

УДК 626.80

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМ РЕЖИМОМ ОСУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

В. И. КУМАЧЕВ, А. Н. МЕДВЕДНИКОВ, Д. А. ЛИСС

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Беларусь, 213407

(Поступила в редакцию 12.01.2017)

Описаны новые способы управления, позволяющие устранить основные противоречия при работе регулирующей сети на осушение и увлажнение. Предлагается повышение эффективности работы систем управленческими средствами, вместо значительных затрат на их реконструкцию. В частности, девиационное управление позволяет увеличить расстояние между регулирующими каналами, что дает возможность легче создать разные уровни на соседних участках при разных задачах управления. Легче поддерживается и необходимый уровень в регулирующих каналах из-за уменьшенных максимальных отклонений. Данный способ позволяет в случаях реконструкции гидромелиоративных систем на системы двустороннего действия обходиться, в отдельных случаях, существующей осушительной сетью. Для осуществления управления по способу управления с предварением необходимо более точно измерять уровень грунтовых вод, что может быть осуществлено по [10]. Выполнен ряд преобразований, позволяющих по новому посмотреть на подходы к регулированию уровня грунтовой воды.

Ключевые слова: способы управления, двустороннее регулирование, осушение и увлажнение, уровень грунтовых вод, регулирующие каналы, осушительная сеть.

We have described new management methods that allow eliminating the main contradictions in the operation of regulating network for drainage and moistening. It is proposed to increase the efficiency of systems by management means, instead of considerable expenses for their reconstruction. In particular, deviation control allows increasing the distance between control channels, which makes it easier to create different levels in neighboring sections for different control tasks. It is also easier to maintain the required level in control channels due to reduced maximum deviations. This method helps, in cases of reconstruction of irrigation and drainage systems into bilateral systems, to use, in some cases, the existing drainage network. To implement control by the method of advance control it is necessary to more accurately measure the level of groundwater. A number of transformations have been made, allowing a new look at approaches to regulating groundwater levels.

Key words: management methods, two-way regulation, drainage and moistening, groundwater level, regulating channels, drainage network.

### Введение

Важным направлением деятельности человечества является гидротехническая мелиорация. С ростом населения Земли во многих странах мелиорация позволила создать значительные дополнительные площади сельскохозяйственных земель, обеспечивающих этим странам надежную продовольственную базу. В то же время устройство гидромелиоративных систем требует больших материальных затрат и соответственно высокой отдачи в процессе эксплуатации. В настоящее время существующие гидромелиоративные системы (ГМС) обладают невысокой эффективностью. Это наиболее заметно в странах, имеющих в сельскохозяйственном обороте большой процент мелиорированных земель. Недостаточно эффективны ГМС и в Беларуси, где из общей площади сельскохозяйственных угодий 9,3 млн гектаров (около 30 %) обслуживаются гидромелиоративными системами.

Одним из известных видов управления по УГВ является периодическое изменение уровня грунтовых вод от минимально допустимых норм осушения до максимально возможного подъема за счет соответствующего изменения подпора уровня воды в регулирующей сети. Этот вид управления является активным, но по согласованности с необходимым режимом уровней грунтовых вод – «слепым». При этом управлении неизбежны большие колебания влажностного режима почвы, что существенно снижает урожайность. Это относится и к аналогичным предложениям с вертикальными ГМС. Вторым известным видом управления по УГВ является задание на входе в объект управления постоянного значения управляющего воздействия (рис. 1).

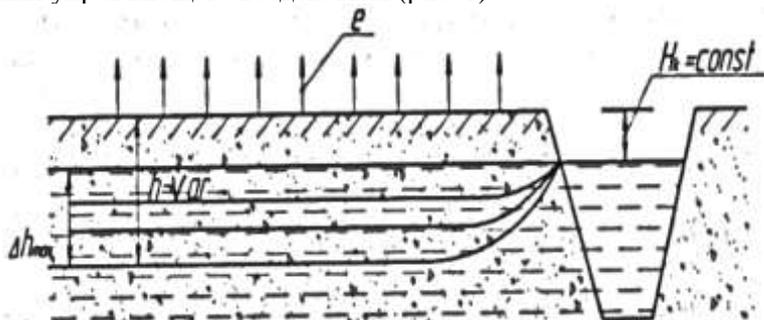


Рис. 1. Регулирование уровней грунтовых вод при постоянном уровне воды в канале

Этот вид управления является простейшим. Его легко осуществить вручную или гидроавтоматом прямого действия. Данный вид управления реализован в практике в способе регулирования, описанном в [1]. Данный способ допускает большие колебания уровня грунтовых вод при изменении транспирации и испарения или выпадении осадков, т. е. обладает низкой точностью регулирования. Так, транспирация и испарение с поверхности почвы понижает УГВ. При этом большой расход на транспирацию и испарение требует для его компенсации большого бокового притока воды из регулирующего канала, что возможно в условиях постоянного уровня в каналах только при значительном понижении уровня гравитационной воды в грунте (рис. 1). Последнее приводит к тому, что значение глубины стояния поверхности грунтовых вод становится больше, чем заданное значение нормы осушения, что ухудшает подпитывание корнеобитаемой зоны растений и приводит к отрицательным результатам влияния на урожайность [2]. Приведенный вид управления является пассивным, и для достижения необходимой точности регулирования уровня грунтовых вод необходима высокая степень самовыравнивания, что может быть достигнуто только сгущением регулирующей сети, а это усугубляет противоречия при работе ГМС на осушение и увлажнение.

### Основная часть

При проведении исследований использовались теоретические методы теории управления, предъявляемые к регулированию водного режима. На основании анализа и составления существующих конструкций производился синтез и отбор технических решений, повышающих качество и точность измерения УГВ.

### Девиационное управление

В [9] получено следствие о необходимости непрямого автоматического регулирования в техническом решении задач управления. При регулировании с максимальной точностью соответствующая схема регулирования имеет вид (рис. 2, б). Способ представляет собой активное изменение уровня воды в канале в зависимости от стохастически изменяющегося расхода на транспирацию и испарение или притока в грунтовые воды от выпадающих осадков. В результате значение  $h$  в межканальном пространстве стремится к точно заданному значению, а в небольшой приканальной полосе  $h$  может превышать (а при компенсации действия осадков – быть ниже заданных уровней грунтовых вод). Ввиду того, что процесс управления активен и осуществляется внешними средствами, то способ может быть осуществлен при минимальном положительном самовыравнивании мелиоративного объекта, так как в данном способе оно не используется, и, следовательно, при увеличенных расстояниях между регулирующими каналами, максимальное значение которых может ограничиваться уже только другими факторами. Оценивая этот подход на основе теории управления [3], приходим к следующему. Указанное регулирование технически сложно реализовать, так как отклонения уровня грунтовых вод предполагается равным нулю, что невозможно для систем, работающих на принципе отклонения; а для систем, работающих на принципе возмущения, невозможно автоматически замерять все составляющие водного баланса с той же необходимой максимальной точностью [4]. Кроме того, при больших нагрузках объекта управления [9] способ потребует недопустимо высоких уровней воды в регулирующих каналах. В [9] получено, что устойчивый режим УГВ может быть достигнут пропорциональным регулированием. Этот способ является более совершенным, так как он позволяет осуществить регулирование с допустимой точностью (рис. 2, а). Способ аналогичен вышеописанному, но не имеет, как предыдущий, жестких требований по техническому осуществлению. В способе на основе измерения УГВ используется активное управление и положительное самовыравнивание объекта. Последнее используется в пределах зоны нечувствительности регулятора, а за ее пределами – лишь частично. В данном способе колебания УГВ происходят в пределах допустимой зоны, а колебания уровня в регулирующем канале значительно уменьшены по сравнению с предыдущим способом. В таком управлении основная часть межканального пространства находится в условиях, предельно близких к заданным, а приканальная полоса находится в условиях лишь незначительного отклонения от заданного УГВ.

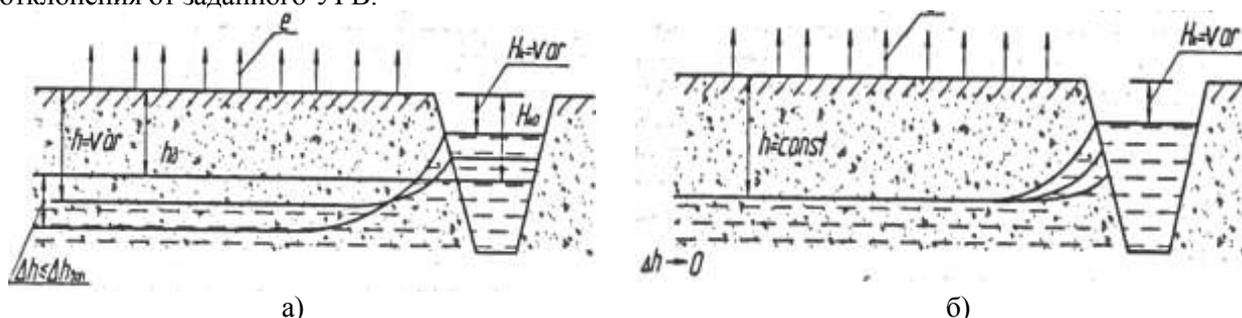


Рис. 2. Регулирование уровней грунтовых вод: а) непрямым способом с допустимой точностью, б) непрямым способом с максимальной точностью

Способ осуществляется следующим образом. При отсутствии осадков и испарения поверхность грунтовых вод находится на заданной глубине  $h_0$  (рис. 2, а). При этом поверхность воды в регулирующем канале находится на глубине  $H_{к0}$  от уровня бровки канала. Эта глубина  $H_{к0}$  может быть равна  $h_0$ , если с участка или на участок нет постоянно действующих притоков-оттоков с соседних территорий (участков) или грунтово-напорного питания. При наличии указанных притоков-оттоков их постоянное влияние учитываем коэффициентом усиления мелиоративного объекта  $K_{об}$  по каналу управления:

$$H_{к0} = K_{об} h_0. \quad (1)$$

При этом стабильное значение  $H_{к0}$ , отвечающее условиям отсутствия испарения и осадков, будет несколько отличаться от  $h_0$ .  $K_{об}$  можно определить экспериментальным методом автора [5].

При наличии осадков или испарения стабильное положение УГВ нарушается. Например, при испарении  $e$  глубина  $h$  поверхности грунтовых вод начинает увеличиваться (рис. 3, а). Как только появилось начальное отклонение (девиация)  $\Delta h_1 = h_1 - h_0$ , которое намного меньше  $\Delta h_{max}$  (рис. 1), то в соответствии с отклонениями  $\Delta h_1$  синхронно, но в обратном направлении осуществляется управляющее изменение  $\Delta H_{к1}$  уровня воды в регулирующей сети (рис. 3, а):

$$\Delta H_{к1} = -K \cdot \Delta h_{1,2} \quad (2)$$

где  $K$  – коэффициент усиления управляющего устройства.

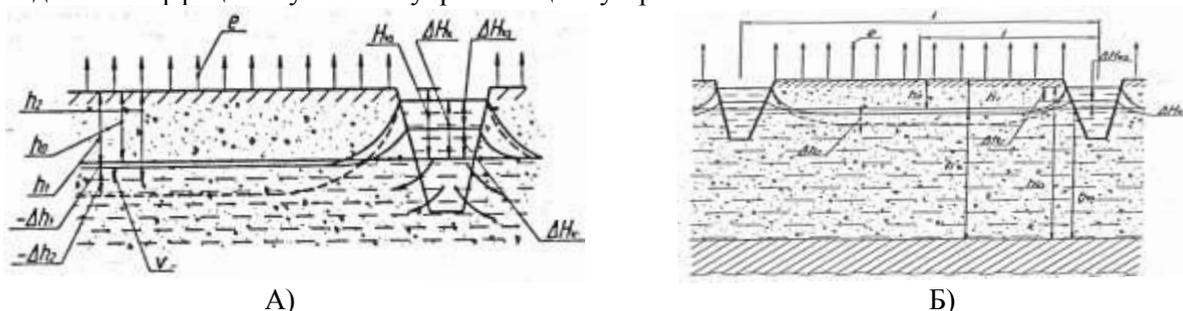


Рис. 3. Расчетная схема: а) к девиационному управлению уровнем грунтовых вод; б) к определению физического смысла параметра  $K$ .

Изменение уровня в канале  $\Delta H_{к1}$  прекращают, как только перестанет изменяться отклонение  $\Delta h_1$ . В итоге система приходит в равновесие – приток из регулирующего канала в зону грунтовых вод становится равным оттоку из зоны грунтовых вод на испарение. Происходит стабилизация УГВ. При этом сохраняется образовавшееся отклонение  $\Delta h_1$ , величина которого тем больше, чем меньше  $K$  при постоянном  $e$  или чем больше расход (интенсивность) испарения  $e$  при  $K = const$  (аналогично интенсивность осадков  $P$ ).

#### Управление с предварением

Для дальнейшего улучшения управления УГВ предложенным способом в него вносим в соответствии с [9] следующие существенные дополнения. Чтобы в предложенном способе исключить увеличение остаточного отклонения в условиях возникновения значительных возмущений, используем то явление, когда при значительных возмущениях (большой интенсивности осадков или испарения) с самого начала изменения УГВ он изменяется со значительной скоростью  $V$ , хотя отклонение  $\Delta h$  еще очень мало. Для этого управляющее изменение уровня воды в регулирующем канале  $\Delta H_{к}$  осуществляем не только пропорционально измеренному отклонению  $\Delta h$ , но и пропорционально скорости его изменения  $V = \frac{\Delta h}{\Delta t}$ , где  $\Delta h$  – возникшее начальное отклонение,  $\Delta t$  – время, за которое возникло это отклонение. В пределе  $\Delta h$  бесконечно мало и  $V = \frac{dh}{dt}$ . Тогда в этом случае управляющее изменение уровня в регулирующем канале  $\Delta H_{к2}$  (рис. 3, а) создается еще при предельно малом  $\Delta h_1$ , близком к нулю, но уже при значительной скорости изменения УГВ, предвидя (предупреждая) таким образом возникновение недопустимых значений отклонения  $\Delta h_2$  (рис. 3, а) по скорости  $V$  изменения УГВ. Аналогично выражению  $\Delta H_{к1}$  получим выражение для  $\Delta H_{к2}$ :

$$\Delta H_{к2} = -K \cdot \Delta h_2. \quad (3)$$

Определим  $\Delta h_2$ , выразив его через скорость  $V$ . Так как  $V = \frac{dh}{dt}$ , то  $dh = V dt$  и  $\int_{h_1}^{h_2} dh = \int_0^{t=T_2} V dt$ . Отсюда:

$$\Delta h_2 = V \cdot T_y, \quad (4)$$

где  $T_y$  – время, за которое может возникнуть это  $\Delta h_2$ ;  $\Delta h_2$  – время предвидения отклонения (время упреждения).

В результате управляющее изменение уровня воды в регулирующей сети  $\Delta H_k$  складывается из  $\Delta H_{k1}$  и  $\Delta H_{k2}$  (рис. 3, а):

$$\Delta H_k = \Delta H_{k1} + \Delta H_{k2}, \quad (5)$$

где  $\Delta H_{k1} = -K \cdot \Delta h_1$ , а  $\Delta H_{k2} = -K \cdot \Delta h_2$ . Тогда:

$$\Delta H_k = -K \cdot \Delta h_1 + \Delta h_2. \quad (6)$$

Подставив значение  $\Delta h_2$  и опустив за дальнейшей ненужностью индекс 1 при  $\Delta h_1$ , получаем зависимость, лежащую в основе описанного способа регулирования УГВ:

$$\Delta H_k = -K \cdot \Delta h + V \cdot T_y. \quad (7)$$

Для более полного раскрытия смысла  $T_y$  и определения его значения получим выражение для  $\Delta h_2$ . Чтобы исключить усложнения вывода выражения  $\Delta h_2$ , примем в выражении (3)  $K=1$ . Тогда (рис. 3, б), возможное отклонение  $\Delta h_2$  компенсируется равным ему по величине управляющим изменением уровня в канале  $|\Delta H_{k2}| = |\Delta h_2|$ . При этом компенсирующий расход подачи обеспечивается действующим фильтрационным напором  $\Delta h_2$  (равным  $\Delta H_{k2}$ ), возникающим в зоне грунтовых вод непосредственно у стенки регулирующего канала (рис. 3, б), и УГВ остается на неизменной глубине  $h_1$  от поверхности земли.

Обозначим стабилизируемую глубину грунтовых вод относительно водоупора посредине межканального пространства через  $h_b$  (рис. 3, б); начальную глубину грунтовых вод вблизи канала через  $h_{B1}$ ; конечную глубину грунтовых вод у канала, создающую напор, компенсирующий возникший расход на испарение –  $h_{B2}$ . Расход  $q_1$ , подаваемый в зону грунтовых вод из канала за счет  $\Delta H_{k1}$ , для компенсации ранее возникшего расхода на испарение  $q_{e1}$ , определим по уравнению Де Пюи (из расчета на единицу длины канала):

$$q_1 = \frac{h_{B1}^2 - h_b^2}{2l} \cdot K_\phi. \quad (8)$$

С двух соседних каналов:

$$2q_1 = \frac{h_{B1}^2 - h_b^2}{l} \cdot K_\phi. \quad (9)$$

Этот расход компенсирует возникший ранее расход  $q_{e1}$  на испарение интенсивности  $e_1$  на полосе межканального пространства шириной 1 м и длиной L:

$$q_{e1} = e_1 \cdot L. \quad (10)$$

Приняв  $l = \frac{1}{2} \cdot L$  и приравняв указанные расходы  $2q_1 = q_{e1}$ , имеем

$$\frac{2 \cdot h_{B1}^2 - h_b^2}{L} \cdot K_\phi = e_1 \cdot L; \quad (11)$$

или

$$\frac{2 \cdot h_{B1}^2 - h_b^2}{L^2} \cdot K_\phi = e_1. \quad (12)$$

При этом УГВ стабилизирован на глубине  $h_1$  от поверхности земли и  $h_b$  от водоупора.

При увеличении интенсивности испарения до  $e_2$  суммарный расход, обеспечивающий за счет  $\Delta H_{k1} + \Delta H_{k2}$  (рис. 3, б) стабилизацию УГВ на полосе шириной 1 м на глубине  $h_1$ , определяется так:

$$q = \frac{2 \cdot h_{B2}^2 - h_b^2}{L} \cdot K_\phi. \quad (13)$$

Приравниваем его к общему увеличившемуся расходу на испарение интенсивностью  $e_2$  с полосы длиной L и шириной 1 м.

$$\frac{2 \cdot h_{B2}^2 - h_b^2}{L} \cdot K_\phi = e_2 \cdot L; \quad (14)$$

или

$$\frac{2 \cdot h_{B2}^2 - h_B^2}{L^2} K_\phi = e_2. \quad (15)$$

Вычтем из выражения (15) выражение (12). Получаем:

$$e_2 - e_1 = \frac{2 \cdot h_{B2}^2 - h_B^2}{L^2} K_\phi - \frac{2 \cdot h_{B1}^2 - h_B^2}{L^2} K_\phi; \quad (15a)$$

или

$$\Delta e = \frac{2 \cdot h_{B2}^2 - h_{B1}^2}{L^2}. \quad (16)$$

Так как возникновение изменения  $\Delta e$  интенсивности испарения  $e$  вызывает выход УГВ из состояния стабилизации на глубине  $h_1$  т.е. УГВ получает за счет  $\Delta e$  скорость  $V$  изменения УГВ, то можно записать:

$$\Delta e = V\delta, \quad (17)$$

где  $\delta$  – свободная порозность (водоотдача) грунта. Тогда:

$$V\delta = \frac{2 \cdot K_\phi \cdot h_{B2}^2 - h_{B1}^2}{L^2}. \quad (18)$$

Разложим бином  $h_{B2}^2 - h_{B1}^2$ . Это  $h_{B2}^2 - h_{B1}^2 = h_{B2} - h_{B1} \cdot h_{B2} + h_{B1}$ . Ввиду рекомендаций преимущественного использования осушительно-увлажнительных систем в условиях залегания водоупора на глубине, значительно превышающей глубину регулирующей сети, сумма  $h_{B2} + h_{B1}$ , с достаточной для практики точностью заменяется величиной  $2T_\Gamma$ , где  $T_\Gamma$  – средняя во времени и пространстве глубина поверхности грунтовых вод относительно водоупора. Откуда  $h_{B2}^2 - h_{B1}^2 = \Delta h_2 \cdot 2T_\Gamma$ . Тогда:

$$V\delta = \frac{4 \cdot K_\phi \cdot h_2 \cdot 2T_\Gamma}{L^2}. \quad (19)$$

Из последнего равенства определим  $\Delta h_2$ :

$$\Delta h_2 = \frac{L^2 \cdot V \cdot \delta}{4 \cdot K_\phi \cdot T_\Gamma}. \quad (20)$$

Выражение  $\frac{L^2 \cdot V}{4 \cdot K_\phi \cdot T_\Gamma}$  имеет размерность времени, обозначим его  $T_y$ . Тогда:

$$\Delta h_2 = V \cdot T_y. \quad (21)$$

В описанном способе регулирования УГВ  $T_y$  является временем упреждения возмущающего воздействия испарения или осадков и численно равно времени стабилизации грунтового потока [6].

Функциональная схема системы, осуществляющей автоматическую стабилизацию УГВ по предложенному способу, имеет вид, как показано на рис. 4, а. В схеме использованы известные устройства [7]. Система состоит из следующих звеньев. Звено 1 является обратной связью (ОС), осуществляемой датчиком УГВ, выполненным, например по [8], который дает оперативную информацию об изменяющемся УГВ и преобразует УГВ в пропорциональный ему электрический сигнал.

Звено 2 – задающее устройство, сигнал  $\Delta h_0$  на выходе которого является заданным значением УГВ. Звено 3 – сравнивающий элемент, в котором действительное оперативное значение УГВ сравнивается с заданным и на выходе выдается сигнал  $\Delta h$  отклонения УГВ с течением времени от заданного. Блок 4 является блоком усиления. Этот блок осуществляет изменение управляющего уровня воды в регулирующем канале в  $K$  раз в обратном по знаку соответствии с поступающим в него сигналом  $\Delta h$  действительного отклонения УГВ от заданного или возможного отклонения  $\Delta h_2$ .

Блок 5 является звеном дифференцирования. Поступающий в него сигнал  $\Delta h$  отклонения УГВ во времени от заданного преобразуется в производную  $\frac{dh}{dt} = V$ . Звено 6 – блок перемножения. В нем осуществляется операция умножения двух входных сигналов – переменного сигнала  $V$  и

постоянного сигнала  $T_y$ , что в результате дает их произведение  $\Delta h_2$ . Звено 7 является межканальным пространством мелиоративного объекта, в котором датчик УГВ расположен посередине расстояния между регулируемыми каналами. Выходным сигналом этого звена является  $h$  – уровень грунтовых вод. Конкретный процесс управления, рассчитанный по формуле (7), изображен на рис. 4, б. При

отсутствии осадков и испарения поверхность грунтовых вод находится на постоянной заданной глубине  $\Delta h_0$ . Поверхность воды в регулирующем канале находится также на постоянной глубине  $H_{k0}$ . При этом  $H_{k0} = K_{об} \cdot h_0$ . При появлении осадков или испарения равновесие системы нарушается. Например, при действии испарения уровень грунтовых вод начинает понижаться по кривой 3. Отрицательное значение  $\Delta h$  увеличивается. При достижении значения  $h$  нижней границы диапазона нечувствительности (ДН на рис. 4, б) задающего устройства (ЗУ, 2 на рис. 4, а) на выходе звена 3 появляется сигнал отклонения  $\Delta h = h - h_0$ , который, проходя через звенья 4, 5, 6 (рис. 4, а), преобразуется по зависимости  $\Delta H_k = -K \cdot \Delta h + V \cdot T_y$  в управляющее изменение уровня воды  $\Delta H_k = \Delta H_{k1} + \Delta H_{k2}$  в регулирующем канале. При этом УГВ начнет изменяться по кривой 1, оставаясь в пределах допустимых значений  $\Delta h_{доп}$ , (рис. 4, б), вместо кривой 3, по которой он изменялся бы, если бы не было управляющего изменения уровня  $\Delta H_k$  в регулирующем канале. Кривая 4 показывает долю  $\Delta H_{k1}$  и  $\Delta H_{k2}$  в общей величине управления  $\Delta H_k$ .  $\Delta H_{k1}$  – доля управляющего изменения уровня в канале, пропорциональная отклонению  $\Delta h$ ,  $\Delta H_{k1} = -K \cdot \Delta h$ , а  $\Delta H_{k2}$  – доля управляющего изменения уровня воды в канале, пропорциональная скорости  $V$  изменения отклонения,  $\Delta H_{k2} = -K \cdot T_y \cdot V$ .

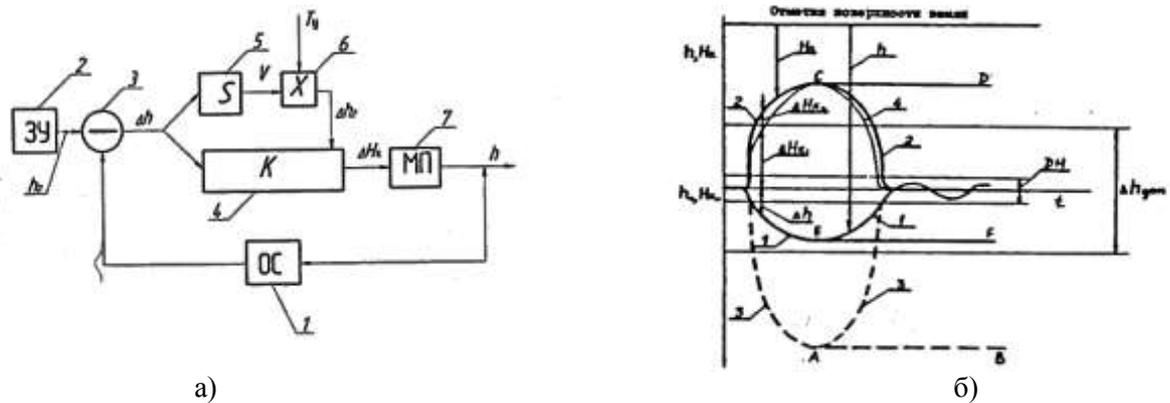


Рис 4. а) Функциональная схема системы регулирования УГВ с упреждением возмущающих воздействий, б) кривые процесса управления уровнями грунтовых вод системой с упреждением

Если бы отклонение УГВ начало само (т. е. без стабилизации) со временем уменьшаться (правая ветвь кривой 3), то управляющее изменение  $\Delta H_k$ , соответствующее этому случаю, будет уменьшаться (правая ветвь кривой 2). При этом действительное изменение УГВ пойдет в соответствии с правой ветвью кривой 1, приходя внутрь ДН. Если же отклонение УГВ пошло бы без стабилизации по АВ, то управляющее изменение  $\Delta H_k$ , соответствующее данному случаю, будет в соответствии с кривой 2 осуществляться по ветви СД, что вызовет действительное изменение УГВ по правой ветви ЕФ кривой 1 без ввода кривой 1 внутрь диапазона нечувствительности, но с сохранением значения  $\Delta h$  внутри допустимого диапазона  $\Delta h_{доп}$ .

Аналогично осуществляется стабилизация УГВ и при действии осадков.

Использование дополнительного контура – управление по производной от изменения УГВ позволяет обойтись при той же точности стабилизации меньшим ресурсом управления за счет меньших коэффициентов усиления управляющего устройства. Это весьма существенное преимущество способа. Так, во-первых, можно обойтись наименее материалоемкими гидромелиоративными системами, так как увеличение ресурса управления требует устройства повышенной или заглубленной сети или других дорогих, тождественных по действию средств. Во-вторых, повышается устойчивость системы [9], что отражается на качестве управления водным режимом. В-третьих, существенно экономится вода, так как исключается необходимость сбросов воды при работе ГМС в фазе увлажнения и подачи воды при работе в фазе осушения. Для осуществления управления по способу управления с упреждением необходимо более точно измерять УГВ, что может быть осуществлено по [10].

### Заключение

Приведенное девиационное управление позволяет увеличить расстояния между регулирующими каналами, так как он может практически не использовать самовыравнивание объекта из-за его действия только в зоне нечувствительности регулятора.

Одновременно самовыравнивание объекта уменьшается. Уменьшенное самовыравнивание в свою очередь дает возможность легче создать разные уровни на соседних участках при разных задачах управления. Легче поддерживается и необходимый уровень в регулирующих каналах из-за уменьшенных максимальных его отклонений.

Кроме того, введение регулирования по данному способу позволит в случаях реконструкции гидромелиоративных осушительных систем на системы двустороннего действия обходиться в отдельных случаях существующей осушительной сетью, повышая ее эффективность описанным управленческим средством, вместо значительно больших затрат на реконструкцию самой регулирующей сети.

В результате выполнения способа – управление с предварением – отклонения УГВ от заданной нормы осушения уменьшается, т. е. увеличивается точность регулирования УГВ. Это соответственно позволяет, используя описанный способ, дополнительно увеличить расстояния между регулирующими каналами при увлажнении осушенных земель, сохраняя значение УГВ в пределах допустимой нормы осушения.

Для осуществления управления по скорости «V» изменения УГВ (по производной от h) необходимо измерять УГВ точнее, чем при девиационном управлении. Это вытекает из того, что при управлении по  $h$  достаточно измерять его один раз. Для управления по  $h'$  надо измерить  $h$ , обязательно подождать и опять измерить  $h$  для вычисления  $V = \frac{\Delta h}{\Delta t}$ . За это время « $\Delta t$ » изменится  $h$ , т. е. значение  $h'$ , которое мы хотим измерить, будет соответствовать уже иному значению  $h$ .

Отсюда вытекает решение – следует уменьшить  $\Delta t$ . Но тогда при небольших скоростях изменения УГВ ( $h'$ ), что соответствует инерционным мелиоративным объектам,  $h$  изменяется на весьма небольшую величину. Отсюда вытекает второе следствие:  $h$  следует измерять с весьма высокой точностью. Это управленческое требование существенно отличается от известных утверждений, что на гидромелиоративных системах УГВ достаточно измерять с точностью  $\Delta h \geq 0,1 м$ .

Таким образом, описанные способы управления позволяют устранить основные противоречия при работе регулирующей сети на осушение и увлажнение.

## ЛИТЕРАТУРА

1. М а с л о в, Б. С. Осушительно-увлажнительные системы / Б. С. Маслов, В. С. Станкевич, В. Я. Черненко. – М.: Колос, 1981. – 279 с.
2. Козловский, Т. Водный обмен растений / Т. Козловский. – М.: Колос, 1969. – 247 с.
3. Фельдбаум, А. А. Методы теории автоматического управления / А. А. Фельдбаум, А. Г. Бутковский. – М., 1971. – 743 с.
4. К у м а ч е в, В. И. Оценка принципов автоматического регулирования водного режима мелиорированных болот / В. И. Кумачев // Доклады XX научной конференции. Лит. СХА. – Каунас, 1974. – С. 371–372.
5. Сельченко, В. П. Оценка пригодности мелиорированных объектов для автоматического управления водным режимом / В. П. Сельченко, В. И. Кумачев // Мелиорация и водное хозяйство. – 1974. – № 10. – С. 29–30.
6. К о с т я к о в, А. Н. Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод / А. Н. Костяков, Н. Н. Фаворин, С. Ф. Аверьянов. – М.: Изд. АН СССР, 1956. – 446 с.
7. Б е с е к е р с к и й, В. А. Теория систем автоматического регулирования / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – М.: Наука, 1975. – 768 с.
8. К у м а ч е в, В. И. Устройство для измерения уровня грунтовых вод: А.С. 1262293 СССР, МКИ G 01 F 23/28. 2 с: ил.
9. К у м а ч е в, В. И. Управление грунтовыми водами / В. И. Кумачев. – Минск: Красико-Принт, 2010. – 176 с.
10. К у м а ч е в, В. И. Измерение уровня грунтовых вод для прогрессивных мелиоративных систем на польдерах / В. И. Кумачев, А. Н. Медведников // Вестник Белор. госуд. сельс. хоз. академии. – 2015. – №3. – С. 147–151.