

**Дубовиков А. Ю.**

аспирант,

**Леви Л. И.**

доктор технических наук, профессор,

Луганский национальный аграрный университет

## **ФОРМИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ПРИВОДЯЩИХ К ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛИВА ПО БОРОЗДАМ**

Основными факторами, определяющими оптимальные для конкретных условий сочетания элементов техники полива при известных поливных нормах, являются уклон в направлении полива и водопроницаемость почвогрунтов.

При проектных проработках широко используются нормативные элементы техники полива, рассчитанные Н.Т. Лактаевым [1] для предложенных им типовых сочетаний «уклон-водопроницаемость», получившие дальнейшее развитие в работе Г.Н. Павлова и его учеников [2]. Основаны они на большом объёме полевых исследований поливов по бороздам на фоне предполивной влажности 0,65 от наименьшей влагоемкости.

В производственных условиях добиться оптимальных (одновременное удовлетворение двух критериев: высокая эффективность использования поливной нормы и приемлемая равномерность увлажнения) сочетаний элементов техники полива довольно сложная задача. Не стандартизированную длительность водоподачи в борозды сложно увязать с организацией орошения группы полей. Без увязки водоподачи в контур орошения с организацией орошения на отдельных полях этого контура существенно возрастают организационные потери оросительной воды, превышающие оценкам 25 % от водоподачи в контур [4, с. 354].

На практике длительность водоподачи в борозды и зависящая от нее длительность полива определяются не оптимальной продолжительностью полива, а возможностями организации эффективного полива. Поэтому целью исследования является постановка задач приводящих к эффективному поливу.

### **1. Модель полива по бороздам**

В данной модели полива по бороздам, поверхность потока воды при орошении основано на аналитическом решении нулевой инерции дифференциальных уравнений [3, с. 10]. Модель предполагает сток воды по произвольной форме борозд с постоянной скоростью притока. Площадь инфильтрации рассчитываются по равноудалённым вычислительным узлам  $X_{inf}$  по борозде, и интегрируется по окончании борозды. Поверхностные и подземные потоки связаны итерационной схемой описанной в [4, с. 357]. Окончательное уравнение модели, имеет следующий вид:

$$A_0(t) = \left\{ \frac{\left[ \frac{\bar{v}(t)A_0(t)}{K} \right]^2 - \frac{\bar{q}(t)\bar{v}(t)A_0(t)\bar{R}^{4/3}}{\mathcal{G}} \cdot \left( \frac{\alpha+2}{\alpha+1} \right)^\alpha}{\left( \frac{c\alpha}{\alpha+1} \right) \cdot \left[ \frac{A_0(t)^{(\alpha+2)/\alpha}}{V_{in}(t) - V_{inf}(t)} \right] + S_0 \cdot \bar{R}^{4/3}} \right\}^{-\frac{\alpha}{2}} \quad (\text{формула 1})$$

$$x_{тип}(t) = (\alpha + 1) \frac{V_{in}(t) - V_{inf}(t)}{A_0(t)} \quad (\text{формула 2})$$

$$V_{inf}(t) = \sum_{i=1}^n (\Delta x_{inf} \cdot I(t, x_{inf}(i)) + \frac{I(t, x_{inf}(n))}{2} \cdot (x_{тип}(i) - n \cdot \Delta x_{inf})) \quad (\text{формула 3})$$

Здесь  $A_0$  - площадь поперечного сечения на входе поля;  $v$  - скорость потока;  $R$  - гидравлический радиус;  $S_0$  - продольный уклон поля;  $K$  - коэффициент гидравлической шероховатости ложа борозды;  $\mathcal{G}$  - ускорение свободного падения;  $V_{in}$  - объем притока воды;  $V_{inf}$  - объем впитывания воды в почву;  $x_{тип}$  - расположение конца волны орошения;  $I$  - суммарное впитывание на единицу длины;  $n$  - количество увлажнённых разделов впитывания;  $\Delta x_{inf}$  - расстояние между последовательными разделами впитывания  $x_{inf}$ ;  $\alpha$  и  $c$  - параметры геометрии борозды.

Для определения объёма впитывания воды в почву -  $V_{inf}$ , используется программа Hydrus-2 [6], которая моделирует процесс впитывания, основываясь на модели Ричардсона для потоков в насыщенной почве. Отбор влаги корнями растений интегрировано в программу. Отбор влаги корнями растений предполагает увеличение отбора влаги с увеличением времени инфильтрации. При достижении максимальной корневой глубины, отбор влаги растения ассоциируется со временем потенциально максимальному суточному индексу площади листа. Активность отбора влаги корнями экспоненциально увеличивается с глубиной [5, с. 128]. Испарение считается от поверхности почвы, которая также принимает во внимание изменение типа верхнего граничного условия на поверхности, расчёта точек впитывания при орошении. Модель роста растения основано на суточном индексе площади листа (LAI) с использованием принципов, изложенных в [5, с. 163].

## 2. Разработка внутренней и внешней задачи оптимизации

Основная задача оптимизации, исходя из математической модели полива, это нахождение оптимального решения для получения максимальной урожайности  $Y$ :

$$\max Y(S) : S = \{(t_1, V_1, q_1), \dots, (t_i, V_i, q_i), \dots, (t_n, V_n, q_n)\} \quad n, t_i \in N; V_i, q_i \in R, \quad (\text{формула 4})$$

$$S^* = \arg \max Y(S), \quad (\text{формула 5})$$

где  $S^*$  - оптимальное расписание для всего вегетационного периода, состоящий из количества поливов  $n$ , которые определяются временем -  $t$ , глубиной орошения -  $V$  и скоростью притока -  $q$ .

Предположим, что эта задача разбивается на две подзадачи: создание графика полива и управление параметрами орошения. Для этого разделим основной вектор параметра системы  $S$  на два вектора  $S_s$  - оптимизация расписания и  $S_c$  - оптимизация параметров полива, тогда:

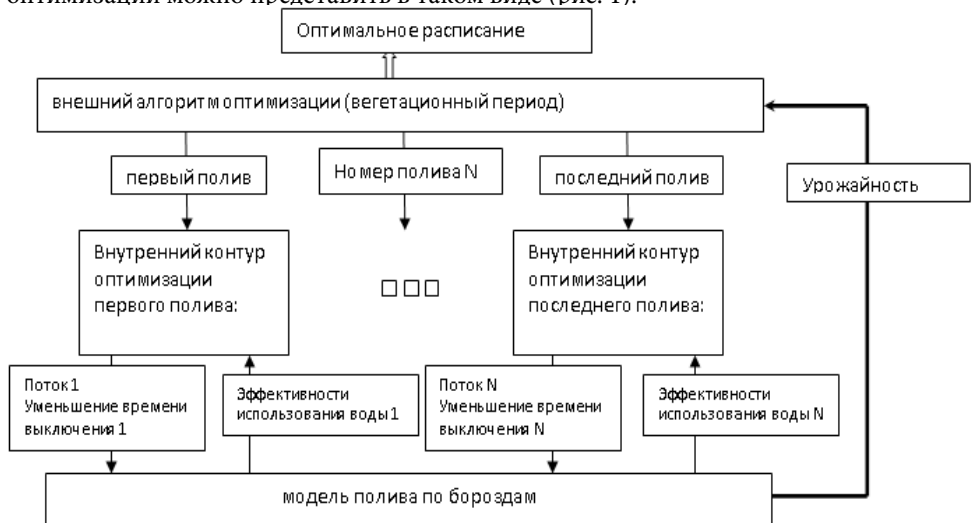
$$S = \{s\}_n, \quad s = \{(s_{t,i}, s_{c,i})\}_{i=1..n}, \quad s_{t,i} = (t_i, V_i), \quad s_{c,i} = q_i. \quad (\text{формула 6})$$

$$\{s_i\}_n^* = \arg \max Y(\{(s_{t,i}, s_{c,i})\}_{i=1..n}), \quad (\text{формула 7})$$

$$s_{c,i}^* = \arg \max I_{\text{last}}(s_{t,i}^*, s_{c,i}) \quad i = 1..n. \quad (\text{формула 8})$$

Внешний контур оптимизирует урожайность растения  $Y$  по отношению к количеству поливов  $n$ , с контрольными параметрами, оптимизированными для каждого из оросительных мероприятий. Внешний контур оптимизации имеет неизвестное количество оросительных мероприятий.

Внутренний контур находит оптимальную скорость притока -  $q$  по отношению к суммарному впитыванию на единицу длины, в конце борозды -  $I_{\text{last}}$  для определённого параметра времени  $t_i$  и глубины орошения  $V_i$ . Эти параметры передаются внешним контуром оптимизации. Эта задача предполагает высокую однородность распределения и низкий сток для каждого полива. Основную задачу оптимизации можно представить в таком виде (рис. 1).



«Оптимизации орошения по бороздам» рисунок 1

## **Выводы**

На основе математической модели полива по бороздам, описанной в данной работе, сформированы задачи оптимизации. Эти задачи, приводят к повышению урожайности растения и позволяют наиболее эффективно и продуктивно использовать воду, балансируя требования сельхозкультур на орошение и экологические требования.

## **Литература:**

1. Лактаев Н.Т. Совершенствование оросительных систем и мелиорация земель Узбекистана / Джурабеков И.Х., Лактаев Н.Т. – Ташкент: Узбекистан, 2003. - 152с.
2. Павлов Г.Н. Районирование орошаемой территории Узбекистана по
3. рациональным способам орошения / Павлов Г.Н - Ташкент, 2002. - 60 с.
4. G. H. Schmitz and G. J. Seus Mathematical Zero-Inertia Modeling of Surface Irrigation: Advance in Furrows // Journal of Irrigation and Drainage Engineering. – 1998. - №118(1).- pp. 1–18.
5. Th. Wöhling, R. Singh, and G. H. Schmitz Physically Based Modelling of Interactive Surface subsurface flow During Furrow Irrigation Advance // Journal of Irrigation and Drainage Division. – 2004. - №130(5). - pp. 349–356.
6. Шеин Е. В. Агрофизика / Шеин Е. В. - М.; СПб.: - 2006. - 194 с.
7. J. Simunek, M. Sejna, and M. Th. van Genuchten, Hydrus-2d. User Manual. // Boulede, Co: International Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines, 1996, (IGWMC-TPS 53).