

ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СРАБОТКИ ГРУНТОВЫХ ВОД ПРИ ПРЕДУБОРОЧНОМ ОСУШЕНИИ РИСОВЫХ ЧЕКОВ

Попов В. А. – д. т. н., профессор

Рындин А. Н. – аспирант

Всероссийский научно-исследовательский институт риса

В статье описано построение математической модели сработки бугра грунтовых вод. Построенная математическая модель позволяет рассчитать форму бугра грунтовых вод при осушении рисовых чеков, что может быть использовано при планировании процесса их осушения.

Население Земли ежегодно растет, а следовательно, растут и потребности в сельскохозяйственных продуктах. Наибольшие темпы роста населения наблюдаются в азиатских странах (Китай, Индонезия и Индия), где 35–80 % общего потребления калорий приходится на культуру риса [1]. Таким образом, продовольственная безопасность Азии будет зависеть от продуктивности рисовых полей.

Потенциальная урожайность риса достаточно велика, 12–15 т/га [2], но, к сожалению, как в Азии, так и в условиях Кубани, где рисосеяние получило наибольшее распространение, урожайность редко превышает 5 т/га. Это говорит об огромных потенциальных биотехнических возможностях рисовой культуры. Недобор урожая происходит из-за целого ряда факторов: технических, технологических и организационных, в частности, при стихийном проведении предуборочного осушения рисовых чеков потери зерна достигают 1,2–1,8 т/га [3].

В связи с вышеизложенным создание отечественных высокопродуктивных систем земледелия, позволяющих увеличить урожайность риса, является актуальной задачей.

Для управления технологическими процессами на рисовых оросительных системах обычно используются программные комплексы без обратной связи [4], что не позволяет учитывать индивидуальные особенности чеков, климатические условия, обеспеченность водными и минеральными ресурсами. Это также не позволяет скоординировать диспетчерскую работу на рисовой оросительной системе.

Одним из важнейших вопросов в условиях Краснодарского края является отладка управления процессом предуборочного осушения рисовых чеков. Связано это с особыми почвенными и климатическими условиями региона. Решение этого вопроса позволит снизить потери урожая при уборке, повысить качество зерна и внедрить в производство позднеспелые сорта риса.

Для определения сроков предуборочного осушения необходимо:

1. Определить дату созревания исходя из климатических условий года, сроков посева и сортов.
2. Определить время, за которое может быть осуществлено понижение уровня грунтовых вод до глубины 0,6–0,8 метров от поверхности земли, а влажность снизится до 28–30 %. Исследованиями ВНИИ риса установлено, что наивысшая производительность комбайнов и наименьшие потери зерна наблюдаются на чеках с указанными выше параметрами.

По первому вопросу публикаций в литературе не имеется. Из публикаций по второму вопросу известно, что после окончания подачи воды на рисовый чек вода расходуется на транспирацию, испарение и фильтрацию. В работах [5; 6] выведены формулы для испарения и транспирации – основных элементов водного баланса. Неизученным

остается вопрос по сработке уровня грунтовых вод в предуборочный период.

После поверхностного осушения рисового чека на водоупоре, как известно, остается бугор грунтовых вод. Для количественного описания того, что происходит с ним при наличии подстилающего горизонтального водоупора, необходимо вывести уравнение, описывающее неустановившееся безнапорное движение. Воспользуемся для этого уравнением теплопроводности, заменив в нем коэффициент теплопроводности на коэффициент гидропроводности. В общем случае оно будет иметь следующий вид:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) + f(x, y, t), \quad (1)$$

где $a = \frac{kh_{cp}}{m}$ – коэффициент гидропроводности,

$$f(x, y, t) = \frac{w(x, y, t)}{m}, \quad m – \text{пористость,}$$

h_{cp} – среднее значение глубины,

$w(x, y, t) = \varepsilon - c$ – разность между инфильтрацией и испарением.

Решение уравнения представим в форме:

$$h(x, y, t) = \frac{1}{4\pi a t} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2}{4at}\right) h_0(x_1, y_1) dx_1 dy_1 + \frac{1}{4\pi a} \int_0^t \frac{dt_1}{t-t_1} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2}{4a(t-t_1)}\right) f(x_1, y_1, t_1) dx_1 dy_1. \quad (2)$$

Для решения задачи моделирования понижения уровня грунтовых вод рассмотрим одномерный случай с координатой x и отсутствием инфильтрации и испарения

$$\frac{\partial h}{\partial t} = a \frac{\partial^2 h}{\partial x^2}, \quad (3)$$

установив для (3) следующие начальные и краевые условия:

$$h \Big|_{t=0} = h_0(x); \quad k \frac{dh}{dx} \Big|_{x=0} = c_0 \{h \Big|_{x=0} - \tilde{h}_0\}; \quad -k \frac{dh}{dx} \Big|_{x=L} = c_L \{h \Big|_{x=L} - \tilde{h}_L\}, \quad (4)$$

где c_0 и c_L – коэффициенты пропорциональности, зависящие от физических свойств чека и дрен и характеризующие просачивание воды в дренах. При решении задач теплопроводности такой коэффициент называют коэффициентом внешней теплопроводности, или коэффициентом теплообмена, \tilde{h}_0 и \tilde{h}_L – заданные уровни воды в дренах.

Предположим, что c_0 и c_L стремятся к бесконечности. Это имеет место в случае поддержания воды в дренах на определенном уровне. Тогда, решая задачу методом Фурье, получим форму бугра грунтовых вод:

$$\eta(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2}{L} \exp\left(-\frac{n^2 \pi^2 at}{L^2}\right) \sin \frac{n\pi x}{L} \int_0^L h_0(x) \sin \frac{n\pi x}{L} dx. \quad (5)$$

Если $h_0(x) = const$, то скорость понижения уровня грунтовых вод будет рассчитываться по формуле:

$$\frac{d\eta}{dt} = \sum_{n=0}^{\infty} \left(-\frac{2h_0 n\pi a}{L^2}\right) \exp\left(-\frac{n^2 \pi^2 at}{L^2}\right) (1 - \cos n\pi) \sin \frac{n\pi x}{L}. \quad (6)$$

Разработка модели растекания бугра грунтовых вод – очередной важный шаг на пути к созданию математической модели и, как следствие, компьютерной технологии осушения рисового чека.

Список литературы

1. Bouman, B. A. M. ORYZA 2000: modeling lowland rice / B. A. M. Bouman, M. J. Kropff, T. P. Tuong, [etc.]. – Los Banos : IRRI, 2001. – 235 pp.
2. Алешин, Е. П. Программирование высоких урожаев риса на Кубани / Е. П. Алешин, В. Ф. Руденко, Л. И. Стомба. – Краснодар, 1980. – 95 с.
3. Попов, В. А. Система орошения риса / В. А. Попов. – Краснодар, 2000. – 30 с.

4. Франс, Дж. Математические модели в сельском хозяйстве / Дж. Франс, Дж. Х. М. Торнли. – М. : Агропромиздат, 1987. – 358 с.
5. Попов, В. А. Транспирация как генератор продукционного процесса / В. А. Попов // Мелиорация и водное хозяйство. – 1999. – № 3. – С. 33–35.
6. Попов, В. А. Физика и математическая модель транспирации / В. А. Попов, Л. Д. Квасинин // Рисоводство. – 2002. – № 2. – С. 85–88.