

Математическое МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСУШЕНИЯ ПРОСТЕЙШЕГО ПОЛЬДЕРА

Описано состояние польдерных территорий Калининградской области. Рассмотрены особенности функционирования польдерных систем. Представлена математическая модель осушения простейшего польдера, расположенного ниже уровня моря.

Введение

Состояние польдерных территорий Калининградской области

Учитывая природно-климатические условия Калининградской области, трудно сегодня представить перспективу дальнейшего развития растениеводческой отрасли без мелиоративного обустройства земли, так как более 95% сельскохозяйственного производства ведется на мелиорированных землях [1, 2].

От уровня мелиоративной обустроенности земель, технического состояния мелиоративных систем и гидротехнических сооружений, их эксплуатации и содержания всецело зависит водно-воздушный режим почв, уровень плодородия. Характерной особенностью является и то, что около 100 тыс. га польдерных территорий, находящихся ниже уровня Балтийского моря, ограждены защитными дамбами и осушаются с помощью 120 электрифицированных насосных станций. Без устойчивого функционирования указанных сооружений на этих землях ведение сельского хозяйства, развитие систем питьевого водоснабжения и водоотведения в малых городах и сельскохозяйственных населенных пунктах Калининградской области, да и само проживание населения вообще немыслимо [2, 3].

Польдерные системы: мелиоративные системы с принудительным, с помощью насосно-силового оборудования, сбросом избыточных вод за пределы осушаемого массива, ограждаемого защитными дамбами. Польдеры применяются при освоении равнинных низменных территорий, прилегающих к морям, морским заливам или находящихся в поймах рек, и, в связи со своим положением,

находящихся длительное время в затопленном или подтопленном состоянии. Спряжения или регулирование рек-водоприемников приводят к существенному нарушению сложившегося экологического равновесия территории [5].

Польдерные системы имеют большие, по сравнению с самотечными системами, возможности по управлению водным режимом почв, однако и им свойственны недостатки в работе. Анализ работы действующих польдерных систем показал, что во время проведения откачек на осушаемом массиве выделяется зона более зависимая от работы насосной станции и так называемая зона самотечного осушения. Размеры зоны активного влияния режима работы насосной станции на осушаемый массив, определенные для различных условий Прибалтики, Белоруссии и Украины колеблются от 800 до 1600 га.

Анализ экспериментальных данных показывает, что неравномерность осушения массива польдерной системы является проявлением несогласованного режима работы отдельных ее элементов: регулирующей сети, проводящей сети и насосной станции с ее рабочими параметрами: производительностью и отметками установки насосно-силового оборудования. Из анализа экспериментальных данных следует, что соответствующим образом проведенный подбор параметров каналов проводящей сети в состоянии обеспечить управление водным режимом почв на всей площади осушаемого массива польдерной системы в заданных сельскохозяйственным производством пределах [5].

В условиях безуклонного и малоуклонного рельефа осушаемых массивов польдерных систем формирования притока к створу насосной станции происходит под влиянием образующихся в открытых каналах проводящей сети кривых спада. Кривые же спада уровней воды в каналах проводящей сети формируют динамику уровней грунтовых вод осушаемых массивов, и в зависимости

Н.Л. Великанов*

д.т.н., профессор
кафедры водных
ресурсов
и водопользования
ФГОУ ВПО
«Калининградский
государственный
технический
университет»

В.А. Наумов,

д.т.н., профессор,
заведующий
кафедрой водных
ресурсов
и водопользования
ФГОУ ВПО
«Калининградский
государственный
технический
университет»

Л.В. Примак,

д.т.н., профессор,
член экспертного
совета
по ЖКХ Комитета
ГД РФ
по строительству
и земельным
отношениям

* Адрес для корреспонденции: monolit8@yandex.ru

от величин уклонов свободной поверхности воды каналов в критические периоды работы польдерной системы будет зависеть характер формирования водного режима почв осушаемых массивов, степень равномерности осушения массива осваиваемой территории.

Материалы и методы исследования

Математическое моделирование польдерных систем

Рассмотрим математическую модель осушения простейшего польдера, расположенного ниже уровня моря и показанного на рис. 1. Размеры польдера L_x на L_y , через промежутки L размещены дрены длиной L_y , диаметром d . Из дрен вода поступает в открытый канал. В точке O находится насосная станция.

Динамика уровня грунтовых вод $H(x,y,t)$ участка польдера, как известно, описывается нестационарным двумерным уравнением Буассинеса [6]

$$\mu \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \cdot H \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \cdot H \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \xi(x,y,t) \quad (1)$$

где: μ – коэффициент водоотдачи; x, y – горизонтальные координаты; K – локальный коэффициент фильтрации; ξ – функция источника (стока).

Начальные и граничные условия к дифференциальному уравнению в частных производных (1) для прямоугольного участка размером L на L_1 между двумя дренами

$$H(x,y,0) = H_0, \quad H(0,y,t) = H(L_1,y,t) = h(y,t), \quad H(x,0,t) = h_w, \quad \left. \frac{\partial H}{\partial y} \right|_{y=L} = 0 \quad (2)$$

Здесь и далее $h(y,t)$ – напор в дренажной трубке, h_w – напор в водоприемнике (кана-

Ключевые слова:

мелиоративная
обустроенность
земель,
польдерные системы,
математическое
моделирование,
Калининградская
область

ле), H_0 – начальный уровень грунтовых вод на участке.

Дифференциальное уравнение для напора в дрене имеет вид [3]

$$\frac{dh}{dy} = \frac{2\alpha}{g\omega^2} qQ + \frac{Q^2}{\Xi^2}, \quad \Xi = \omega C \sqrt{R} \quad (3)$$

где: α – коэффициент неравномерности профиля продольной скорости в дренажной трубке, Q – расход воды в дрене, который считаем положительным, q – боковой приток к дрене (расход на единицу длины трубки), ω – площадь поперечного сечения дренажной трубки, Ξ – расходная характеристика дрены, C – коэффициент Шези, R – гидравлический радиус.

Для обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка (3) требуется только одно граничное условие: $h(0,t) = h_w$. Интенсивность бокового притока к дрене находится по гипотезе

$$q = \frac{2\pi K}{\Phi} (H - h) \quad (4)$$

Фильтрационное сопротивление для керамических дренажных трубок вычисляется по формуле [3]

$$\Phi = \ln \frac{4h_{др}}{d} + C_{др}, \quad C_{др} = \frac{1}{\pi K_\phi} \ln \frac{4S_{др}}{d} \cdot \ln \frac{1}{\sin \frac{\pi\tau}{2S_{др}}} \quad (5)$$

где: $h_{др}$ – глубина заложения дрены, d – диаметр дрены, $S_{др}$ – длина дренажных трубок, τ – ширина зазора между трубками. Сравнение результатов расчетов потока воды к дрене с опытными данными показало, что второе слагаемое в первой из формул (5) должно иметь порядок 10-11, поэтому при расчетах пришлось вводить эмпирический коэффициент 0,3 для интенсивности бокового притока к дрене q .

Расход в дренажной трубке находится по боковому притоку

$$Q = \left| \int_L^0 q(y) dy \right| \quad (6)$$

Уровень воды в открытом канале описывается нестационарной системой уравнений Сен-Венана

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial h_w}{\partial x} + \frac{q_w u}{\omega_w} &= g \frac{Q^2}{\Xi^2}, \\ \frac{\partial \omega_w}{\partial t} + \frac{\partial Q_w}{\partial x} &= q_w \end{aligned} \quad (7)$$

где: u – скорость воды в канале, ω_w – площадь живого сечения канала.

Совместное решение численным методом, предложенным в [4], уравнений (1), (3), (7)

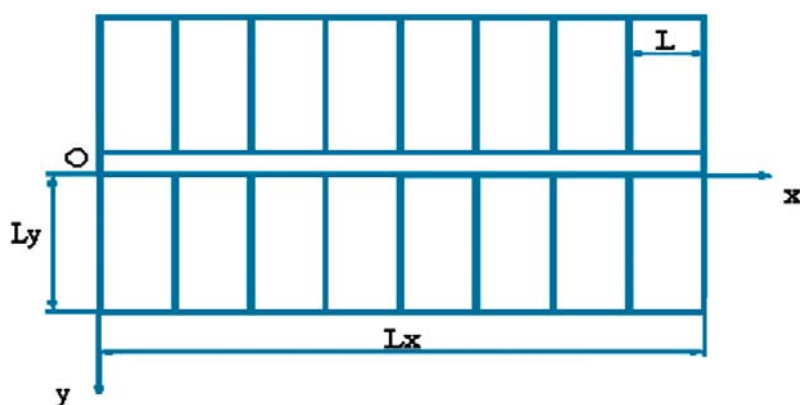


Рис. 1. Схема простейшего польдера.

с указанными граничными и начальными условиями позволяет моделировать динамику изменения уровня грунтовых вод. Для управления этим процессом насосная станция откачивает воду, пока уровень воды у створа не упадет до заданного значения h_1 , затем отключается, а включается, когда повысится до h_2 .

Результаты и их обсуждение

Результаты численного моделирования. Для совместного решения численным методом на ЭВМ уравнений (1), (3), (6) с указанными граничными и начальными условиями был использован алгоритм, предложенный в [4]. Причем только в двух случаях течение воды в канале считалось существенно нестационарным. После включения насоса по неподвижной воде от точки О до конца канала в соответствии с рис. 2 распространялась волна со скоростью

$$w = \sqrt{g \omega_w / B},$$

где B – ширина канала.

После выключения насоса происходило выравнивание уровня воды в канале с той же скоростью, как показано на рис. 3.

Расчет течения в канале от завершения прохождения волны до выключения насоса выполняем в квазистационарном приближении. В этот период первыми слагаемыми в уравнениях (7) пренебрегаем. Пользуемся методом баланса. Вычисляем объем воды в канале на очередном шаге по времени V , вычитая объем воды, откачанный насосом

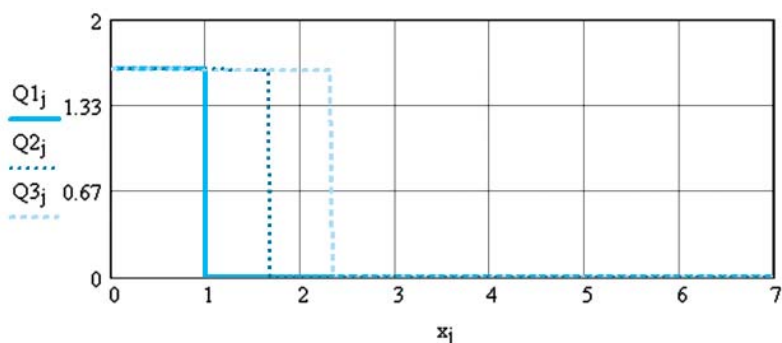


Рис. 2. Изменение расхода воды по длине канала после включения насоса в начальный период, $\text{м}^3/\text{с}$ (распространение волны). Длина канала в километрах. Профили построены с интервалом 4 мин. $L_1 = 7 \text{ км}$, $L_2 = 2 \times 350 \text{ м}$. $Q = 1.6$. $K = 1 \text{ м/сут}$.

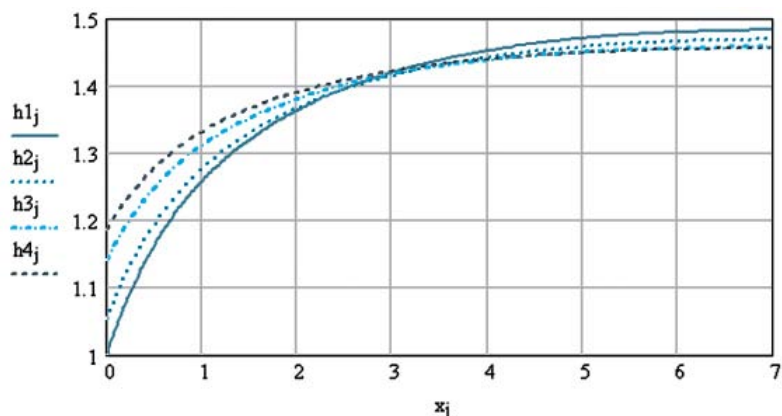


Рис. 3. Изменение уровня воды к каналу после отключения насоса (обратная волна). $L_1 = 7 \text{ км}$, $L_2 = 2 \times 350 \text{ м}$. $Q = 2.5 \text{ м}^3/\text{с}$. $K = 1 \text{ м/сут}$. Длина канала в километрах. Профили уровня построены с интервалом 10 мин.

за время Δt , и прибавляем объем воды, поступивший через дрены. Из второго уравнения (7) находим расход воды в канале,

$$Q_w^{k+1} = Q_w^k + q_w^k \Delta x,$$

