питательные вещества находятся в почвенном слое. Тем не менее, снижение влаги в подпочве будет продолжаться в вегетационный период, если осадки не будут проникать ниже контактного слоя. Снижение влажности в подпочве до ВРК маловероятно вообще, а в наших опытах (в течение трех лет) не наблюдалось никогда.

Приведенный анализ режима влажности почвы и подпочвы лежит в основе пояснений к полученному результату в наших опытах.

Подъем и понижение уровня грунтовых вод (УГВ), который создает необходимый режим влажности почвы на осушительно-увлажнительных системах, должен обладать необходимым быстрым действием. Медленное повышение УГВ к почвенному слою и длительное его удержание без сброса воды создает условие, замедляющее или даже ликвидирующее положительный эффект от увлажнения почвы, так как основная масса корневой системы растений размещается в этом слое и она длительное время оказывается в условиях высокой влажности и низких температур. Быстрое понижение УГВ при открытии затвора может вызвать оплывание откосов каналов фильтрационным током; влажность подпочвы также резко меняется.

Понижение УГВ должно быть достаточно медленным, чтобы не опережать значительно развитие корневой системы растений.

С целью проверки различных режимов подъема и опускания УВ и УГВ были проведены полевые опыты на моделирующем сооружении

в осушительном канале (Витебское экспериментальное хозяйство - ВЭХ, Сенненский р-н, канал К-1 с присоединенными коллекторами дренажной системы. - 1989.)

Моделирующее сооружение состояло из бетонной перемычки в канале. Ниже перемычки было сооружение с коробчатым затвором. В перемычке, у ее дна, была встроена задвижка (рис. 2,D) (проект "Белгипровод-хоз"). На гребне перемычки было небольшое трапецидальное понижение для перелива высоких вод; полностью сбросить воду из-за перемычки (из канала) можно было только через открытую задвижку. Вода заполняла канал почти до верха перемычки, но через верх в летнее время не переливалась, так как часть притекающей воды фильтровалась под перемычкой при высоком уровне в верхнем бьефе. Попадание воды происходило за счет дренажной воды, поступающей из коллекторов дренажной системы площадью 34 га. Впоследствии площадь водосбора увеличилась в связи с продолжением канала К-1 в замкнутый водосбор (понижение, ранее перекрытое дорожной насыпью).

Закрытие задвижки прекращало сброс воды, благодаря чему медленно снижающийся уровень воды в канале приводил к понижению УТВ. Такое функционирование дубль-сооружения позволяет регулировать влажность почвы с помощью УГВ по заранее заданному режиму.

Основные измерения, связанные с перемычкой на канале, проведены при площади дренирования 34 га (рис. 3).

Регулирование УГВ на площади 34 га было вначале решено провести с помощью коробчатого затвора. Опускание затвора и вращение редуктора было осуществлено с большим трудом из-за длительного бездействия подъемника. Подъем-опускание затвора с целью регулирования уровня воды в канале (выше по течению) и соответственно УГВ пришлось прекратить, так как утечки через плохо подогнанные уплотнители были столь велики, что перед затвором набиралось весьма мало воды. При открытии затвора на 3...5 см вода быстро уходила в нижний бьеф.

В канал К-1 поступал поверхностный и дренажный сток. Определенно можно было установить площади, обслуживаемые коллекторами, их было четыре и только по правой стороне канала (по направлению течения). Однако коллектор Кл-1 после устройства перемычки (перемычка существует до сих пор, но из-за фильтрации воды в ее основании она уже не держит воду в верхнем бьефе) был постоянно в подтопленном состоянии, Кл-2 был подтоплен только при высоком

*) Обозначение влажностей принято по работе [2]: НВ - наименьшая влагоемкость (\approx ППВ - предельная полевая влагоемкость); ВЗ - влажность завядания; ВРК - влажность разрыва капилляров.

уровне воды в канале, в Кл-3 и Кл-4 постоянно можно было замерять расходы (объемным способом), на подпор воды от перемычки не достигал их устья. В связи с отмеченными обстоятельствами объем воды перед перемычкой определялся не по объему притока, а по геометрическому объему канала в верхнем бьефе (выше перемычки). Уровни грунтовых вод (УГВ) на площадях, обслуживаемых коллекторами Кл-2 и Кл-3, замерялись бурением скважин почвенным буром в день проведения опытов. Последующие скважины бурились вблизи прежней площадки, а после замера УГВ они забивались грунтом. Эти условия замеров внесли, очевидно, некоторый разброс по глубине определения УГВ, но он, полагаем, был несущественным, так как площадки стояли друг от друга не более, чем на 3 м.

Объем воды в период проведения опытов в верхнем бьефе составлял 354 м³. Замерялись, однако, не объемы, а уровни воды в верхнем бьефе, поскольку они определяли УГВ на дренируемой площади.

Уровни и расчетные объемы воды в канале представлены на схеме (рис.2) и в табл. 1.

Таблица 1

**Уровни и объемы воды в верхнем бьефе (от перемычки)
в канале К-1. (ВЭХ, 1987 г.).**

№№ призм напол- нения	Объемы волы в призмах. м	Объемы волы нарастающим итогом. м	№№ призм наполнения	Объемы волы в призмах. м	Объемы волы на- растающим итогом. м
1	125,3	125,3	4	41,2	323,4
2	92,5	217,8	5	23,1	346,5
3	64,4	282,2	6	7,5	354,0

В табл.2 содержатся модули стока и объемы в канале К-1 за весенний и осенний месяцы, которые замерялись при открытой задвижке в весенний и осенний периоды: в летнее время проводились опыты по ступенчатому и разовому сбросу воды из верхнего бьефа. Как видно из табл. 2 в весенний период расходы убывали, в осенний - возрастали. Разовые сбросы при открытой задвижке производились после таяния снега в конце первой декады апреля. Сработка объема воды отмечалась по рейке, установленной у перемычки, и по времени сработки. На графике $h_i = f(t_i)$, где t - время, h_i - уровни. Отмечена аномалия; на кривой экспоненциального типа выделен участок (а-б). Он возник из-за надвинутого гидравлического прыжка, последовавшего

за отогнанным в начальный период (при высоких напорах). Затем наблюдался свободный сток (без образования прыжка, в-г); расход постепенно уменьшался при том же открытии задвижки и продолжался неопределенно долго очевидно из-за дотекания из почвы и непрерывающегося стока из коллекторов. Объем воды за перемычкой (в верхнем бьефе) собирался достаточно быстро весной и осенью, а также при затяжных дождях, так как дно канала было выровнено, но на небольшую длину (20 м), а затем дно канала продолжалось с большим подъемом (с уклоном 0,024). На рис. 3 представлена схема заполненного верхнего бьефа с разделением по слоям высотой каждый 0,25 м. Предполагалось, что при проведении опытов будет последовательно сбрасываться объем воды ступенчато в шесть открытий задвижки, а в период между открытиями должны были замеряться УГВ на площади, обслуживаемой коллектором К_л-2. Однако из-за малой емкости верхнего бьефа такие попытки провести опыт не удалось. Из-за малой емкости предполагаемого сброса воды (из одного слоя) и медленного открытия задвижки невозможно было уловить по рейке соответствующий уровень. Однако удалось провести опыт по сбросу первой, а затем второй половины высоты напора перед перемычкой.

Таблица 2

**Сток воды по каналу К-1 в весенний
и осенний периоды (ВЭХ, 1987 г.)**

Даты замера	Количество суток между замерами	Модуль (средний) за период, мл/с. га	Объем воды за период, тыс.м	Объем воды за 1 сут., м
13.04-21.04	8	127,33	2,993	374,13
21.04-13.05	22	36,11	2,334	106,1
13.05-18.05	5	17,51	0,257	51,4
18.05-26.05	8	9,945	0,234	29,3
26.05-28.05	2	13,22	0,078	39,0
ИТОГО:			5,896	
28.08-10.09	13	22,75	0,869	66,8
10.09-15.09	5	28,19	0,414	82,8
15.09-22.09	7	33,37	0,686	98,0
22.09-24.09	2	41,37	0,243	121,5
24.09-29.09	5	49,76	0,731	146,2
29.09-05.10	6	56,03	0,988	164,7
ИТОГО:			3,931	

Примечание. Размерность в миллилитрах.

Методом многократных проб было установлено количество поворотов маховика задвижки, при котором надвинутый прыжок исчезал через некоторое время, и устанавливался свободный сток; весь сток продолжался около 7 часов.

При общем объеме воды в верхнем бьефе 354 м³ и при опускании уровня от $H=1,5$ м до половины напора (до 0,75 м) вытекший объем воды составлял 282 м³, а до дна (от 0,75 м) 72 м³. Большая часть объема вытекла за 3 часа, меньшая - за последующие 4 часа; дотекание продолжалось за пределами времени проведения опыта. Замеры УГВ на площади, обслуживаемой коллектором K_d-2 , проводилось после каждого часа сброса воды. После сброса воды до отметки 0,75 м делался перерыв на 2,5 суток. Затем был сброшен оставшийся объем, и также были проведены замеры уровней через 3,5 суток. Установлено, что после первого сброса (до отметки 0,75) УГВ опустился на 20...25 см, а после второго сброса еще на 7... 10 см. При таком времени перерыва процесс понижения УГВ не достиг установившегося движения, шло выравнивание кривой депрессии. После второго перерыва также не было достигнуто установившегося движения, но в опыте четко было зафиксировано понижение УГВ с замедлением. На рис. 3 точками (для шкалы h_i) отмечены зафиксированные уровни грунтовой воды (УГВ) при двухступенчатом сбросе воды из верхнего бьефа дубль-сооружения с задвижкой (D, рис.2), приведенные данные опытов относятся к подпочвенному грунту, т.е. ниже контактного слоя K_r , который также был зафиксирован. Из рис.3 следует, что УГВ был понижен от отметки $h_1 \approx 0,75$ до отметки $h_1 \approx 1,15$, т.е. примерно в диапазоне 40 см. это позволяет говорить о том, что регулирование УГВ возможно и в пределе почвенного слоя, хотя мы считаем, что этот вопрос требует проверки. Возможно, что не следует усложнять конструкцию системы и ограничиться регулированием влажности в подпочве, учитывая более высокую способность капиллярного поднятия контактного слоя (K_r). Для глубоководных торфяников контактный слой практически не наблюдается и при подъеме УГВ может подниматься (кратковременно) в слой почвы. В подпочве дубль-сооружение позволит регулировать режим влажности практически вблизи величины НВ или в пределах НВ...ВРК (не ниже).

Таким образом, опыт подтвердил, что дубль-сооружение позволяет понижать УВ и УГВ ступенчато. При более тщательном проведении опытов можно, очевидно, зафиксировать и влияние медленно снижающегося УГВ на корневую систему растений, а также добиться

плавного снижения УГВ в соответствии со скоростью распространения корневой системы в подпочве.

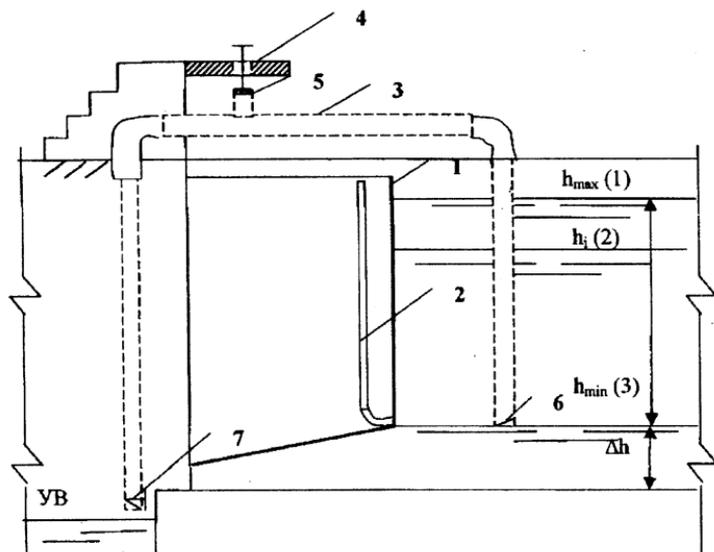


Рис.1. Управление УВ и УГВ при отсутствии (или низком) УВ в нижнем бьефе

1 - щит; 2 - мерная рейка; 3 - сифон (подземн. трубопровод); 4 - мостки; 5 - патрубок с пробкой для залива сифона; 6 - клапан; 7 - вентиль; (1), (2), (3) - УВ в верхнем бьефе; Δh - объем сброса воды при поднятии щита.

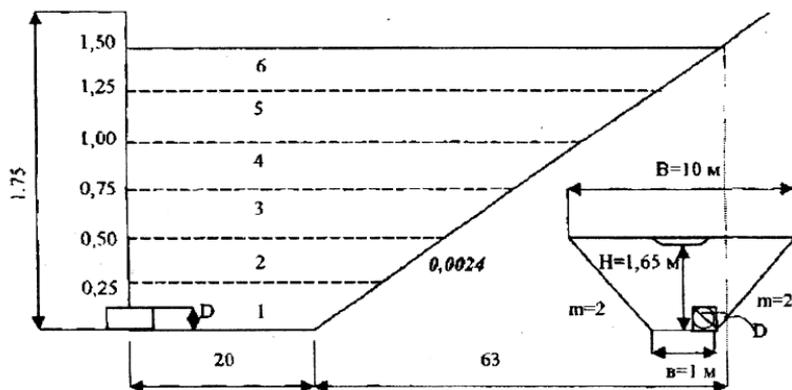


Рис.2. Схема наполнения водой верхнего бьефа

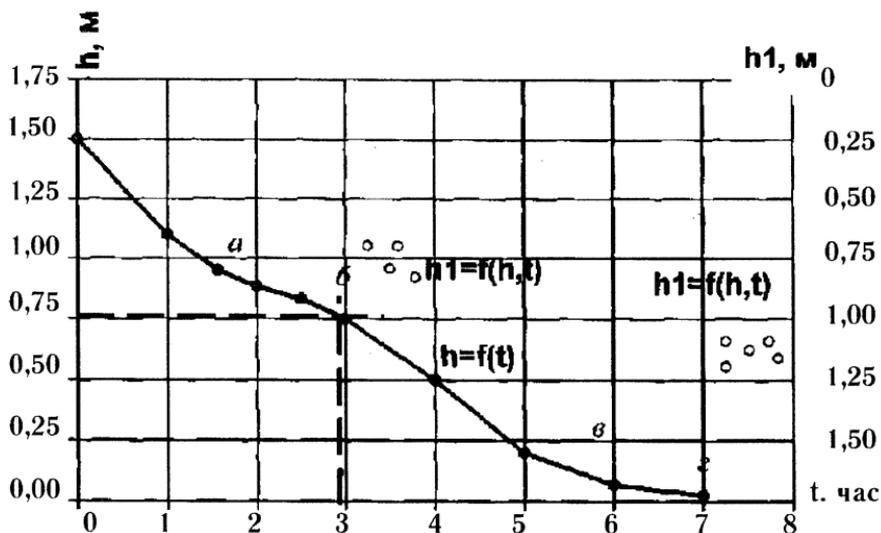


Рис. 3. Кривая сброса воды из верхнего бьефа
 h - уровни воды в канале (м); h_1 - глубины замеренных влажностей почвы (м)

Лабораторные исследования деформаций дамб шламохранилищ на подрабатываемых территориях Гатилло С.П., Корбут О.Б. (БГПА)

В процессе отработки и обогащения полезных ископаемых на поверхности земли формируются отвалы и хвостохранилища, образованные дамбами обвалования. Как правило, участки земной поверхности, на которых расположены хвостохранилища, в ходе дальнейшего развития горных работ подрабатываются и оседают, что может вызвать нарушение устойчивости дамб.

Для изучения их деформаций были выполнены серии опытов на крупномасштабных моделях дамб, отсыпанных из песков Старобинского месторождения калийной соли в стеклянные лотки [1]. Осадка основания вследствие подработки моделировалась опусканием деревянных площадок в основании дамб в специальные оставленные пустыми траншеи на дне лотка. По гребню и на поверхности откосов дамб закладывались осадочные марки.