

7 ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ГИДРОМЕЛИОРАЦИЙ

Рациональное формирование и устойчивое поддержание оптимального водно-воздушного режима почвенного покрова можно обеспечить только в условиях исправного функционирования автоматизированных систем двустороннего действия, гарантирующих экологическую безопасность природного комплекса мелиорируемого объекта и сопредельных территорий.

При этом, должна гарантироваться возможность автономного управления водным режимом почвы по полям севооборота с учетом динамики уровней подземных (грунтовых) вод (УПВ, УГВ), а также заранее неизвестных внешних (осадки и испарение) и внутренних (требования растений и особенности эксплуатации системы) факторов.

Решение данной задачи требует ответа на следующие принципиальные вопросы: возможно ли автоматизированное управление УПВ на конкретном мелиоративном объекте с учетом влияния внешних и внутренних факторов; с помощью каких алгоритмов осуществляется управление (и каких автоматических регуляторов), обеспечивающих высокое качество водного режима; каковы оптимальные требования к параметрам мелиоративной сети и автоматических регуляторов.

Известно, что в основе регулирования водного режима почвы лежит управление УПВ на площадях через изменение положения уровней воды в мелиоративной сети. При этом, если устройства с электрическим приводом могут обеспечить любой алгоритм управляющих воздействий в пределах физических ресурсов (глубин каналов, водоисточников и др.), то, в противовес этому, алгоритм управляющих воздействий в устройствах гидравлического типа ограничен и определяется конструкцией регуляторов. Применительно к электрическим регуляторам, в настоящее время, используется теория управления УГВ при создании в регулирующей сети управляющих воздействий релейного типа, т.е. принимающих нулевое, или крайние значения [46, 47]. Переходные процессы, возникающие в системе канал (дрена) - почва при переводе УГВ из одного в другое положение описываются зависимостями на основе решения уравнения Буссинеска с различными краевыми условиями.

Область применения алгоритма фиксированного управления описывается Сельченком В.П. и Мордуховичем Б.Ш. [47] зависимостью вида

$$\frac{r \cdot \beta_0}{2} \leq \varepsilon, \quad (7.1)$$

где ε - заданная точность поддержания УГВ для требуемого состояния почвенных влагозапасов; $\beta_0 = \frac{q}{\mu}$ - начальная (максимальная) скорость изменения УГВ под действием возмущений расчетной интенсивности; r - время стабилизации; q - интенсивность суммарного возмущения (осадки, испарение, приток и др.); μ - коэффициент водоотдачи.

При этом, имеется ввиду устройство, обеспечивающее алгоритм фиксированного управления с гидроавтоматами. На этом основании, делается заключение, что, при соблюдении условия $\tau > \frac{2 \cdot \varepsilon}{\beta_0}$, "объект неуправляем с помощью гидроавтомата".

Такое заключение нельзя относить ко всем гидроавтоматам, оно касается той их части, которая обеспечивает алгоритм "фиксированного" управления. Разработка алгоритма "фиксированного" управления требует анализа теории переходных процессов в автоматизированных осушительно-увлажнительных системах, оборудованных такими гидравлическими средствами автоматизации, которые обеспечивают непрерывный характер изменения уровней воды в канале (управляющего воздействия) пропорционально изменению УПВ на середине межканального пространства. Это, в свою очередь, требует решения двух задач управления: перевода УПВ в новый установившийся режим; стабилизации УПВ для заданного состояния.

Рассмотрим решение этих задач для случая, когда изменение уровня воды в канале пропорционально изменению УПВ на середине межканального пространства. Наиболее приемлемым, на наш взгляд, является предложение Бузинного В.Г., который динамику переходного процесса описывает при решении одномерной задачи неустановившейся фильтрации в системе "канал-почва", с помощью линеаризованного уравнения Буссинеска. В качестве граничных на контуре канала приняты условия III рода. Первоначальные положения УПВ и уровня воды в канале одинаковы и горизонтальны, затем, происходит мгновенное снижение уровня воды в канале на величину S_k и мгновенный подъем УПВ на величину S_n .

Тогда, исходная система уравнений запишется в следующем виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial X}(0, t) &= 0; & \frac{\partial H}{\partial X}(\ell, t) &= -\alpha_k [H(\ell, t) - h_k]; \\ \frac{\partial H}{\partial t} &= \frac{T}{\varepsilon} \frac{\partial^2 H}{\partial X^2}; & H(X, 0) &= H_n, \end{aligned} \quad (7.2)$$

где T - проводимость водоносного слоя; t - время; X - координата; δ - коэффициент водоотдачи; H - расстояние от водоупора до УПВ; h_k - тоже до уровня воды в канале; k - коэффициент фильтрационного сопротивления канала.

Расчетная схема приведена на рис.7.1

Вводя подстановку $H_n - H = S$, и, перейдя к безразмерным координатам, - $\bar{X} = X \cdot \ell$

и $\bar{t} = \frac{\delta \ell^2}{T \cdot t}$, получаем:

$$\frac{\partial S}{\partial \bar{t}} = \frac{\partial^2 S}{\partial \bar{X}^2}, \quad \frac{\partial S}{\partial \bar{X}}(0, \bar{t}) = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial \bar{X}}(1, \bar{t}) = \alpha_k \ell [S_1(\bar{t}) - s(1, \bar{t})], \quad S(\bar{X}, 0) = 0, \quad (7.3)$$

где $S_1(\bar{t}) = S_n + S_k(\bar{t})$.

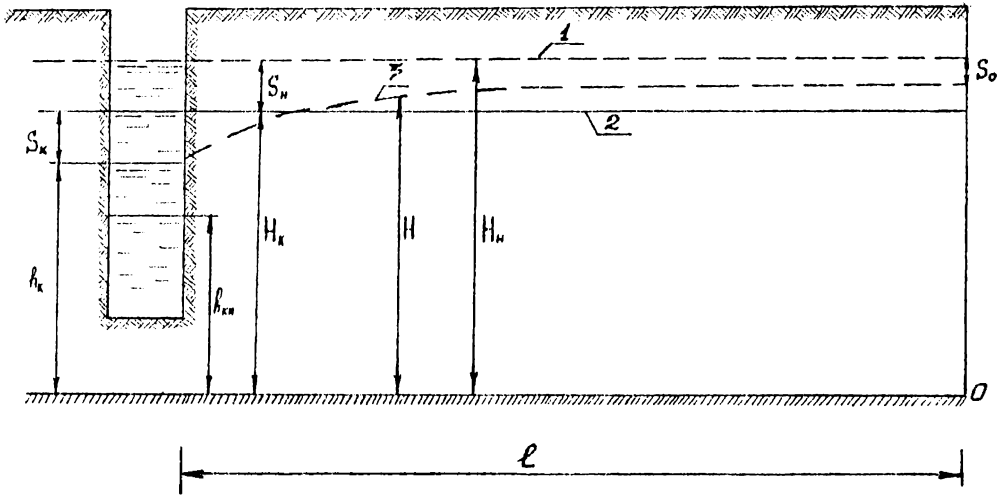


Рис.7.1 Расчетная схема регулирования УПВ: 1) - начальный УПВ;
2)- стабилизированный УПВ; 3)- промежуточный УПВ.

Применив теорему Дюамеля, с введением подстановки $S_1(\alpha) - \varphi = \bar{\varphi}$, и, решая систему уравнений методом разделения переменных, получаем систему с независимым от времени граничным условием

$$\bar{\varphi}(x, t) = \sum \alpha_i \cos \mu_i x \exp \nu_i t, \quad (7.4)$$

где μ_i - корни трансцендентного уравнения $\mu_i \operatorname{tg} \mu_i = \alpha_k \ell$.

Значения коэффициентов α_i определяются, исходя из условия $\bar{\varphi}(x, 0) = S_1(\alpha)$, -

$$\alpha_i = \frac{S_1 \int_0^{\ell} \cos \mu_i x dx}{\int_0^{\ell} \cos^2 \mu_i x dx}. \quad (7.5)$$

Выполняя интегрирование, получаем

$$\alpha_i = S_1(\lambda) r_i, \quad r_i = \frac{4 \sin \mu_i}{2 \mu_i + \sin 2 \mu_i}. \quad (7.6)$$

Решая систему уравнений, получим

$$\varphi(\bar{x}, \bar{t}) = S_1(\lambda) \left(1 - \sum_{i=1}^{\infty} \eta_i \cos \mu_i \bar{x} \exp v_i \bar{t} \right). \quad (7.7)$$

Преобразуя (7.7) в исходную систему, соответственно, получим

$$S(\bar{x}, \bar{t}) = \frac{\partial}{\partial \bar{t}} \int_0^{\bar{t}} S_1(\lambda) \left[1 - \sum_{i=1}^{\infty} \eta_i \cos \mu_i \bar{x} \exp v_i (\bar{t} - \lambda) \right] d\lambda. \quad (7.8)$$

Принимая $\bar{x} = 0$, получим зависимость для определения величины снижения УПВ в середине межканального пространства, при $S(0, \bar{t}) = S_0$,

$$S(0, \bar{t}) = \frac{\partial}{\partial \bar{t}} \int_0^{\bar{t}} S_1(\lambda) \left[1 - \sum_{i=1}^{\infty} \eta_i \cos \mu_i \bar{x} \exp v_i (\bar{t} - \lambda) \right] d\lambda. \quad (7.9)$$

Записывая условие, связывающее уровень воды в канале и УПВ в межканальном пространстве, как

$$n(S_n - S_0) = S_k; \quad S_0 = S_n - \frac{S_k}{n}, \quad (7.10)$$

где n - коэффициент усиления и, подставляя (4.9) в (4.10), получим

$$\frac{\partial}{\partial \bar{t}} \int_0^{\bar{t}} (S_n - S_k) \left[1 - \sum_{i=1}^{\infty} \eta_i \cos \mu_i \bar{x} \exp v_i (\bar{t} - \lambda) \right] d\lambda = S_n - \frac{S_k}{n}. \quad (7.11)$$

Используя правило Лейбница и выполняя необходимые преобразования, можно переписать уравнение (7.11) в следующем виде

$$S_k(\bar{t}) = n S_n \sum_{i=1}^{\infty} \eta_i \exp v_i \bar{t} + \int_0^{\bar{t}} S_k(\lambda) \sum_{i=1}^{\infty} \eta_i v_i \exp v_i (\bar{t} - \lambda) d\lambda. \quad (7.12)$$

Полученная зависимость является линейным неоднородным интегральным уравнением Вольтера второго рода с ядром

$$k(\bar{t}, \lambda) = \sum_{i=1}^{\infty} \eta_i v_i \exp v_i (\bar{t} - \lambda) d\lambda. \quad (7.13)$$

Переходя к уравнению Фредгольма на интервале $(0, \infty)$ с введением нового ядра -

$$k(\bar{t}, \lambda) = \sum_{i=1}^{\infty} \eta_i v_i \exp v_i (\bar{t} - \lambda) d\lambda = \begin{cases} k(\bar{t}, h) & \text{для } h < \bar{t} \\ 0 & \text{для } h \geq \bar{t} \end{cases}, \quad (7.14)$$

при замене бесконечных рядов конечными и обозначениях -

$$\mu_i^2 \eta_i \exp v_i \bar{t} = \alpha_i(\bar{t}) \quad \text{и} \quad \exp(-v_i \alpha) = \beta_i(h), \quad (7.15)$$

получаем линейное неоднородное интегральное уравнение Фредгольма с выраженным ядром

$$S_k(\bar{t}) = n S_n \sum_{i=1}^{\infty} \eta_i \exp v_i \bar{t} - n \int_0^{\bar{t}} S_k(\lambda) \sum_{i=1}^m \alpha_i(\bar{t}) \cdot \beta_i(\lambda) U + (\bar{t} - \lambda) d\lambda, \quad (7.16)$$

имеющее следующее решение

$$S_k(\bar{t}) = nS_n \sum_{i=1}^{\infty} \eta_i \exp v_i \bar{t} + \sum A_j \alpha_j(\bar{t}), \quad (7.17)$$

где $A_j = -n \int_0^{\bar{t}} \beta_i(\lambda) S_k(\lambda) U + (t - \lambda) d\lambda$.

Тогда, с учетом найденных значений A_j , формула, описывающая динамику управляющего воздействия (уровня воды в канале), будет иметь вид

$$S_k(\bar{t}) = nS_n \sum_{i=1}^m \eta_i \exp v_i \bar{t} - \frac{n}{\Delta(n)} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \Delta_{ij} f_j \alpha_i(\bar{t}). \quad (7.18)$$

Отсюда, динамику переходного процесса в середине межканального пространства при переводе УПВ в новый установившейся режим для случая, когда изменение уровня воды в канале пропорционально изменению УПВ на мелиорируемой территории, можно описать следующей формулой

$$S_l(0, \bar{t}) = S_n \left(1 - \sum_{i=1}^m \eta_i \exp v_i \bar{t} \right) + \frac{n}{\Delta(n)} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \Delta_{ij} \cdot \mu_i^2 \eta_i \exp v_i \bar{t} \cdot \sum_{j=1}^m \frac{nS_n r_j}{v_i - v_j} \quad (7.19)$$

При $m = 3$, определяются $\Delta(n)$ и Δ_{ij} :

$$\begin{aligned} \Delta(n) &= -1 + n^2 \beta_{23} \beta_{32} - n^3 \beta_{12} \beta_{23} \beta_{31} + n^2 \beta_{12} \beta_{21} - n^3 \beta_{13} \beta_{21} \beta_{32} + n^2 \beta_{13} \beta_{31}; \\ \Delta_{11} &= 1 - n^2 \beta_{23} \beta_{31}; \Delta_{12} = n^2 \beta_{23} \beta_{31} - n \beta_{21}; \Delta_{13} = n^2 \beta_{21} \beta_{32} - n \beta_{31}; \\ \Delta_{21} &= n^2 \beta_{13} \beta_{32} - n \beta_{12}; \Delta_{22} = 1 - n^2 \beta_{13} \beta_{31}; \Delta_{23} = n^2 \beta_{12} \beta_{31} - n \beta_{32}; \\ \Delta_{31} &= n^2 \beta_{12} \beta_{23} - n \beta_{13}; \Delta_{32} = n^2 \beta_{13} \beta_{21} - n \beta_{23}; \Delta_{33} = 1 - n^2 \beta_{12} \beta_{21}. \end{aligned} \quad (7.20)$$

Используя зависимости (7.18), (7.19), можно установить параметры автоматизированной осушительно-увлажнительной системы, позволяющие перевести УПВ в новый установившийся режим или стабилизировать их у заданного положения при изменении уровня воды в канале пропорционально изменению УПВ на середине межканального пространства.

Так, для двустороннего регулятора уровней в каналах, функция управляющего воздействия, являясь граничным условием, в общем случае записывается в виде

$$U(t) = h_c(1+k) - k \cdot h_T(L, t), \quad (7.21)$$

где $U(t)$ - управляющее воздействие в канале; h_c - горизонт стабилизации; $h_T(L, t)$ - горизонт грунтовых вод в середине между каналами; k - коэффициент усиления.

Величины $U(t)$, h_c и $h_T(L, t)$ отсчитываются от общей горизонтальной плоскости сравнения.

Уравнение Буссинеска, с граничным условием (7.21), дает решение задачи о переходных процессах при форсированном управляющем воздействии с обратной связью. Различные по режиму управляющие воздействия оказывают также различное влияние на

переходные процессы. Представляют научный и практический интерес различия в переходных процессах, возникающие при нормированном, форсированном релейном и форсированном с обратной связью управлениях. Так как теоретического решения уравнения Буссинеска, с условием (7.21), для форсированного управления, с обратной связью, для гидравлического регулятора пока не имеется, то поставленную задачу попытались решить путем моделирования процесса на электроинтеграторе БУСЭ-70. Моделирование выполнено для примера со следующими исходными данными: расстояние между открытыми каналами - $B = 150\text{ м}$, расстояние от начального уровня воды до водоупора - $T = 2\text{ м}$, коэффициент фильтрации грунта - $K_f = 2\text{ м/сут}$ (грунт однородный), коэффициент водоотдачи - $\mu = 0,075$. В данном случае, задача относится к моделированию профильной безнапорной фильтрации в однородном грунте. Вся область фильтрации была разбита на 24 блока горизонтальными и вертикальными сечениями.

Рассмотрим случай перевода УПВ из первоначального положения на более низкое (на $0,3\text{ м}$) при форсированном релейном (a_0, avdeSc) и форсированном с обратной связью (a_0, avdmnc) управлением (рис.7.2).

Во всех случаях, время транспортного запаздывания принято равным нулю. Время переключения при форсированном релейном управлении определено по формуле

$$\tau_0 = \left(\frac{4}{\pi^2} \ln \frac{H}{H + \Delta H} \right) \tau, \quad (7.22)$$

где $\tau = \frac{\mu L^2}{K_f T \alpha}$ - время стабилизации; L - половина расстояния между каналами, м; H -

величина максимального допустимого снижения уровня воды в канале; принято $H = 0,75\text{ м}$; Δh - величина заданного снижения УПВ в середине межканальной полосы ($0,3\text{ м}$).

По формуле (7.22) получено: $\tau_0 = 3,7\text{ сут}$.

Алгоритм форсированного управления с обратной связью устанавливался по формуле (7.21) на конец каждого шага по времени и наперед был не известен. В формуле (7.22) принималось

$$h = \bar{U} \Delta H_{\max} + H_{\min}, \quad (7.23)$$

где $\bar{U}$ - относительный потенциал, измеряемый на электрической модели на свободной поверхности по середине между каналами в конце каждого шага времени; $\Delta H_{\max} = 0,9\text{ м}$; $H_{\min} = 19,1\text{ м}$.

В результате моделирования получены графики хода уровней грунтовых вод в середине межканальной полосы для трех алгоритмов управления, приведенных на рис.7.2. График 1 характеризует переходной процесс для нормированного управления, свойственного автоматическим регуляторам бьефов. При отсутствии инфильтрации переходный процесс характеризуется асимптотическим приближением УПВ к горизонту стабилизации. Однако, при заданной точности регулирования, например, $\epsilon = \pm 0,05\text{ м}$, продолжительность переходного процесса равна конечному времени - $\tau_3 = 10\text{ суток}$.

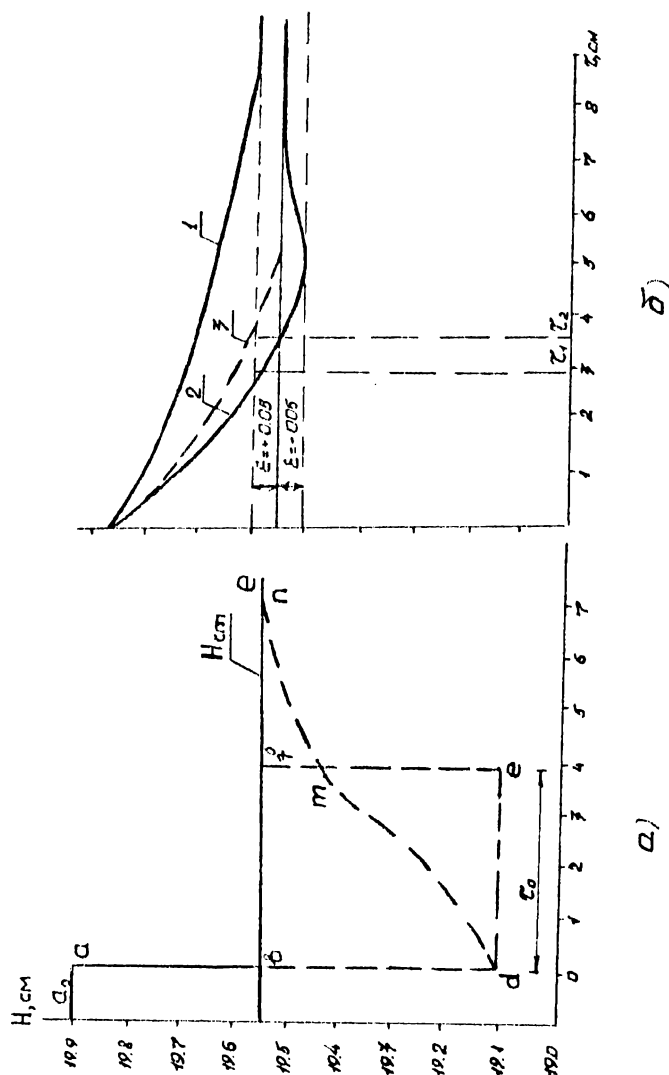


Рис.7.2 Структура управляющих воздействий (а) и график хода УПВ в середине межканальной полосы (б): 1) - при нормированном управлении; 2) - при форсированном релейном управлении; 3) - при форсированном с обратной связью управлении; ε - точность регулирования.

График 2 относится к форсированному релейному управлению, свойственному регуляторам электрического действия. При этом, продолжительность переходного процесса (τ), при $\varepsilon = \pm 0,05$ м, равно 2,8 суток.

График 3 относится к форсированному управлению с обратной связью, создаваемому двусторонним регулятором гидравлического действия. В этом случае, УПВ асимптотически приближаются к уровню стабилизации, однако, переходной процесс протекает значительно интенсивнее, чем при нормированном управлении, хотя несколько медленнее, чем при форсированном релейном. Время переходного процесса (τ_2), в этом случае, при $\varepsilon = \pm 0,05$ м, составляет 3,5 суток.

Сопоставление продолжительности переходных процессов рассмотренных управляющих воздействий показывает, что при нормированном управлении перевод УПВ в новое положение происходил в 3,6 раза, а при форсированном с обратной связью - в 1,25 раза длительнее, чем при форсированном релейном управлении. Однако, разница в 1,25 раза продолжительности переходных процессов (релейного и с обратной связью) форсированных управлений для сельскохозяйственных целей, во многих случаях, может оказаться незначительной, а использование гидроавтоматов рассмотренного типа вместо электрических регуляторов вполне приемлемым. Следует заметить, что разница в переходных процессах в 1,25 раза относится к принятым условиям фильтрации. Для других условий эта разница может как увеличиться, так и уменьшиться.

Еще большая специфичность характерна для алгоритма управления современными мелиоративными системами на базе вертикального дренажа.

Значительная протяженность и сравнительно малая скорость изменения регулируемой среды под действием управляющих и стохастических воздействий, характеризует объект автоматического регулирования (ОАР) как многоемкостной и с распределенными параметрами. Это обстоятельство требует специального подхода к выбору структурной схемы управления водным режимом на основе детального изучения статистических и динамических характеристик ОАР, исследований его устойчивости и реакции на переходные процессы в системе автоматического регулирования.

Система “скважина - УПВ” является основным блоком структурной схемы управления и представляет собой совокупность взаимодействующих динамических звеньев: насосно-силового оборудования, датчика УГВ и колодца управления. Каждое из звеньев системы описывается дифференциальным уравнением управления, характеризуется определенной инерционностью и запаздыванием его реакции на возмущение [34].

Инерционностью первых двух звеньев, ввиду несоизмерности времени их сработки с общей продолжительностью переходного процесса в системе “скважина-УПВ”, можно пренебречь (запуск насосно-силового оборудования на закрытую задвижку длится 5...16 с, а открытие электрифицированной задвижки - 12с). Тогда, инерционность системы определяется только инерционностью колодца управления, где расположены датчики УПВ, и проявляется в несоответствии режима изменения УПВ в почвогрунтах - из-

менению уровней воды в колодце. Искаженная информация о фактическом положении УПВ приводит к неправильному определению момента включения и выключения осушительных скважин вертикального дренажа.

Натурные исследования влияния инерционности системы “скважина - УПВ” в системе автоматического регулирования проводились на опытном участке вертикального дренажа в водосборе р. Осиповка (Брестская обл.). Участок характеризуется сложными гидрогеологическими условиями, обусловленными наличием на глубине 1,5...2,0 м малопроницаемой прослойки. Более половины площади участка занимают торфяные почвы с помощью торфа от 0,3 до 1,0 м. Они приурочены к бессточным понижениям и повсеместно подстилаются песками мощностью до 40 м. Осушение участка осуществляется девятью дренажными скважинами глубиной 27...40 м с дебитами 120...210 м³/ч.(рис.7.3).

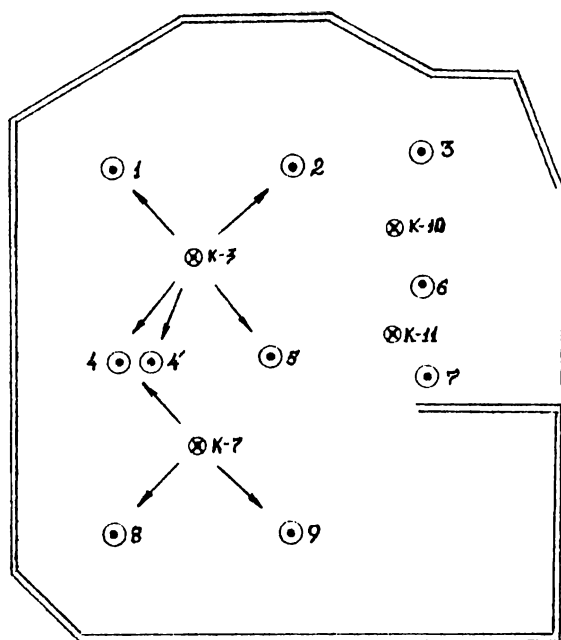


Рис.7.3. Схема расположения дренажных скважин и колодцев управления:

- - дренажная скважина;
- ⊗ - колодец управления;
- === сбросные каналы.

При этом, предусмотрена система автоматического включения (выключения) скважин 1,2,5,4,4' в зависимости от уровней воды в колодце К-3, скважин 8, 9 - от уровней воды в колодце К-7, а от уровней воды в колодцах К-10 и К-11, соответственно, скважин 3,6 и 7. В колодцах управления установлены электродные датчики уровня типа ЭРСУ-3. Для каждой скважины предусмотрено по 2 контролирующих электрода. При достижении уровня воды в колодце отметки установки электрода, контролирующего верхнюю границу зоны регулирования, происходит включение в работу соответствующей скважины вертикального дренажа. При снижении уровня воды в колодце ниже от-

метки установки электрода, контролирующего нижнюю границу зоны регулирования, работающая скважина (группа скважин) отключается.

По конструкции колодец управления представляет собой вертикально установленную глухую металлическую трубу, диаметром 325 мм, где расположены электроды и наблюдательного колодца диаметром 1,0 м типовой конструкции, соединенных между собой металлической трубой диаметром 100 мм и длиной 1,4 м.

Исследование процесса инерционности управления системой проводилось методом экспресс - опробования. Согласно [46], метод предусматривает откачку и налив при различных положениях УПВ на прилегающей площади. Регистрация динамики восстановления уровней в исследуемом колодце управления осуществлялась с помощью стационарного самописца “Валдай”.

Опытные данные обрабатывались графоаналитическим методом, с построением зависимостей $\ln(H)=f(t)$. По методу наименьших квадратов определялась сглаживающая прямая и вычислялась постоянная времени T , как тангенс угла наклона ее к оси ординат, считая что восстановление уровня воды в колодце описывается экспоненциальным уравнением

$$H = h_0 \cdot \exp\left(-\frac{t}{T}\right), \quad (7.24)$$

где H - глубина воды в колодце на расчетный момент времени восстановления; h_0 - глубина воды в колодце перед опытом, при $t=0$.

Уравнение (7.24), в системе автоматического регулирования характеризует переходный процесс линейного инерционного звена первого порядка с передаточной функцией блока “скважина - УПВ”

$$W_p = \frac{K}{T_p s + 1}, \quad (7.25)$$

где K - коэффициент пропорциональности.

Исходя из основных положений теории автоматического регулирования, постоянная времени T является основным элементом обеспечения необходимых значений коэффициента усиления, точности и устойчивости системы регулирования. Известно, что применение в системе регулирования динамических звеньев, описывающихся малыми постоянными времени, позволяет значительно повысить качество и быстродействие системы. Поэтому, весьма важно знать средства и способы, позволяющие корректировать постоянные времени.

Физическая сущность постоянной T , в зависимости от геометрии размещения наблюдательных скважин и гидрогеологических условий пласта, дана в работе [44]

$$T = \frac{d \cdot n}{K \cdot m}, \quad (7.26)$$

где d - диаметр скважины; n - сопротивление фильтра и прифильтровой зоны; K m - водопроводимость пласта.

В результате обработки материалов экспресс-опробований колодцев управления (К-3, К-10, К-11), получены соответствующие постоянные времени ($T_3=1,45$, $T_{10}=2,1$, $T_{11}=1,8$ суток).

Сравнение результатов опытов указывает на значительное отличие по величине постоянных времени. Это объясняется не только геометрическими параметрами колодцев управления, их емкостью, но и гидравлическими условиями, расположением их в вертикальной плоскости и др. Колодцы, установленные на глубину не более 2,0 м, перекрывают зону переменного УПВ и, поэтому, в большей степени подвержены заиливанию, особенно, в верхних отметках под воздействием агротехнических мероприятий на водосборной площади. Водопроницаемость этой зоны определяется значительной неоднородностью структуры покровных отложений и слабой гидравлической связью зоны с водоносными горизонтами, что подтверждается, например, результатами экспресс-опробования колодца К-7 (рис.7.4).

Колодец К-7 расположен в зоне напорного питания, тип которого установлен при анализе динамики уровней в кусте пьезометров в зоне влияния вертикальных скважин 4¹, 8 и 9 (рис.7.3). Куст пьезометров состоит из трех наблюдательных скважин, заложенных, соответственно, на глубину 2, 4 и 6 м и расположенных от колодца на расстоянии 2,5 м.

Обработка результатов опытов показала отсутствие принципа суперпозиции для колодца К-7. Было установлено, что при начальной глубине (h_0) более 50 см, процесс восстановления уровней описывается уравнением вида

$$H = h_{01} \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) + h_{02} \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right), \quad (7.27)$$

где T_1 , T_2 - постоянные времени, соответственно - $T_1 = 1,08$ сут, $T_2 = 0,2$ сут ; h_{01} , h_{02} - промежуточные значения уровней; h_0 - глубина воды в колодце перед опытом, при $t=0$; $h_0 = h_{01} + h_{02}$ - глубина воды в колодце, при $t > 0$.

Уравнение (7.27), представляет собой решение дифференциального уравнения второго порядка и характеризует инерционное звено этого же порядка. При уровнях воды в колодце, следовательно, и на прилегающей площади - выше 50 см, процесс восстановления описывается инерционным звеном первого порядка с постоянной времени (T), равной 0,38 сут.

Нелинейность динамического звена колодца управления К-7 в системе "скважина - УПВ", связана с нелинейными зависимостями сил сопротивления фильтровой части от гидравлических характеристик фильтрационного потока: скорости и градиента напора. Эту особенность следует учитывать при назначении отметок электродных датчиков контролирующих верхнюю и нижнюю границы регулирования. Так, после 50 часов работы скважин 4 и 5 полным дебитом, понижение уровней в колодце К-3 (рис 7.4) составило 8 см, а в колодце К-7 -29см. После отключения скважины управления в ручном режиме, в колодцах наблюдалось дальнейшее снижение уровня по инерции (см. рис.7.4):

- в колодце К-3 - в течение 53 часов, до полной стабилизации без процесса восстановления, при общем понижении - 10 см;

- в колодце К-7 - в течение 17 часов, когда уровень достиг глубины 120 см (начальный уровень 34 см), при общем понижении - 19 см; процесс восстановления длился 65 часов.

Колодцы управления К-7 и К-3 равноудалены от скважин 4 и 5, однако, скорость снижения уровня в колодце К-7 в 3,6 раза выше, чем в колодце К-3. Следовательно, колодец К-7 является более "чувствительным" на изменения УПВ на осушаемой территории, а колодец К-3 - менее "отзывчивым" на управляющие воздействия и более инерционным.

С целью оценки влияния инерционности системы "скважина - УПВ" на режим работы скважин, рассмотрим вариант снижения УПВ на 10 см на осушаемом участке, контролируемом колодцами управления К-3 и К-7. Анализ динамики уровней в колодце К-3 свидетельствует о том, что скважины 4 и 5 должны работать по 50 часов. Используя условие идентичности процессов снижения и восстановления уровней в колодце К-7, найдем, что скважины 4 и 5 необходимо отключить через 33 часа работы. За это время, уровни воды в колодце К-3 снизятся на 5 см.

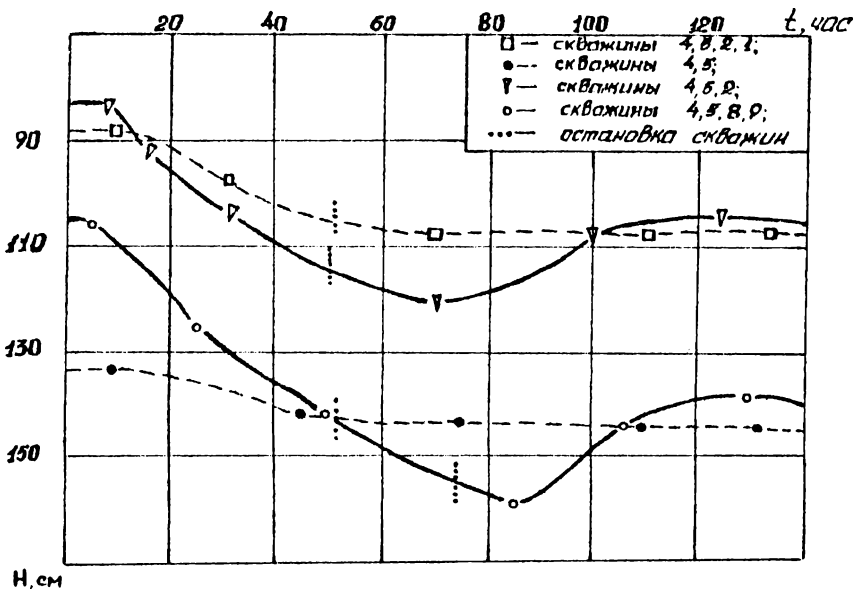


Рис. 7.4. Динамика уровней воды в колодцах управления К-7 и К-3 на фоне работы вертикальных скважин: — К-7, - - К-3.