

чтобы максимально уменьшить отрицательные последствия осушения.

Несомненно, анализ и количественная оценка достоверности климатического стока отдельных лет, оценка влияния на сток гидротехнических мелиораций требуют серьезных дальнейших исследований.

### *Литература*

1. Мезенцев В. С., Карнацевич И. В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины.— Л., 1969.

А. А. ОМЕЛЬКО, П. В. ШВЕДОВСКИЙ, А. С. ПРИБЫШЕНЯ

## НЕКОТОРЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА ПРОЦЕССА ВЛИЯНИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА РЕЖИМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД СМЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Все методы прогноза можно разделить на три группы: эмпирические, балансовые и гидродинамические.

Модели эмпирических прогнозов базируются на гидрогеологических исследованиях, эмпирических зависимостях и связях, реализуемых с помощью физического и математического моделирования. Они устанавливают зависимость уровней подземных вод (УПВ) и других компонентов режима от различных гидролого-геофизических факторов, используя аналогию между природными явлениями, а также вероятностно-статистические методы.

Для построения моделей гидродинамических прогнозов используют уравнения динамики подземных вод, эти модели базируются на аналоговом и математическом моделировании.

Основой моделей балансовых прогнозов являются балансовые уравнения в общей или развернутой форме и математическое моделирование.

Все модели прогнозов учитывают закономерности естественного режима подземных вод.

При прогнозе влияния необходимо четко разграничивать его элементы (подъем и спад уровня, амплитуды и т. д.) и структуру, которую создают совокупности элементов.

Мелиоративное строительство в целом создает новую структуру режима, формирование которой совпадает с началом работ и заканчивается в период наступления стабилизации режима.

Аналоговое моделирование процесса влияния на гидро- и элек-

троинтеграторах всех типов не позволяет создать динамичную и относительно точно воспроизводящую бассейновую модель прогноза. Создание же физической модели с аналоговыми преобразователями или сеточной электрической модели требует огромных материальных затрат и большого объема исходных данных, которых в настоящее время ни для одного речного бассейна не имеется.

Недостаточность знаний о закономерностях формирования гидролого-гидрогеологической обстановки смежных территорий, о связях водоносных горизонтов с геофизическими процессами, взаимодействии последних с техногенными процессами, а также с подземным и поверхностным стоками определяет перспективность применения вероятностных методов с созданием адекватных математических моделей.

В настоящее время широко используются стохастические модели, основанные на корреляционных связях между факторами процесса [1].

Использование симплекс-метода позволило построить неполную трехфакторную кубическую модель второго порядка

$$\Delta h_0 = \beta_1 y_1 + \beta_2 y_2 + \beta_3 y_3 + \beta_{12} y_1 y_2 + \beta_{23} y_2 y_3 + \beta_{13} y_1 y_3 + \beta_{123} y_1 y_2 y_3, \quad (1)$$

удовлетворяющую условию

$$\sum_{i=1}^3 y_i = 100,$$

где  $y_i$  — критерии, определяющие долю участия  $i$ -го фактора в процессе;  $i$  — число варьирующих факторов;  $\beta_{ij}$  — регрессионные коэффициенты;  $\Delta h_0$  — расчетное снижение уровня грунтовых вод, м.

Обработка опытных данных по объектам и системам Белорусской ССР и Украинского Полесья позволила выбрать более представительные критерии типа:

гидролого-гидрогеологической характеристики

$$y_1 = \frac{n}{\sqrt{\frac{qx^2}{aH^2}}}; \quad (2)$$

мелиоративно-геофизической

$$y_2 = y_2' + y_2'', \quad (3)$$

$$y_2' = kh_{\text{дп}}^{\text{эФ}} \sqrt{\frac{F}{t}}, \quad (4)$$

$$y_2'' = [100 - (y_1 + y_3 + y_2')]; \quad (5)$$

характеристики интенсивности воздействия

$$y_3 = \sqrt{\frac{x^2}{mat}}, \quad (6)$$

где  $q$  — суммарное инфильтрационное питание потока, м/сут;  $x$  — расчетный радиус зоны влияния, м;  $H$  — мощность водоносного горизонта, м;  $t$  — время воздействия, сут;  $F$  — площадь мелиоративного объекта, га;  $h_{дф}^{эф}$  — расчетное снижение УГВ на границе при  $x = 0$ .

Для систем одностороннего действия регрессионные коэффициенты соответственно имеют значения +0,031; +0,083; +0,013; +0,037; +0,028; -0,077; -0,002.

Для систем двустороннего действия расчетная модель имеет вид

$$\Delta h_0 = (b_1 k y_1 + b_2 k^2 y_2 + b_3 k^3 y_3) \exp(-z^2), \quad (7)$$

где  $z = \frac{x}{2\sqrt{at}}$ ;  $k = \frac{1}{1+pz}$ ;  $b_1, b_2, b_3, p$  — коэффициенты системы, равные соответственно +35; -0,096; +0,75; +0,47.

Для взаимодействующих систем применимы эти же модели с вводом в критерий  $y_3$  коэффициента неравномерности влияния взаимодействующих систем

$$k_{нер} = \frac{1,38}{3\sqrt{x}} \sqrt{\sigma^{3,1}} \quad (8)$$

(здесь  $\sigma$  — коэффициент взаимодействия систем [2] с изменением значений коэффициентов  $n, m, k, b_1, b_2, b_3$  и  $p$ , равных соответственно +2,41; +0,089; +14,7; +0,31; -0,012; +0,64; +0,49).

Проверка адекватности модели и натуральных объектов производилась по дисперсии неадекватности с использованием критерия Фишера путем сравнения расчетных  $F_p^{7 \cdot 3}$  и табличных  $F_T^{7 \cdot 3}$  критериев на различных уровнях значимости [3, 4]. Используя линейность модели, расчеты наибольшей относительной погрешности выборочного среднеквадратичного отклонения величины  $\Delta h_0$ , определяемой через квантили  $t$  и  $\chi^2$ -распределения, при доверительной вероятности  $\alpha = 0,95$  и числе степени свободы  $f = 6$  определяют  $\lambda_{\Delta h_0} \leq 0,06$  и  $\lambda_{\omega(\Delta h_0)} = 2,03$ , где  $\lambda_{\omega(\Delta h_0)}$  — предельная погрешность коэффициента вариации  $\Delta h_0$ . Предположение о нормальной плотности распределения  $\Delta h_0$ , характеризующее нулевой эксцесс при 5%-ном риске ошибки, определяет погрешность в оценке абсолютного значения УГВ в пределах (+23,6) — (-30,1) %.

Более динамичной функциональной моделью процесса, рассматриваемого нами как бесконечная взаимосвязанная цепь причинно-следственных явлений, ограниченно изменяющихся в пространстве

и во времени, с единичной степенью обратной связи, определяющей условия пропорциональности и суперпозиции, является модель [5, 6]

$$\frac{dh}{dt} = F_t(Q_0 - Q_t), \quad (9)$$

где  $F_t$  — функция преобразований;  $Q_0$  и  $Q_t$  — соответственно вход (приток) и выход (сток) в исследуемой системе. Эта модель удовлетворяет следующей системе уравнений:

$$\int_0^t [u_t, h_0(0, 0), h_m(x, t)] dt = \min |_{u_t=h}; \quad (10)$$

$$\Delta h(t) = \varphi(h_0) \cdot F_t;$$

$$M[\Delta u(t)] = h^m(x, t),$$

где  $u_t$  — функциональное пространство возможных формирований функции  $H_0$ ;  $M$  — математическое ожидание расчетной функции;  $F(t)$  — уровенная функция, характеризующая пространственное изменение УГВ во времени;  $\varphi(h_0)$  — функция связи УГВ и режимоформирующих факторов.

Структурная схема исследуемого объекта включает зону воздействующего объекта (ЗВО), зону подземных вод смежной территории (ЗПВ), зону аэрации (ЗА), приток напорных вод ( $Q_{ГНВ}$ ), боковой приток ( $Q_{бок}$ ), отток на испарение ( $Q_{ис}$ ), подпитку с уровня грунтовых вод ( $Q_{п}$ ) и обратные связи ( $OC_i$ ) (рис. 1).

В соответствии с исследованиями объект по всем каналам воздействия (кроме  $Q_{бок}$  и  $Q_{ГНВ}$ ) является статическим и характеризуется линейными свойствами.

Согласно теории экстремальных систем, результативная последовательность процесса, формируемого наложением на естественный режим влияния воздействий естественных ( $H_p$ ) и техногенных факторов ( $H_{вл}$ ), представляет собой дискретный случайный процесс с определенным периодом повторения [6] и может быть представлена квадратурными составляющими режимов

$$H(n, t) = \{[H_p^1(n, t) + H_{вл}^1(n, t)]^2 + [H_p^2(n, t) + H_{вл}^2(n, t)]^2\}^{1/2}. \quad (11)$$

При нормальном законе изменения естественного режима для составляющих  $H_i(n, t)$ , аппроксимируя гидрологическую систему рядом звеньев с рассредоточенными параметрами и приняв в качестве основных характеристик передаточную функцию и импульсную переходную характеристику, представляющую реакцию системы на  $\delta$ -функцию, сопряженную по Лапласу и связанную преобра-

зованием Фурье, уравнение (11) определяет следующий рекуррентный моделирующий алгоритм:

$$\Delta H(x, t) = a_0 \Delta H(n) + a_1 \Delta H(n-1) + a_2 \Delta H(n-2) + 2H_1(n-1) + H_2(n-2), \quad (12)$$

где  $a_i$  — параметры алгоритма, определяемые методом дискретной аппроксимации функции;  $H_i$  — расчетные квадратурные составляющие режима влияния;  $\Delta H_i$  — соответствующее значение расчетного параметра уральной функции на входе в систему, реализуемого с помощью цифровой модели по блок-схеме (рис. 2).

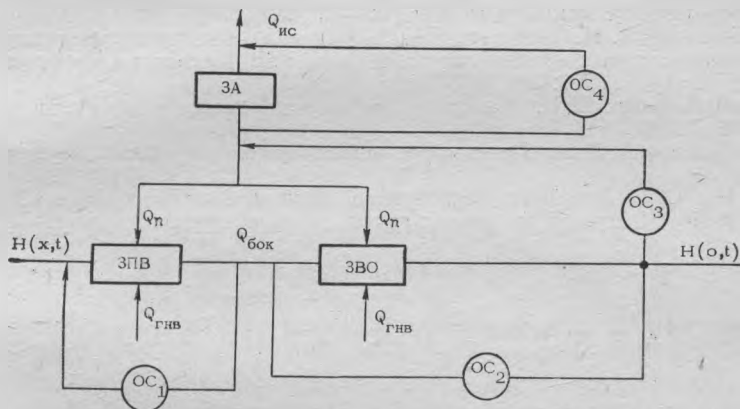


Рис. 1. Структурная схема исследуемого объекта

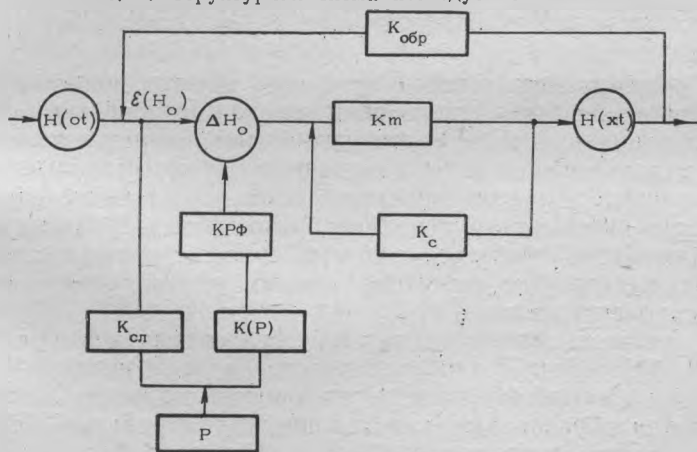


Рис. 2. Блок-схема цифровой модели прогноза

В качестве основных блоков введены: параметр воздействия  $P$ , комплекс режимоформирующих факторов (КРФ), коэффициенты: интенсивности воздействия ( $K/P$ ), случайности ( $K_{сл}$ ), ослабления воздействия во времени ( $K_c$ ), влияния обратной связи ( $K_{об}$ ), передаточная функция ( $K_T$ ).

Модель реализована на ЭВМ «Минск-22». Погрешность прогнозных характеристик не превышает  $\pm 18\%$  и зависит от точности и полноты исходных данных.

### *Литература*

1. Статистические методы в гидрологии.— Л., 1970.
2. Ивицкий А. И., Шведовский П. В. О наложении влияния взаимодействующих мелиоративных систем на снижение УГВ смежных территорий.— Тр. БелНИИМнВХ, т. XXV. Мн., 1977.
3. Пустыльник Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений.— М., 1968.
4. Свешников А. А. Прикладные методы теории случайных функций.— М., 1968.
5. Рао С. Р. Линейные статистические методы и их приложение.— М., 1968.
6. Кайсл Ч. Анализ временных рядов гидрологических данных.— Л., 1972.

А. И. ЗЯТЬКОВ, В. А. ГЕРБУТОВ, Т. А. НОВИКОВА

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНДИКАЦИИ МАГНИТООБРАБОТАННЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

Для решения комплексной проблемы защиты водоемов от загрязнения может быть использован переход на оборотные системы водоснабжения вместо прямоточных. Однако в результате многократного пользования воды изменяются ее качественные показатели, в частности увеличивается общее содержание солей, что приводит к интенсивному накипеобразованию. В связи с этим важной проблемой является контроль солевого состава и меры по его стабилизации, по предотвращению образования накипи на тепловых поверхностях.

Из существующих реагентных и безреагентных способов борьбы с накипеобразованием наиболее простой и экономичный — обработка воды в магнитном поле, когда в потоке жидкости появляются условия для образования кристаллических зародышей, сорбирующих на своих поверхностях ионы карбонатов кальция и магния, растущих и выпадающих в виде шлама.