

При этом в ряде случаев различие может достигать поливной нормы. Формула (4) позволяет оценить влагозапасы на начало мая заблаговременно за 10 дней и планировать работы по подготовке к орошению.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г о л ч е н к о М.Г., С т е л ь м а х Е.А. Методические рекомендации по определению расчетной обеспеченности орошения в Белоруссии. — Горки, 1978. — 60 с. 2. Руководство по составлению агрометеорологических прогнозов. — Л., 1962. — 268 с. 3. Б о г д а н о в а Т.Ф. Уточнение прогноза запасов влаги в почве к началу вегетационного периода для Западной Сибири // Тр. Гидрометцентра СССР. — 1978. — Вып. 193. — С. 120—123.

УДК 631.6

В.И.КУМАЧЕВ, канд. техн. наук (БСХА)

### УСТОЙЧИВОСТЬ НЕЛИНЕЙНОЙ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА ПОЧВЫ

Опыт применения нелинейных законов регулирования в различных отраслях техники автоматического управления показывает их эффективность. Вместе с тем проектирование устойчивых режимов работы таких систем является более сложным. Изменение параметров управляемого объекта может привести к качественно новым процессам, в том числе и к изменению устойчивости системы.

Известны работы [1, 2], в которых рассматриваются некоторые вопросы устойчивости гидромелиоративных систем двустороннего регулирования.

Однако в современных условиях совершенствования гидромелиоративных систем этого явно недостаточно.

Для исследования устойчивости необходимо описание динамики объекта управления. Последний описывается уравнением Буссинеска, которое представляет собой дифуравнение в частных производных. Известно [3, с. 128; 4, с. 310; 5; 6, с. 414], что объекты автоматического регулирования с распределенными параметрами, в том числе тепловые объекты, аппроксимируются обыкновенными дифференциальными уравнениями.

Такая аппроксимация основывается на том [7, с. 200], что в распределенном объекте значение переменной необходимо не по всей распределенной координате, а в большинстве случаев для начала и конца координаты, по которой распределен параметр.

Для описания объекта управления с распределенными параметрами дифференциальным уравнением необходимо исключить колебательные составляющие [8, с. 346]. Мелиоративный объект подчиняется этому условию, т.к. последний является идентичным тепловому, и представляет собой фильтр низких частот. Указанная аппроксимация возможна обыкновенными дифференциальными уравнениями 1-го и 4-го порядков с введением и без введения запаздывания [8, с. 346—351, 417].

Для аппроксимации объекта с распределенными параметрами обыкновенным дифуравнением 2-го порядка необходимо выполнение условия [8, с. 350]

$B \leq 0,265$ , где  $B = \frac{h(t_n)}{h_{уст}} \cdot h_{уст}$  означает конечное установившееся значение

уровня грунтовых вод, а  $h(t_n)$  является ординатой точки перегиба кривой  $h = f(t)$  и его изменения на данной вертикали. Эту ординату легко получить из кривой  $h = f(t)$ , рассчитанной по формулам С.Ф.Аверьянова [9, с. 195], или из кривой, полученной экспериментально на шлюзуемом участке, как описано в [10, с. 29, 30].

Автором путем полевых экспериментов и расчетов на основе решений С.Ф.Аверьянова [10, с. 29, 30; 11, с. 78..83] получены серии кривых изменения уровня грунтовых вод для расчетной вертикали посередине межканальной полосы в условиях характерных значений параметров гидромелиоративных систем двустороннего регулирования и грунтов, на которых применяются такие системы. Результаты определения  $B$  позволяют за счет свободы выбора точки перегиба кривой получить значения  $B = 0,03-0,26$ , что указывает на возможность описания динамики мелиоративных объектов обыкновенными дифференциальными уравнениями второго порядка [рис. 1]. Это позволяет воспользоваться известным в теории автоматического управления методом фазовых траекторий, который является одним из наиболее удобных методов исследования нелинейных систем.

Для удобства анализа переменную состояния  $h$  обозначим  $x$ . Обозначим допустимые значения диапазона нечувствительности  $2a$ , а экстремальные значения управления  $2b$ .

Динамика рассматриваемой системы с учетом введенных обозначений выражается уравнением

$$T_1 T_2 x'' + (T_1 + T_2) x' + x = F(x). \quad (1)$$

Вид характеристики управления позволяет уравнение (1) записать в виде системы. Введя  $x' = \frac{dx}{dt} = y$ , выразим  $y'$ :

$$\left. \begin{cases} y' = - \frac{(T_1 + T_2)y + x + b}{T_1 T_2} & \text{при } x \geq a; \\ y' = - \frac{(T_1 + T_2)y + x - b}{T_1 T_2} & \text{при } x \leq -a; \\ y' = - \frac{(T_1 + T_2)y + x}{T_1 T_2} & \text{при } |x| < a. \end{cases} \right\} \quad (2)$$

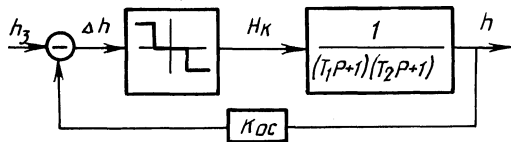


Рис. 1. Структурная схема гидромелиоративной системы управления:  $\Delta h$  — отклонение текущего значения глубины грунтовых вод от заданного;  $h_3$ ,  $H_K$  — напор воды в регулирующей сети;  $T_1$ ,  $T_2$  — постоянные времени мелиоративного объекта управления;  $P$  — оператор дифференцирования;  $K_{ос}$  — коэффициент усиления обратной связи

Из (2) исключим время и получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dy}{dx} = - \frac{(T_1 + T_2)y + x + b}{T_1 T_2 y} \text{ при } x \geq a; \\ \frac{dy}{dx} = - \frac{(T_1 + T_2)y + x - b}{T_1 T_2 y} \text{ при } x \leq -a; \\ \frac{dy}{dx} = - \frac{(T_1 + T_2)y + x}{T_1 T_2 y} \text{ при } |x| < a. \end{array} \right. \quad (3)$$

Положив в (3)  $\frac{dy}{dx} = N$ , определим  $y$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} y = - \frac{x + b}{T_1 T_2 N + T_1 + T_2} \text{ при } x \geq a; \\ y = - \frac{x - b}{T_1 T_2 N + T_1 + T_2} \text{ при } x \leq -a; \\ y = - \frac{x}{T_1 T_2 N + T_1 + T_2} \text{ при } |x| < a. \end{array} \right. \quad (4)$$

Полученные выражения (1—4) представляют собой общий вид уравнений изоклин на фазовой плоскости для гидромелиоративной системы управления уровнем грунтовых вод. Подставляя в (4) значения параметров гидромелиоративного объекта и управляющего устройства и задавая значениями  $N$ , получим в координатах  $x$ ,  $y$  поле изоклин, соответствующее данным конкретным условиям. Полученное поле в свою очередь дает возможность построить фазовый портрет конкретной мелиоративной системы управления и получить точные сведения о ее устойчивости.

Оценим устойчивость уровня режима, обеспечиваемого автоматической гидромелиоративной системой управления, для наиболее характерных параметров мелиоративного объекта и регулятора [1]. Диапазон нечувствительности регулятора  $2a = 4$  см, ресурс управления  $2b = 50$  см, постоянные времени мелиоративного объекта  $T_1 = 1$  сут,  $T_2 = 0,71$  сут. В связи с особенностью динамики мелиоративного объекта управления расчет для практического удобства выполним в указанных выше размерностях.

Из (4) получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} y = - \frac{x + 25}{0,71N - 1,71} \text{ при } x \geq 2; \\ y = - \frac{x - 25}{0,71N + 1,71} \text{ при } x \leq -2; \\ y = - \frac{x}{0,71N + 1,71} \text{ при } |x| < 2. \end{array} \right. \quad (4)$$

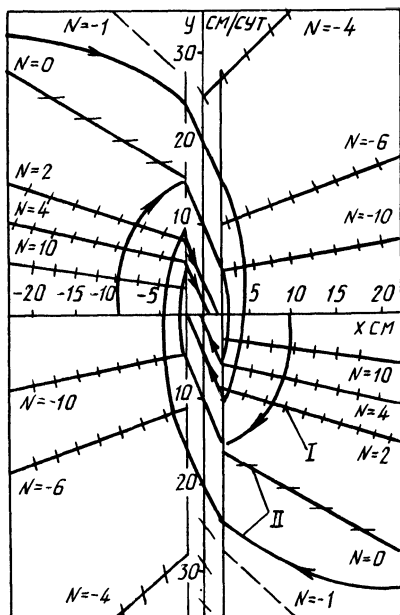


Рис. 2. Изоклины I и фазовые траектории II гидроиригационного объекта управления

По (4') для значений  $N$  строим поле изоклин 1 (рис. 2). Наклон траекторий II фазового портрета по отношению к оси  $x$  на каждой изоклине изображен отрезками прямых, проведенных под переменным углом  $\arctg N$ .

Полученный фазовый портрет мелиоративной системы управления для наиболее характерных параметров регулятора и мелиоративного объекта имеет траектории, замыкающиеся на отрезке, совпадающем с осью  $x$  и лежащем внутри диапазона нечувствительности регулятора. При любых начальных условиях изображающая точка по ее траектории приходит в состояние равновесия системы. Отсюда вытекает, что гидроиригационная система управления объекта с указанными характерными параметрами обеспечивает устойчивый режим уровней грунтовых вод на глубине заданной нормы осушения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. К у м а ч е в В.И. Исследование устойчивости водных режимов торфяно-болотной почвы // Пути повышения продуктивности мелиорированных торфяных почв и выработанных торфяников. — Киров. — 1983. — С. 50–51.
2. М о р д у х о в и ч Б.Ш. Оптимальное управление режимом грунтовых вод на гидроиригационных системах двустороннего действия // Водные ресурсы. — 1985. — № 3. — С. 59–69.
3. К а ф а р о в В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. — М., 1971. — 496 с.
4. Ш е в я к о в А.А., Я к о в л е в а Р.В. Инженерные методы расчета динамики теплообменных аппаратов. — М., 1968. — 320 с.
5. Г е р а с и м о в С.Г. Теоретические основы автоматического регулирования тепловых процессов. — М., 1967. — 206 с.
6. Б е с с е к е р с к и й В.А., П о л о в Е.П. Теория систем автоматического регулирования. — М., 1975. — 768 с.
7. Техническая кибернетика. Теория автоматического регулирования / Под ред. В.В.Солодовникова. — М. — Т. 1, 1967. — 768 с.
8. Р о т а ч В.Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. — М., 1973. — 440 с.
9. К о с т я к о в А.Н., Ф а в о р и н Н.Н., А в е р ь я н о в С.Ф. Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод. М., 1980. — 451 с.
10. С е л ь ч е н о к В.П., К у м а ч е в В.И. Оценка пригодности мелиорированных объектов для автоматизированного управления водным режимом // Мелиорация и водное хоз-во. 1974. — № 10. — С. 29, 30.
11. К у м а ч е в В.И. Исследование управляемости гидроиригационного объекта // Эксплуатация мелиоративных систем в зоне избыточного увлажнения. БелНИИМиВХ. 1974. — С. 78–83.