

УДК 631.6:62-52

К ВОПРОСУ О КРИТЕРИЯХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ОСУШЕНИЯ И ОРОШЕНИЯ

О. Г. ВАРШАВСКИЙ, В. А. СЕМЕНОВ, Н. Л. ЛАТИФОВ

(Кафедра метеорологии)

При разработке автоматизированных систем управления технологическими процессами важное значение имеет формулирование критериев управления — соотношений, характеризующих качество функционирования технологических объектов управления в целом и принимающих конкретные числовые значения в зависимости от используемых управляющих воздействий (ГОСТ 17194—76 «Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Термины и определения»).

В последнее время понятие критерия управления часто подменяется целью управления — величиной, не связанной непосредственно с особенностями данного процесса. При этом структура систем управления и сбора информации является самостоятельным результатом, не вытекающим из требований к системе.

В настоящей работе сделана попытка построения критериев управления для капельного орошения, систем с применением широкозахватной дождевальной техники типа «Фрегат» и польдерных систем для осушения. Особое внимание было обращено на особенности собственно технологических процессов и их учет при синтезе критериев управления.

При изменении технических средств осушения и орошения могут меняться и критерии управления. Сформулированные критерии в значительной степени охватывают диапазон автоматизируемых внутрихозяйственных мелиоративных объектов.

Рассмотрим вначале общие требования к системам. Во всех трех случаях управление осуществляется инерционными объектами, для которых значения наиболее важных переменных в разные моменты времени коррелированы. В частности, влажность почвы в соседние дни не может считаться независимой, поэтому критерий управления целесообразно формировать в виде интеграла, а не функции от выбранных координат [1]. Минимизация критериев управления, имеющих смысл функции потерь [3], во всех случаях обеспечивается за счет изменений во времени расходов или объемов подводимой или отводимой воды.

Ниже рассматриваются особенности объектов управления и даются конкретные формулировки критериев управления польдерных осушительных систем [2]. Допустим, что польдерная система состоит из N участков, каждому из которых присвоен номер $n=1, 2, \dots, N$. Главная задача — поддержание влажности на каждом участке в соответствии с заданными значениями $W_n^{opt}(\tau)$; при этом принимается, что в пределах одного участка влажность в разных точках в одно и то же время одинаковая. Если влажность почвы на соседних полях в одно

и то же время разная, то этого достаточно, чтобы отнести их к разным участкам. Таким образом, определяющим для каждого n -го участка является отклонение влажности от оптимального значения $(W_n(\tau) - W_n^{opt}(\tau))$, на котором основано построение критерия управления. Представляется важным нелинейный учет отклонений влажности почвы от оптимального значения, что позволит считать зону малых отклонений практически оптимальной; в подынтегральное выражение для критерия управления входят

$$f_n [W_n(\tau) - W_n^{opt}(\tau)] = a [W_n(\tau) - W_n^{opt}(\tau)]^2, \quad (1)$$

$$a = \begin{cases} B & \text{при } W_n(\tau) \geq W_n^{opt}(\tau) \\ b & \text{при } W_n(\tau) \leq W_n^{opt}(\tau), \quad B > b. \end{cases} \quad (2)$$

Необходимо ввести в выражение для критерия управления биологические коэффициенты $K_n(\tau)$, отражающие зависимость чувствительности культур к нарушению водного режима корнеобитаемого слоя почвы в разные фазы развития, и корректирующие коэффициенты участков α_n , отражающие величину и качество урожая, получаемого с разных участков.

Критерий управления польдерной осушительной системы можно представить в виде

$$F_n = \sum_{n=1}^N \alpha_n \int_{\tau_n}^{\tau_n+T} K_n(\tau) f_n [W_n(\tau) - W_n^{opt}(\tau)] d\tau \rightarrow \min_{G_i}, \quad (3)$$

где G_i — расход воды через i -й канал ($i=1, 2, \dots, 1$); τ_n — текущий момент, начиная с начала вегетации на n -м участке; T — глубина прогнозирования.

Итак, значение критерия при фиксированном управлении зависит от сложившейся ситуации на каждом осушаемом участке и роли этого участка в экономике хозяйств, расположенных на польдере.

Выбор переменных G_i в качестве управляющих воздействий в задаче оптимизации влажности обусловлен ее естественной связью непосредственно с уравнениями влагопереноса. Связь между G_i и W_n — динамическая; при ступенчатом изменении расхода влажность корнеобитаемого слоя почвы выходит на практически установившийся уровень через время T (условно T — время запаздывания), именно это время и определяет длительность интервала, на котором осуществляется интегрирование функ-

ции f . Дальнейшее интегрирование при вычислении критерия излишне, поскольку может возникнуть потребность в новом изменении управляющих воздействий. Интегрирование на меньшем отрезке времени также неправильно, поскольку выбранное управление будет влиять на влажность в моменты времени, не учитываемые критерием. Условно принято, что время запаздывания примерно одинаково на всех участках полей и составляет 3—4 сут.

При оптимизации процесса осушения используется модель, выходными координатами которой являются значения $W_n(\tau)$, а входными — $G_i(\tau)$, значения агрометеопараметров, подпитки и т. п. По всем указанным входным значениям инерционность каналов влияния на влажность измеряется десятками часов, поэтому необходим только краткосрочный прогноз метеопараметров.

Иная ситуация возникает при оптимизации сроков и норм полива в системах орошения, оснащенных широкозахватными дождевальными машинами типа «Фрегат» [4]. При разработке критерия управления для этого случая исходили из того, что существуют орошаемые участки одинаковой влажности, соответствующие площади полива одной машиной или сектору, вырезанному на этой площади. Сектора равной влажности, относящиеся к нескольким дождевальным машинам, не могут относиться к одному и тому же участку. Задача управления заключается в установлении моментов начала поливов. При этом следует учитывать, особенно при движении машин на малых скоростях, время их прохода, исчисляемое несколькими сутками. Практически целесообразно считать отдельным участком сектор, поливаемый машиной в течение одних суток. Целесообразно осуществлять полив без продолжительных остановок дождевальных машин («Фрегатов») на границах между участками, порядок их орошения определяется технологией полива. В ряде случаев существенно ограничения на число одновременно подключаемых машин.

В целом критерий управления рассматриваемой системы имеет вид

$$F_\phi = \sum_{n=1}^N \left\{ \int_{\tau_n}^{\tau_n + \Delta T_n} f [W_n(\tau) - W_n^{onm}(\tau)] \varphi(\tau - \tau_n, \tau_n) d\tau + \psi(M_n) \right\} \rightarrow \min_{\Delta T_n} \quad (4)$$

Представленный критерий несколько отличается от такового для полей. Минимизация критерия осуществляется путем оптимального назначения промежутков времени ΔT_n , отменяющих текущий момент времени τ_n , исчисляемый с начала вегетации, от момента начала полива соответствующего участка. В случае переменной поливной нормы минимизация критерия связана с выбором и этой переменной. Как правило, управление одновременно не-

сколькими дождевальными машинами («Фрегатами») охватывает относительно небольшую группу машин, в пределах которой начало вегетации для разных участков есть величина постоянная, поэтому значение τ_n одинаково для разных n .

При оптимизации моментов $(\tau_n + \Delta T_n)$ используется информация о плановых сроках начала следующего за ближайшим поливом, определяемых значениями $(\tau_n + \Delta T_n)$; именно в этих пределах необходимо интегрирование при вычислении критерия управления F_ϕ , поскольку ближайший полив, естественно, влияет на влажность до момента $(\tau_n + \Delta T_n)$, а за пределами последнего определяющее влияние оказывает последующий полив.

Интегрирование на большую глубину ΔT_n вызывает необходимость в долгосрочном прогнозе метеопараметров при вычислении F_ϕ . Чем долгосрочнее прогноз при прочих равных условиях, тем меньше его надежность. Это обстоятельство, а также необходимость учета разных требований при поддержании заданной влажности в разные периоды вегетации приводят к включению в подынтегральное выражение множителя $\varphi(\tau - \tau_n, \tau_n)$.

Наконец, в уравнении (4) содержится монотонно возрастающее слагаемое $\Psi(M_n)$, определяющее затраты на орошение. Необходимость в этом слагаемом также связана с долгосрочностью прогноза — в случае ожидания осадков система будет стремиться к экономии воды, при этом отодвинутся сроки ближайших поливов.

В целом критерий F_ϕ может меняться в широких пределах в зависимости от погодных условий.

Принципиально иной критерий может быть построен для систем капельного орошения [5]. Предлагаемый критерий F_k отвечает преимущественно методическим целям.

При капельном орошении вокруг корневой системы растения образуется контур увлажнения, внутри которого влажность в различных точках одинаковая и постоянная и существенно выше, чем за пределами контура. В соответствии с этим требования к поливу при капельном орошении сводятся к тому, что при учете типа почвы размеры контура увлажнения должны быть постоянны. В рассматриваемой системе предусмотрены специальные датчики влажности, установленные в корнеобитаемой зоне N растений. С их помощью измеряется средняя влажность вдоль указанных направлений (R), что позволяет судить о положении границ контуров влажности вдоль этих направлений. Критерий F_k при капельном орошении является интегралом от суммы отклонений измеренной влажности и соответствующих оптимальных значений вдоль выбранных направлений:

$$F_k = \int_{\tau}^{\tau+T} \left\{ \sum_N \sum_{r=1}^R f [W_r(\tau) - W_r^{onm}(\tau)] \right\} d\tau \rightarrow \min_G \quad (5)$$

Критерий минимален (равен нулю), если вдоль всех измеряемых направлений у растений размеры контура увлажнения оптимальны. Подбор оптимального срока полива может осуществляться при помощи пробных поливов на специально выделенном участке. При необходимости можно

вводить коррекцию в оценку изменений размеров контура увлажнения по различным направлениям (снабдить функцию f индексом r). Возможно видоизменение функции f с целью расширения контура увлажнения за пределы распространения основной корневой массы растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузин Л. Т. Основы кибернетики. Т. I. Математические основы кибернетики. М.: Энергия, 1973. — 2. Маслов Б. С., Станкевич В. С., Черкенок В. Я. Осушительно-увлажнительные системы. М.: Колос, 1981. — 3. Фельдбаум А. А., Дудыкин А. Д., Мановцев А. П., Миролюбов Н. Н. / Под ред. А. А. Фельдбаума. — Теоретические

основы связи и управления. М.: Физматгиз, 1963. — 4. Широкозахватные дождевальные машины «Фрегат» и «Волжанка». — В сб. науч. тр. ВНИИМитП. Т. V. Коломна, 1974. — 5. Шумаков Б. Б. и др. Теоретические и экспериментальные исследования капельного орошения. — Вестник с.-х. наук, № 7, 1978.

Статья поступила 15 июля 1984 г.