

УДК 631.432:631.532/535:631.6

*А. П. ЛИХАЦЕВИЧ, А. П. РУСЕЦКИЙ*

## **ОПЕРАТИВНАЯ СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМ РЕЖИМОМ ПОЧВЫ В ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД НА ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНЫХ ПОЛЬДЕРНЫХ СИСТЕМАХ**

*Институт мелиорации*

*(Поступила в редакцию 07.08.2006)*

Урожай на мелиорированных землях является интегрированным показателем природно-климатического потенциала региона, конструктивных возможностей мелиоративных объектов, уровня эксплуатации мелиоративных систем и культуры ведения сельскохозяйственного производства. Эти факторы, только находясь в оптимуме, все вместе могут дать наибольший эффект. В случае неоптимальности одного из них величина урожая и суммарный эффект от мелиорации будут снижаться.

Перед мелиоративной отраслью стоит задача – опираясь на конструктивные возможности гидротехнических сооружений, с целью оптимизации водного режима, обеспечить нейтрализацию неблагоприятных метеорологических и гидрологических факторов в процессе производства сельскохозяйственной продукции. Эта задача решается своевременным проведением ремонтно-эксплуатационных работ, реконструкцией устаревших мелиоративных систем и текущим управлением отдельными их элементами в процессе вегетации. В соответствии с Республиканской программой «Сохранение и использование мелиорированных земель на 2006–2010 годы» названные работы признаны главенствующими в достижении основной цели – обеспечении роста продуктивности мелиорированных земель, повышении их устойчивости к неблагоприятным погодным условиям.

Результатом управления функционированием элементов мелиоративных систем должно быть удержание влажности корнеобитаемого слоя почвы в заданных пределах, недопущение отклонения ее в большую или меньшую стороны. Из материалов исследований различных авторов, обобщенных В. Ф. Шебеко и П. И. Закржевским [1, 2], уменьшение влажности от оптимального нижнего предела на 8–11% и увеличение от верхнего на 9–13% ведет к потерям 20% урожая многолетних трав, сахарной свеклы, картофеля и других культур. Эти данные показывают, что регулирование влажности корнеобитаемого слоя и поддержание ее в заданных пределах имеет важное значение в формировании высокого урожая.

Согласно правилам технической эксплуатации мелиоративных систем в Беларуси [3], обязанности по регулированию водного режима относятся к эксплуатационным мелиоративным организациям. Однако эти организации не имеют возможностей для выполнения в полном объеме данной работы из-за отсутствия соответствующего штата и финансовых средств на эти цели. В сложившейся ситуации наименее затратным и наиболее реальным является контроль и регулирование уровней грунтовых вод – второго по значимости после влажности почвы показателя для оценки водного режима. В этом случае контроль за состоянием водного режима и принятие решений по его регулированию могут быть поручены не только мелиоративным эксплуатационным организациям, но и хозяйствам, использующим мелиорированные земли, руководители и главные специалисты которых практически ежедневно бывают на своих полях.

В вегетационный период водный режим почвы на осушенных землях непрерывно изменяется под воздействием метеорологических факторов, почвенно-гидрологических условий и работы мелиоративной системы. В отдельных случаях эти изменения могут приобретать нежелательный характер. Для придания динамике водного режима характера, соответствующего требова-

ниям сельскохозяйственных культур, необходимо при эксплуатации мелиоративных систем управлять этим процессом.

В основе практического управления водным режимом почвы используется традиционно применяемое регулирование уровней воды в проводящих каналах, а через них – уровней в открытых осушителях или пьезометрического напора в закрытом дренаже, которые приводят к изменению уровней грунтовых вод (УГВ). С изменением положения УГВ меняется капиллярное подпитывание корнеобитаемого слоя почвы и содержание в нем влаги. При этом количественная характеристика влажности при самом простом подходе может не контролироваться, а косвенным показателем состояния водного режима будет только положение УГВ. Кроме УГВ при этом несложно определить направленность движения грунтовых вод (на осушительную карту или с нее к каналу) при решении вопроса о необходимых действиях по регулированию водного режима.

**Теоретическая схема обоснования технологии.** Переходные процессы, возникающие в области фильтрации в межканальной полосе, описываются зависимостями с различными краевыми условиями, вытекающими из общего решения уравнения Буссинеска. Для поиска наиболее приемлемого алгоритма нами выполнено моделирование фильтрации воды при управляющих воздействиях, обеспечивающих снижение УГВ на заданную величину с помощью поддержания соответствующего уровня воды в каналах (УВК):

- постоянным на горизонте стабилизации (нормированное управление), что может производиться вручную с применением коробчатых регуляторов;
- постоянным ниже горизонта стабилизации в течение времени снижения УГВ, соответствующим управлению электрическими регуляторами релейного 2-позиционного типа;
- переменным ниже горизонта стабилизации, соответствующим управлению гидроавтоматами с обратной связью [4].

Результаты этих исследований показали, что применение технологии нормированного управления при переводе УГВ в новое положение с точностью до 0,05 м в рассмотренном случае [5] требовало времени в 3,6 раза больше, а применение управляющего воздействия, соответствующего гидроавтомату, – в 1,25 раза больше, чем при форсированном релейном управлении (рис. 1).

Применение алгоритмов управления возможно на гидромелиоративных системах (ГМС) с автоматическими регуляторами (электрического и гидравлического типов), однако это значительно усложняет конструкцию мелиоративных систем. Нормированное управление на ГМС с затворами коробчатого типа слишком удлиняет перевод УГВ в требуемое положение. Выполненные исследования [5] позволяют утверждать, что если заменить непрерывно изменяющееся управляющее воздействие гидроавтомата на дискретно изменяющееся по ступенчатому графику  $\delta$  (см. рис. 1), то оно может выполняться вручную с помощью коробчатого или других затворов аналогичного типа. При этом продолжительность переходного процесса сократится даже по сравнению с гидроавтоматами с обратной связью.

Расчетная схема стабилизации уровня грунтовых вод с применением гидроавтоматов с обратной связью [4] для управляющего воздействия показана на рис. 2.

Управляющие воздействия такого гидроавтомата описываются уравнением

$$U(t) = \Delta h_1 + \Delta h_2 = (r + 1) [H_0(t) - H_{ст}], \quad (1)$$

где  $U(t)$  – превышение УГВ в середине межканального пространства над уровнем воды в канале;  $r = \frac{\Delta h_2}{\Delta h_1}$  – коэффициент усиления;  $\Delta h_1$  – превышение УГВ над горизонтом стабилизации;  $\Delta h_2$  – превышение горизонта стабилизации над уровнем воды в канале;  $H_0(t)$  – превышение УГВ над водоупором;  $H_{ст}$  – превышение уровня стабилизации над водоупором.

Уравнение (1) при замене (см. рис. 2)

$$U(t) = H_{тр}(t) - h_{\phi}(t), \quad (2)$$

$$H_0(t) = h_p - h_{\phi}(t) + H_{ст} \quad (3)$$

преобразуется к виду

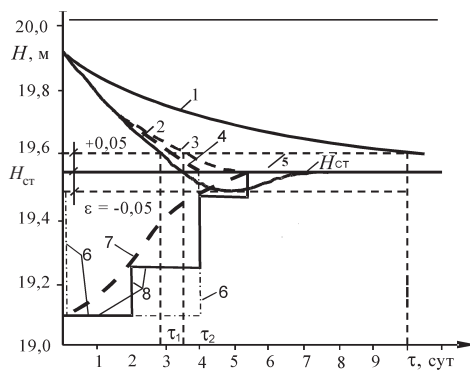


Рис. 1. Графики хода УГВ в середине межканальной полосы: 1 – уровень грунтовых вод при нормированном управлении уровнем воды в каналах по графику 5; 2 – при форсированном релейном управлении по графику 6; 3 – при форсированном управлении с обратной связью по графику 7; 4 – при управлении по графику 8;  $H_{ст}$  – горизонт стабилизации УГВ

$$H_{тр}(t) = h_p(1 + r) - r h_{\phi}(t), \quad (4)$$

где  $H_{тр}(t)$  – требуемое положение уровня воды в канале относительно поверхности почвы;  $h_{\phi}(t)$  – фактическое положение УГВ относительно поверхности почвы;  $H_{ст}$  – положение уровня стабилизации относительно водоупора;  $h_p$  – положение уровня стабилизации относительно поверхности почвы.

Динамика переходного процесса фильтрации при управляющем воздействии по уравнению (1) описывается следующими формулами:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{T}{\delta} \frac{\partial^2 H}{\partial x^2}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial H}{\partial x}(0, t) = 0, \quad \frac{\partial H}{\partial t}(\ell, t) = \alpha_k [H(\ell, t) - h_k(t)], \quad (6)$$

$$H(x, 0) = H_H, \quad (7)$$

где  $H$  – положение УГВ относительно водоупора;  $T$  – проводимость водонасосного пласта;  $x$  – горизонтальная координата;  $\delta$  – коэффициент водоотдачи;  $\alpha_k$  – коэффициент фильтрационного сопротивления канала;  $H_H$  – начальное положение УГВ.

Теоретическое решение уравнений (1), (5)–(7) [6] совпало с результатами моделирования. Это дополнительно подтверждает возможность использования результатов моделирования управляющего воздействия (1) в качестве основы разработки ручного управления.

При ручном управлении с использованием регуляторов, например, с шандорами, контроль УВК и его изменение можно производить в зависимости от метеорологической обстановки в любые моменты  $t_i, t_{i+1}$  и т. д., сохраняя постоянным УВК между измерениями. В этом случае управляющее воздействие будет соответствовать графику 8 (см. рис. 1). Уравнение, описывающее управляющее воздействие, получим из формулы (4), в котором на промежутке  $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$  примем  $H_{тр}(t) = H_{тp i} = \text{const}$ . При небольших промежутках  $\Delta t_i$  в приближенных расчетах также можно принять  $h_{\phi}(t) = h_{\phi i} = \text{const}$ , тогда уравнение (2) примет вид

$$H_{тp i} = h_{p i} (1 + r) - r h_{\phi i}. \quad (8)$$

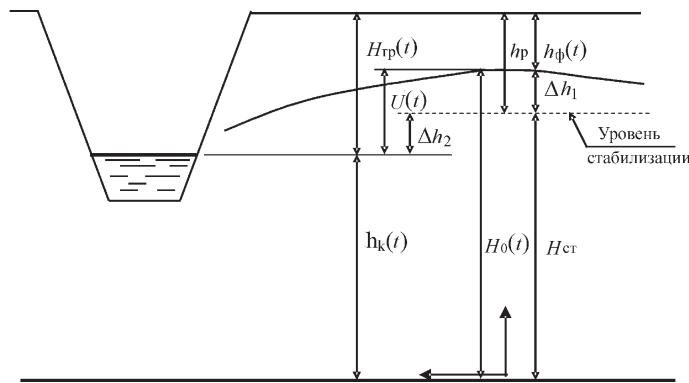


Рис. 2. Расчетная схема стабилизации уровня грунтовых вод

Для промежутка времени  $\Delta t_{i+1} = t_{i+2} - t_{i+1}$ , после уточнения требуемого  $h_{p i+1}$  и измерения  $h_{\phi i+1}$ , управляющее воздействие определяется по уравнению

$$H_{тp i+1} = h_{p i+1} (1 + r) - r h_{\phi i+1}. \quad (9)$$

Для последующих промежутков времени аналогичным способом определяются требуемые положения уровня воды в канале.

В момент измерения фактического положения УГВ ( $h_{\phi}$ ) следует также про-

изводить определение положения уровня воды в канале ( $H_{ki}$ ). В случае, если измеренное  $H_{ki}$  не совпадает с требуемым  $H_{тp i}$ , уровень в канале следует изменить на величину

$$\Delta H_{тp i} = H_{ki} - H_{тp i}, \quad (10)$$

где  $\Delta H_{тp i}$  – требуемое изменение уровня воды в канале на момент  $t_i$ ;  $H_{ki}$  – фактическое положение уровня в канале на момент  $t_i$ ;  $H_{тp i}$  – требуемое положение уровня в канале на момент  $t_i$ .

Положение уровня стабилизации ( $h_{pi}$ ) в условиях отсутствия заблаговременных долгосрочных прогнозов метеорологических факторов наиболее рационально принимать средним между минимальным и максимальным допустимыми положениями УГВ:

$$h_{pi} = 0,5 (h_{\min i} + h_{\max i}), \quad (11)$$

где  $h_{\min i}$  и  $h_{\max i}$  – соответственно минимальное и максимальное допустимые положения УГВ относительно расчетной отметки поверхности почвы на момент  $t_i$ .

Значения допустимых положений УГВ можно определить по методике Г. И. Афанасика [3] или указанию [8], согласно которому

$$h_{\min i} = h_{к.с i} + 0,3h_{к.п}, \quad (12)$$

$$h_{\max i} = h_{\min i} + c h_{к.п}, \quad (13)$$

где  $h_{к.с i}$  – расчетная мощность корнеобитаемого слоя почвы на момент  $t_i$ ;  $h_{к.п i}$  – высота активного капиллярного поднятия;  $c = 0,4-0,7$  – коэффициент, меньшие значения которого принимаются для засушливых условий, большие – для влажных.

Значения расчетной мощности корнеобитаемого слоя и высоты активного капиллярного подпитывания приведены в табл. 1 и 2 [8].

Т а б л и ц а 1. Динамика расчетной мощности корнеобитаемого слоя почвы осушаемых земель  $h_{к.с}$

| Культура   | Почва       | Мощность корнеобитаемого слоя по декадам от начала вегетации, см |    |     |    |    |    |     |      |    |    |    |     |
|--|-------------|--|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|
|  |             | I  | II | III | IV | V  | VI | VII | VIII | IX | X  | XI | XII |
| Зерновые   | Торфяная    | 15   | 30 | 45  | 55 | 65 | 73 | 78  | 80   | 80 |    |    |     |
|  | Минеральная | 15   | 35 | 50  | 60 | 70 | 78 | 83  | 85   | 85 |    |    |     |
| Многолетние травы                                    | Торфяная    | 30   | 30 | 30  | 30 | 30 | 30 | 30  | 30   | 30 | 30 | 30 | 30  |
|  | Минеральная | 40   | 40 | 40  | 40 | 40 | 40 | 40  | 40   | 40 | 40 | 40 | 40  |
| Картофель  | Торфяная    | 20   | 30 | 40  | 47 | 53 | 56 | 58  | 60   | 60 | 60 | 60 | 60  |
|  | Минеральная | 20   | 35 | 45  | 50 | 58 | 61 | 63  | 65   | 65 | 65 | 65 | 65  |
| Кукуруза   | Торфяная    | 15   | 25 | 34  | 41 | 49 | 55 | 59  | 60   | 60 | 60 |    |     |
|  | Минеральная | 15   | 30 | 45  | 55 | 65 | 73 | 76  | 80   | 80 | 80 |    |     |
| Свекла кормовая и сахарная, капуста поздняя, морковь | Торфяная    | 20   | 27 | 37  | 43 | 48 | 51 | 54  | 55   | 55 | 55 | 55 | 55  |
|  | Минеральная | 20   | 31 | 43  | 53 | 61 | 65 | 68  | 70   | 70 | 70 | 70 | 70  |

Т а б л и ц а 2. Высота активного капиллярного поднятия  $h_{к.п}$ , м

|                                      |     |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|
| Коэффициент фильтрации $K_f$ , м/сут | 0,2 | 0,5  | 1,0  | 2    | 4    | 6    | 10   |
| Высота $h_{к.п}$ , м                 | 0,9 | 0,78 | 0,70 | 0,60 | 0,54 | 0,50 | 0,45 |

Все измерения и определения ( $h_{ф}$ ,  $h_p$ ,  $h_{\min}$ ,  $h_{\max}$ ,  $H_k$ ,  $H_{тp}$ ) производятся относительно расчетной отметки поверхности почвы участка регулирования.

Приведенная технология регулирования водного режима относится к отдельному участку, подкомандному регулирующему сооружению. На крупных осушительно-увлажнительных системах вся территория делится на участки в соответствии с расположением регулирующих сооружений и для каждого из них определяется требуемое положение уровня в каналах относительно расчетной отметки поверхности участка регулирования, а также проводятся действия по выполнению этого требования.

На польдерных системах с машинным водоотводом для каждого участка регулирования определяется начальный и конечный эксплуатационные горизонты, отсчитываемые от расчетной отметки поверхности участка по уравнениям [9, 10]:

$$H_{нi} = H_{свi} - (1 - \alpha)d, \quad (14)$$

$$H_{кi} = H_{свi} + \alpha d, \quad (15)$$

где  $H_{нi}$  – начальный эксплуатационный горизонт на момент  $t_i$ , м;  $\alpha$  – коэффициент нелинейности динамики уровней в аванкамере;  $H_{кi}$  – конечный эксплуатационный горизонт на момент  $t_i$ , м;  $d$  – амплитуда изменения положения горизонтов в аванкамере, м.

Средневзвешенный горизонт в аванкамере, также отсчитываемый для каждого участка от его расчетной отметки поверхности, определяется уравнением

$$H_{свi} = H_{тp i} + JL, \quad (16)$$

где  $J$  – уклон свободной поверхности воды в каналах на пути от участка регулирования до насосной станции;  $L$  – длина пути течения воды по каналам от участка регулирования до насосной станции.

С использованием этой методики для каждого участка регулирования могут быть получены свои средневзвешенные горизонты, которые между собой могут и не совпадать. Возникает вопрос: по какому из них следует назначать режим откачки. Здесь возможны различные варианты:

1) режим откачки вести по самому низкому средневзвешенному горизонту, а на остальных участках прикрытие затворов на подпорных сооружениях поддерживать требуемые уровни в коллекторах;

2) режим откачки определять по средневзвешенному горизонту, превышающему самый низкий на 0,1–0,15 м. В этом случае на участке с самым низким средневзвешенным горизонтом уровни будут в пределах допустимых, но близкими к верхнему их значению, что может ухудшить на нем водный режим в случае выпадения обильных осадков. На участках со средневзвешенными горизонтами выше принятого поддержание требуемых уровней следует производить маневрированием подпорных сооружений;

3) режим откачки производить для участка, занятого наиболее важной (с экономических позиций) культурой. В этом случае на участках с более низкими средневзвешенными горизонтами возможно переувлажнение, а на участках с более высокими средневзвешенными горизонтами потребуется регулирование уровней в коллекторах подпорными сооружениями.

Каждому из вышеприведенных вариантов (установления средневзвешенных горизонтов откачки) соответствуют следующие условия: первому – полное отсутствие подпорных сооружений или неудовлетворительные уплотнения затворов на них; второму – исправность подпорных сооружений и наличие гарантированного источника воды для увлажнения; третьему – явно определяемый участок с наиболее ценной по сравнению с остальными сельскохозяйственной культурой, занимающей преобладающую площадь.

## Выводы

1. Для повышения эффективности мелиорации на осушительно-увлажнительных польдерных системах рекомендуется производить регулирование водного режима почвы с помощью соответствующего режима откачки насосной станции и маневрирования затворами подпорных сооружений.

2. Регулирование водного режима почвы в межканальном пространстве можно осуществлять по упрощенной схеме путем управления уровнями воды в проводящих каналах (в верхнем бьефе подпорных сооружений, в аванкамере насосной станции).

3. Упрощенная технология управления положением уровня воды на участках регулирования, подкомандных насосной станции польдера или подпорным сооружениям, учитывает фактические и допустимые для сельскохозяйственных культур положения уровней грунтовых вод, а также фактическое положение уровней воды в каналах на момент принятия решений о регулировании.

4. Варианты установления средневзвешенных горизонтов откачки при управлении уровнями воды в каналах определяются следующими условиями: отсутствием подпорных сооружений или неудовлетворительными уплотнениями затворов на них; наличием исправных подпорных сооружений и гарантированного источника воды для увлажнения; наличием участка, занимающего преобладающую часть увлажняемой площади с наиболее ценной по сравнению с остальными сельскохозяйственной культурой.

### Литература

1. Белковский В. И., Булавко А. Г., Дворжак П. и др. Мелиорация земель и регулирование водного режима почв. Минск: Ураджай, 1981. С. 142–153.
2. Временные методические указания по учету влияния водного режима мелиорированных торфяников на урожай сельскохозяйственных культур / П. И. Закржевский, В. Ф. Шебеко. Минск: БелНИИМиВХ, 1976.
3. Правила технической эксплуатации мелиоративных систем в Белорусской ССР. Минск, 1991.
4. Двухсторонний регулятор уровня в канале: А. С. № 103575 СССР, МКИ G 05 D 9/02. / А. П. Русецкий, Ю. М. Корчоха. № 3389414 /18–24; заявл. 03.02.82 // Открытия. Изобретения. М., 1983. № 30. С. 170.
5. Русецкий А. П., Коваленко В. П. Переходные процессы в осушительно-увлажнительных системах при автоматизации управления уровнями грунтовых вод // Водное хозяйство и гидротехническое строительство: Респ. межвед. сб. Минск: Высшая школа. 1986. Вып. 15. С. 52–56.
6. Русецкий А. П., Бузинный В. Г. Теоретические исследования переходных процессов в автоматизированных осушительно-увлажнительных системах / Осушительные и осушительно-увлажнительные системы: Сб. науч. работ. БелНИИМиВХ. Минск: БелНИИМиВХ. 1986. С. 60–66.
7. Рекомендации по оперативному регулированию уровней грунтовых вод. БелНИИМиВХ / Г. И. Афанасик, В. Н. Пятницкий и др. Минск: БелНИИМиВХ, 1984.
8. Регулирование водно-воздушного режима почв на осушительно-увлажнительных системах при выращивании сельскохозяйственных культур по интенсивным технологиям / РД 33 БССР 2 – 87: Указания. Минск: Минводхоз БССР, 1987.
9. Русецкий А. П., Бохонок В. И. Технология регулирования уровней воды на польдерных системах по средневзвешенным горизонтам. Осушительные мелиоративные системы в современных условиях: Сб. докл. междунар. конф., г. Сарны, 05.11.1997 г. Киев: ИПК Укрводприрода, 1987. С. 69–72.
10. Методические рекомендации по применению технологии откачек воды с польдерных систем по средневзвешенному горизонту / А. П. Русецкий, В. И. Бохонок. Минск: БелНИИМиЛ ААН, 1998.

*A. P. LIKHATSEVICH, A. P. RUSITSKY*

### **SUBSTANTIATION OF THE SIMPLIFIED TECHNOLOGY OF OPERATIVE CONTROL OF THE SOIL WATER REGIME DURING THE VEGETATION PERIOD WHEN USING DRIED-MOISTENED POLDER SYSTEMS**

#### **Summary**

The article considers the simplified technology of current control of the soil water regime during the vegetation period. It is based on periodic measurements of the position of ground water levels and water levels in channels. The technology includes the determination of controlling actions in order to provide a required direction of the ground stream relative to the position of a regulating system. The methods of determining the operation horizons of pumping on polders with computer-water removal for formation of necessary horizons in the channels of regulation sections are presented.