

Результаты определения, анализа и практического использования полученных прогнозных нормативных значений снеговых нагрузок подробно изложены в работе [2].

На рис. 3 приведена карта районирования территории Беларуси по типам распределения используемых функций в процессе нормирования снеговых нагрузок.

ВЫВОДЫ

Оценка точности районирования осуществлена статистическими методами. При выделении однородных районов, близких по физико-географической природе и статистической изменчивости снегозапасов, выполнен анализ меры расхождения исходных данных в опорных пунктах (i) и (j) районов. В качестве критерия при многомерном статистическом анализе использовано расстояние Махаланобиса [3]

$$d_{ij} = \frac{(X_{\text{сн.}i} - X_{\text{сн.}j})}{\sqrt{D_i + D_j - 2\rho_{ij}\sqrt{D_i D_j}}}, \quad (11)$$

где $X_{\text{сн.}i}$, $X_{\text{сн.}j}$ – значения снеговых нагрузок в пунктах (i) и (j); D_i , D_j – дисперсии ошибок исходных данных в соответствующих пунктах; ρ_{ij} – коэффициент пространственной корреляции ошибок между соответствующими пунктами.

В случае равенства значений ($X_{\text{сн.}i}$) и ($X_{\text{сн.}j}$), статистика (d_{ij}) укладывается в нормальный закон распределения вероятностей с нулевым средним и единичной дисперсией. Показатель (d_{ij}) выяв-

ляет опорные пункты, в которых различия находятся в пределах точности определения снеговой нагрузки. Анализ всевозможных значений (d_{ij}), при $i, j=1, \dots, N$, для заданного уровня значимости, позволяет выделить территории, в границах которых различия между исходными данными пунктов наблюдений за снегозапасами можно считать несущественными.

Проверка результатов районирования снеговых нагрузок на территории Беларуси подтвердила обоснованность объединения пунктов в каждом снеговом районе, о чем свидетельствуют наилучшие значения статистики (d_{ij}), а также высокую сходимость нормативных значений снеговой нагрузки, устанавливаемых картой, с исходными данными.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дэвис, Дж. С. Статистический анализ данных в геологии / под ред. Д.А. Родионова. – М.: Недра, 1990. – Кн. 2. – 427 с.
2. Научно-технический отчет «Провести исследования и разработать методы определения снеговых нагрузок, определить нормативные снеговые нагрузки на конструкции зданий и сооружений, разработать рекомендации по назначению нагрузок от снегового покрова» / Тур В.В. и др., № ГР 2007689. – Брест, БрГТУ. – 310 с.
3. Христофоров, А.В. Вопросы точности построения карт гидрологических характеристик / А.В. Христофоров // Вестник Московского университета. – 1983. – Сер. 5. – С. 54–60.

Материал поступил в редакцию 20.03.08

TOUR V.V., VALUYEV V.E., DERECHENNIK S.S., MESHIK O.P. The experience of zoning of Belarus on the matter of snow loads

The research methods and the maps are presented in the paper: distribution of normal snow loads (in isolines); zoning of normal annual maxima of snow loads (0,98 quantil of distribution); zoning of Belarus on the types of snow loads distribution. The accuracy of zoning has been evaluated by statistics methods.

УДК 631.616:621.72.00157

Якубов А.С., Кащенко Н. М., Ковалев В.П., Викснэ А.А.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЛИНЕЙНЫХ ПОЛЬДЕРНЫХ СИСТЕМ

ВВЕДЕНИЕ

Польдерные системы нашли применение при освоении безуклонных и малоуклонных территорий, длительное время находящаяся в затопленном или подтопленном состоянии. Неравномерность осушения массива, характерная для действующих польдерных систем, связана с образованием в каналах проводящей сети, под воздействием откачки, кривых спада, формирующих уровенный режим грунтовых вод. Интенсивность снижения уровней грунтовых вод на осушаемом массиве уменьшается по экспоненциальной зависимости с удалением от насосной станции ($i = 6,2e^{-0,00458L}$, при $h_{\text{ос}} - h_{\text{от}} = -0,01$ м). Это показывает, что фактические характеристики дренажа, приближаясь по своим значениям к расчетным непосредственно у насосной станции, существенно ниже их на осушаемом массиве. Средние их значения для всей площади осушаемого массива ниже расчетных на 25 - 30 %. Это означает, что использование вложенных в строительство средств на 25 - 30 % ниже ожидаемых. Опыт эксплуатации и проведенные исследования работы польдерных систем показывают, что неравномерность осушения является проявлением несогласованной работы дренажа, каналов проводящей сети и насосной станции, которые в своих параметрах не учитывают характеристики формирования стока на осушаемом массиве [4,9]. Неравномерность осушения массива характеризует польдерные системы как системы с распределенными параметрами. Практика эксплуатации польдерных систем и проведенные эксперимен-

тальные исследования определили подходы к расчету и проектированию польдерных систем как линейных гидрологических объектов. Однако теория расчета и проектирования польдерных систем как линейных гидрологических объектов отсутствует.

Очевидно, что использование применяемых в настоящее время способов расчета элементов польдерных систем, как линейных гидрологических объектов, не даст положительных результатов. Это связано с тем, что процессы формирования стока на осушаемом массиве польдерной системы являются нестационарными, и описание их возможно только с использованием нестационарной математической модели с применением численных методов решения уравнений. Такой подход, существенно расширяя возможности исследования работы дренажа в нестационарных режимах, является единственно возможным способом расчета управляемого взаимодействия уровней грунтовых вод и уровенного режима каналов проводящей сети.

Математическое моделирование, совместно с предложенным методом приведения польдерных систем к линейному виду, позволяет существенно уменьшить затраты на проектирование польдерных систем. Применением метода приведения систем к линейному виду и математического моделирования позволит привести в соответствие функций польдерных систем с требованиями сельскохозяйственного производства.

УРАВНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Основными элементами польдерной системы являются про-

Якубов Александр Степанович, директор СП МАМТ ООО.

ул. Олешева, 14, 220090, г. Минск, Беларусь, e-mail: ja48@mail.ru.

Кащенко Николай Михайлович, кандидат физико-математических наук, заместитель директора по научной работе ООО «Бюро мелиоративных технологий».

Ковалев Виктор Петрович, директор по научной работе ООО «Бюро мелиоративных технологий».

ул. Сибирякова, 60 – 23, 236040, г. Калининград, Россия, e-mail: kaschtschenko@mail.ru, bmt.polder@mail.ru.

дящая сеть каналов и дренажная сеть. Поэтому математическая модель польдерной системы состоит из уравнения фильтрации грунтовых вод, уравнений гидравлики воды в дренах и уравнений течения воды в каналах системы. Гидравлические процессы с достаточной точностью могут быть описаны уравнениями мелкой воды (уравнения Сен-Венана) [1, 2, 6]. Система уравнений, записанная в терминах расхода $Q = V \cdot W$ и поперечной площади потока W , имеет вид

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{W} \right) + gW \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{Q|Q|}{\Theta_k^2} \right) = 0, \\ \frac{\partial W}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = \xi \end{cases}, \quad (1)$$

где $Q(x, t)$ – расход воды, м³/с,

$h(x, t)$ – уровень поверхности воды, м,

$\xi(x, t)$ – локальный боковой приток, м²/с,

g – ускорение силы тяготения Земли, м/с²,

$\Theta_k = WC_k \sqrt{R_k}$ – модуль расхода, м³/с,

$C_k = R_k^m / n$ – коэффициент Шези, м^{1/2}/с, для обсуждаемых условий $m \approx 1/6$,

n – коэффициент трения, для открытых каналов $n \in [0.02; 0.03]$,

R_k – гидравлический радиус, который равен отношению площади поперечного сечения потока к смоченной части периметра этого сечения, м.

Система уравнений (1) имеет гиперболический тип и для течений, имеющих малые скорости, что характерно для польдерных систем, достаточно одного граничного условия на каждом канале. В модели в устьях каналов задаются значения Q , которые равны производительности насосов или нулю, соответственно.

Для получения уравнения течения воды в дренах используется уравнение Сен-Венана, трансформированное для описания движения воды в дренажных трубах с переменной массой и носящее название уравнение Коновалова-Петрова, которое для напора $h_d(y)$ имеет вид

$$\frac{\partial h_d}{\partial y} = \frac{2\alpha}{gW_d^2} q |Q_d| + \frac{Q_d |Q_d|}{\Theta_d^2}, \quad (2)$$

где $y \in [0; L]$ – координата, направленная вдоль дрены, м;

L_d – длина дрены, м;

W_d – площадь сечения дрены, м²,

α – коэффициент продольной неравномерности скорости движения воды в дренах,

$\Theta_d = W_d C_d \sqrt{R_d}$ – модуль расхода, м³/с,

R_d – гидравлический радиус дрены, м,

C_d – коэффициент Шези для дрены, м^{1/2}/с,

Q_d – суммарный сток воды на отрезке $[y; L]$, $Q_d = \int_y^L \alpha(y) dy$, м³/с;

q – фильтрационный приток, $q = \frac{2\pi K_\Phi}{\Phi} (H - h_d)$, м²/с;

K_Φ – скорость фильтрации, м/с;

H – уровень грунтовых вод, отсчитываемый от водоупора, м;

Φ – фильтрационные сопротивления на входе в дренах; $\Phi = \Phi_0 + \Phi_l$;

$\Phi_l = \frac{1}{\pi} \ln \frac{4S}{d_d} \ln \frac{2S}{\pi d}$ – фильтрационные сопротивления, обусловленные несовершенством конструкции дрены и формой входных отверстий;

Φ_0 – фильтрационные сопротивления, определяемые граничными условиями фильтрации;

S – длина гончарной трубки, м;

δ – толщина водоприемного отверстия между дренажными трубками, м.

Уравнение (2) требует одного граничного условия, которое задается в точке стока в канал: $h_d(0) = h$, где h – уровень воды в соответствующей точке канала.

Фильтрация грунтовых вод с учетом динамической водоотдачи, рассчитываемой с учетом характера распределения пор по диаметрам, описывается квазилинейной двухмерной нестационарной системой уравнений

$$\begin{cases} (\mu_0 - \sum_{i=1}^n \mu_i) \frac{\partial H}{\partial t} = \nabla \left(\int_{H_0 - kL_d}^H K_\Phi(z) dz \cdot \nabla H \right) + \xi - \sum_{i=1}^n \mu_i f_i \\ \frac{\partial H_i}{\partial t} = f_i, \quad i = \overline{1, n} \end{cases}, \quad (3)$$

где H – уровень грунтовых вод, м;

μ_0 – коэффициент водоотдачи;

d_i – диаметр капилляров, м;

μ_i – относительный объем капилляров диаметром d_i ;

$K_\Phi(z)$ – скорость фильтрации в зависимости от уровня z , м/с;

E_d – расстояние между дренами, м;

k – коэффициент «висячести»;

ξ – суммарный приток и отток, м/с;

H_i – уровень воды в капиллярах диаметром d_i , м;

$$f_i = V_{ki} \frac{H_{ki} + H - H_i}{H_{ki}},$$

V_{ki} – скорость капиллярного подъема в капиллярах диаметром d_i , м/с,

H_{ki} – высота капиллярного подъема в капиллярах диаметром d_i , м.

Для капилляров диаметром d для воды с $t = 20^\circ\text{C}$: $V_{ki} = 1.5 \cdot 10^5 \cdot d^2$, $H_{ki} = 3 \cdot 10^{-5} / d$. Влияние геологического строения осушаемого массива в уравнении (3) учитывается коэффициентом «висячести» k .

Использование для расчетов формирования водоотдачи в динамическом режиме кривой распределения пор по диаметрам предполагает существование неразрывности во всем почвенном массиве пор одного диаметра. Условие неразрывности пор одного диаметра в почвенном массиве было использовано С.Нерпиным и Е.Хлопотенковым в капиллярной модели грунта при выводе зависимости коэффициента фильтрации от начального градиента напора [8].

Проведенные расчеты формирования водоотдачи с использованием сделанного предположения для экспериментальных данных, полученных И. Калужным на почвенных колонках [5], дали хорошее схождение рассчитанных и опытных результатов.

ПРИВЕДЕНИЕ ПОЛЬДЕРНОЙ СИСТЕМЫ К ЛИНЕЙНОМУ ВИДУ

Применение численного моделирования работы польдерных систем дает возможность достичь корректного описания процессов формирования стока на осушаемом массиве в нестационарном режиме. Также становится возможной детализация самого проектирования, когда в проект для проведения расчетов включаются все элементы польдерной системы без исключения, топография и геология осушаемого массива, и польдерная система рассчитывается в «собранном» виде.

Однако возможность приведения польдерной системы к линейному виду не является очевидным результатом применения моделирования при расчете параметров польдерных систем.

Предлагаемая версия приведения польдерной системы к линейному виду использует установленное в экспериментальных исследованиях влияние параметров каналов проводящей сети на равномерность осушения массива действующих польдерных систем.

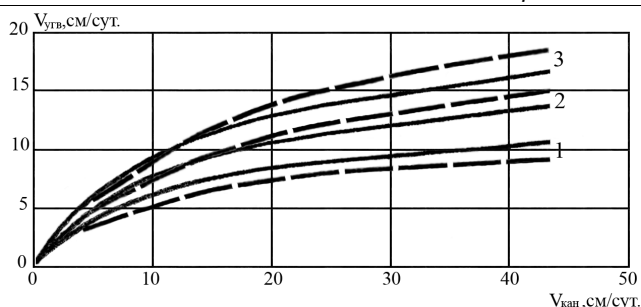


Рис. 1. Интенсивность снижения уровней грунтовых вод $V_{угр}$ в зависимости от скорости снижения уровней воды в канале $V_{кан}$
 1 - расстояние между дренами $E = 16$ м, $d_{др} = 0.1$ м, 2 - $E = 8$ м, $d_{др} = 0.1$ м, 3- $E = 16$ м, $d_{др} = 0.15$ м. — экспериментальные данные, - - - - рассчитанные значения

Необходимым и, вероятно, главным условием линейности польдерной системы является идентичность работы всех составляющих водосбора осушаемого массива, в т.ч. материального дренажа, а также наличие элементов дренажных систем и реализация технологий приведения к идентичности гидравлических процессов.

Приведение польдерной системы к линейному виду осуществляется с использованием инженерного решения, заключающегося в размещении в зоне питания каналов проводящей сети, под горизонтами заложения дренажа, объемов добегающего стока.

Объемы добегающего стока рассчитываются с помощью интеграла Дюамеля, отражающего функцию процессов формирования стока на осушаемом массиве, имеющего конечные значения времен добегающего стока к створу насосной станции, задаваемые в явном виде

$$Q(t) = \int_0^t F(t - \tau) \cdot f(\tau) d\tau, \quad (4)$$

где $F(t - \tau)$ - функция редуции стока с осушаемого массива к створу насосной станции;

$f(\tau)$ - функция стока, преобразования осадков в дренажный сток;

τ - время добегающего стока от дренажной системы, к створу насосной станции, с;

$$\tau = L/V_{max};$$

L - расстояние от дренажной системы до створа насосной станции, м;

V_{max} - принятая максимальная скорость движения потока в открытых каналах проводящей сети, задаваемая из условия обеспечения продольной и поперечной устойчивости геометрии каналов, м/с;

$t_{лс} = \tau_{max} = L_{max}/V_{max}$ - максимальное время добегающего дренажного стока к створу насосной станции, характерное время польдерной системы с;

L_{max} - расстояние от насосной станции до наиболее удаленной дренажной системы, м.

Интеграл Дюамеля (4) используется в приведенном ниже виде в качестве специальных граничных условий, задаваемых вдоль каналов проводящей сети польдерных систем

$$\begin{aligned} W_{вл.эл.пл} &= q_{др.с.i} \cdot F_{др.с.i} \cdot \tau_i, \\ W_{вл.кан.k} &= \sum_{i=i_k}^{n_k} q_{др.с.i} \cdot F_{др.с.i} \cdot \tau_i, \\ W_{вл.польд} &= \sum_{i=1}^m q_{др.с.i} \cdot F_{др.с.i} \cdot \tau_i, \end{aligned} \quad (5)$$

где $q_{др.с.i}$ - модуль стока, принятый для расчета дренажа, м/с;

$F_{др.с.i}$ - площадь единичной дренажной системы, м²;

τ_i - время добегающего от единичной дренажной системы к створу насосной станции, с, $\tau_i = L/V_i$;

m - количество дренажных систем на осушаемом массиве;

i_k, n_k - диапазон номеров дренажных систем, подсоединенных к k -му каналу.

Необходимым условием работоспособности польдерной системы является обеспечение продольной и поперечной устойчивости каналов проводящей сети. Эта задача решается выбором максимальной скорости движения потока воды в канале, не допускающей размыва его русла и зависящей от типа грунтов, слагающих русло канала. В проводимых расчетах она принята равной $V = 0,15$ м/с мало $\approx 0,25$ м/с. Максимальная скорость движения воды в открытых каналах определяет величину характерного времени польдерной системы. Характерное время польдерной системы является величиной максимального времени добегающего стока от дренажных систем к створу насосной станции, $t_{лс} = \tau_{max} = L_{max}/V_{max}$. Характерное время польдерной системы определяет время снижения напоров на дренаже до горизонтов его заложения, т.е. задает режим работы осуществляющих сети, и как предпосылку, величину междренного расстояния при проведении численных экспериментов модуль дренажного стока, $q_{др} = 10^{-7}$ м/с.

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ МОДЕЛИ

Расчеты проведены для приведенной к линейному виду польдерной системы, состоящей из канала переменного сечения и расположенных перпендикулярно каналу дрен одинаковой длины. Рельеф осушаемого массива представлен не имеющим уклона. Для этих условий описанная система решается конечноразностным методом на прямоугольной сетке, равномерной по направлению вдоль канала и неравномерной по направлению вдоль дрен с шагом, экспоненциально возрастающим при возрастании расстояния от канала. Все уравнения решаются последовательно, затем проводятся итерации до получения заданной погрешности.

Уравнение Сен-Венана (1) решается по схеме расщепления, первый шаг которой описывает волновой процесс и имеет вид [5]

$$\begin{cases} \dot{Q} + V_z^2 W' = F \\ \dot{W} + Q' = \xi \end{cases}$$

где $V_z^2 = V_0^2 - (Q/W)^2$, а второй шаг описывает перенос и имеет вид

$$\begin{cases} \dot{Q} + \frac{2Q}{W} Q' + \frac{Q|Q|}{W} \frac{g}{\Theta^2} = 0 \\ \dot{W} = 0 \end{cases}$$

Уравнения первого шага расщепления решаются по явной схеме с разнесенными для Q и W узлами по схеме крест, в которой Q задано в целых узлах разностной сетки, а W в полужелтых узлах. Необходимым условием устойчивости этого шага является условие на шаг по времени $\Delta t: \Delta t \leq \Delta x/V_z$, где Δx - шаг по пространственной переменной. Этот шаг расщепления имеет погрешность аппроксимации $O(\Delta t, \Delta x^2)$. Уравнения второго шага расщепления решаются по явной схеме с направленными против потока разностями. Необходимым условием устойчивости этого шага является условие на шаг по времени: $\Delta t \leq 0.5 \cdot \Delta x \cdot W/|Q|$. Этот шаг расщепления имеет погрешность аппроксимации $O(\Delta t, \Delta x)$. Таким образом, суммарная погрешность аппроксимации есть $O(\Delta t, \Delta x)$.

Уравнение движения воды в дрене (4) решается численным интегрированием по формуле трапеций с итерациями по нелинейности Q_d и имеет погрешность аппроксимации $O(\Delta x^2)$. Уравнение Буссинеска (5) решается по стандартной явной схеме и имеет погрешность аппроксимации $O(\tau, \Delta x^2)$.

Особенностью этой системы уравнений является существенное отличие характерных времен трех процессов, различающихся примерно в 1000 раз, что требует проведения интерполяции по време-

ни. В описываемой модели использовалась линейная интерполяция решения уравнения Буссинеска. Поскольку все уравнения описываемой системы уравнений содержат диссипативные члены, тестирование на точность достаточно провести для интервалов времени, сравнимых с максимальным временем затухания. Такие тестовые расчеты показали достаточную для указанных во введении целей точность описанной численной схемы решения уравнений модели.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ РАБОТЫ ПОЛЬДЕРНОЙ СИСТЕМЫ

Численные эксперименты с использованием математической модели в виде уравнений (1-3) были проведены при расчете режимов работы дренажа опытного участка "Тимирязевский" с разными скоростями снижения уровней воды в канале (в расчетах использованы экспериментальные данные, полученные сотрудником Калининградского отдела СевНИИГиМ В.Г. Пунтусовым в 1983–1991 г.г.). Опытный участок "Тимирязевский", площадью 25 га имеет индивидуальную насосную станцию. Дрены длиной 500 м на обоих концах подключены к каналу. При моделировании учтены геологическое строение участка, топографические характеристики, техническая схема проводящей и регулирующей сетей, параметры дренажа. Приведенные на рис.1 экспериментальные и рассчитанные значения интенсивности снижения уровней грунтовых вод в зависимости от скорости снижения уровней воды в канале имеют хорошее совпадение. Это указывает на возможность использования модели в виде (1)–(3) для расчета параметров польдерных систем.

Исходя из упрощения интерпретации полученных результатов, расчеты с использованием численной модели проведены для простейшего варианта схемы польдерной системы, состоящей из канала переменного сечения и расположенных перпендикулярно каналу дрен одинаковой длины. Рельеф осушаемого массива представлен не имеющим уклона. Расчеты польдерной системы проводились с использованием модели (1)–(3) и специальных граничных условий (5). Длины каналов составляли $L_{кан} = 5000, 10000, 15000, 20000, 25000, 30000, 35000, 40000$ и 50000 м, а подключенные к ним дрены приняты длиной $L_{др} = 500$ м, диаметром $d_{др} = 0,1$ м и глубиной залегания $H_{др} = 1,3$ м. Глубина канала в истоке $h_k = 1,8$ м, уклон дна канала $I = 0,00001$. Форма поперечного сечения канала трапециoidalного вида с коэффициентами заложения откосов, $m = 2,0$. Используемые в расчетах значения параметров $\Phi = \Phi_0 + \Phi_i$ приняты по формуле Н. Эфендиева и экспериментальным данным для гончарного дренажа [7]. Грунты с коэффициентами фильтрации $K_{ф} = 1,7 \cdot 10^{-5}$ м/с с глубины 1,3 м подстилаются водоупором. Принятые эксплуатационные горизонты откачки для насосной станции $H_{max} = 1,1$ м и $H_{min} = 1,2$ м.

Проведенные численные эксперименты показали, что в открытых каналах польдерных систем длиной до 50000 м, при условии учета объемов стока добегания, вычисленных с использованием зависимости (5), величины уклонов свободной поверхности воды для момента времени, равного времени добегания, принимают минимальные значения. Полученное значение уклона свободной поверхности воды (для канала длиной 15000 м), $I_{кан} = 0,000004$ для условия достижения $q_{др} = 10^{-7}$ м/с на глубине заложения дренажа, можно признать приемлемым для практики расчета линейных польдерных систем.

Для условий численных экспериментов полученные значения характеристик польдерных систем, для условия $q_{др} = 10^{-7}$ м/с, приведены на рис. 2.

На рис. 2 приведена аппроксимирующая зависимость для экспериментальных значений модулей стока с польдерных систем (для определения производительности насосной станции) [9]

$$q_{нс} = q_{др} / (1 - \varphi), \tag{6}$$

где $q_{нс}$ – расчетный модуль стока для установления производительности насосной станции, м/с,

$q_{др}$ – модуль стока для установления параметров дренажа, м/с,

$\varphi = 13,8 / (F \cdot 10000 + 450)^{0,43}$ – коэффициент редукиции стока с польдерных систем,

F – площадь осушаемого массива, м².

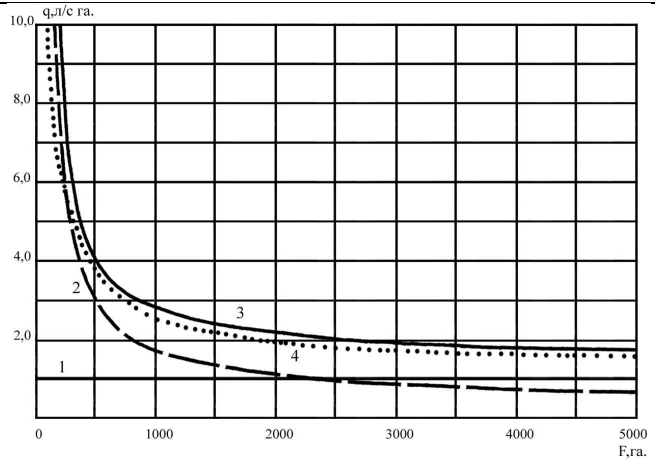


Рис. 2. Значения составляющих расчетной польдерной системы в зависимости от размеров площади осушаемого массива F – (3): составляющая для откачки канала $Q_{кан}$ – (1), составляющая для откачки дренажного стока $Q_{др}$ – (2). 4 – производительность насосной станции польдерной системы ($Q_{нс} = Q_{кан} + Q_{др}$), рассчитанная с использованием экспериментальных данных (6).

Из рис. 2 следует, что в работе польдерной системы, до площади осушаемого массива в $F = 24000000$ м², обеспечение работы дренажа путем создания необходимых напоров на дренаже откачкой воды из каналов превалирует и приближается к объемам откачки собственно дренажного стока с осушаемого массива.

Составляющая производительности насосной станции для откачки воды из канала до горизонтов заложения дренажа или до минимальных горизонтов откачки определяется зависимостью

$$Q_{кан} = V_{кан} / t_{пс}, \tag{7}$$

где $V_{кан}$ – объем канала от поверхности почвы до минимального горизонта откачки, м³;

$t_{пс}$ – характерное время польдерной системы, с.

Характерное время польдерной системы, задающее режим работы дренажа осушаемого массива, определяет и величину междренного расстояния, обеспечивающего достижение принятого при проведении расчетов модуля дренажного стока, $q_{др} = 10^{-7}$ м/с. Составляющая производительности насосной станции, обеспечивающая откачку дренажного стока в створе насосной станции определяется зависимостью

$$Q_{др} = q_{др} \cdot F. \tag{8}$$

Составляющая производительности насосной станции, обеспечивающая откачку с осушаемого массива дренажного стока будет меняться только при изменении расчетного модуля дренажного стока, величина которого определяется требованиями к качеству регулирования водного режима почвы. Производительность насосной станции определяется как сумма (7) и (8)

$$Q_{нс} = Q_{кан} + Q_{др} = V/t + q_{др} \cdot F. \tag{9}$$

Близость рассчитанных и полученных, с использованием экспериментальных значений, производительностей насосных станций показывает, что учет времени добегания стока в расчетных при определении параметров польдерной системы является необходимым условием. Зависимость (6) и интеграл Дюамеля в виде (5), использованный при задании граничных условий в процессе моделирования работы польдерной системы, отражают суть процессов формирования стока на осушаемом массиве, имеющих конечные значения времени добегания дренажного стока к створу насосной станции. В (5) время добегания дренажного стока используются в явном виде, а в (6) – в виде зависимости коэффициента редукиции стока от размеров площади осушаемого массива.

Приведенные на рис. 3 графики соответствуют условию достижения расчетного значения модуля дренажного стока, $q_{др} = 10^{-7}$ м/с, на горизонтах заложения дренажа.

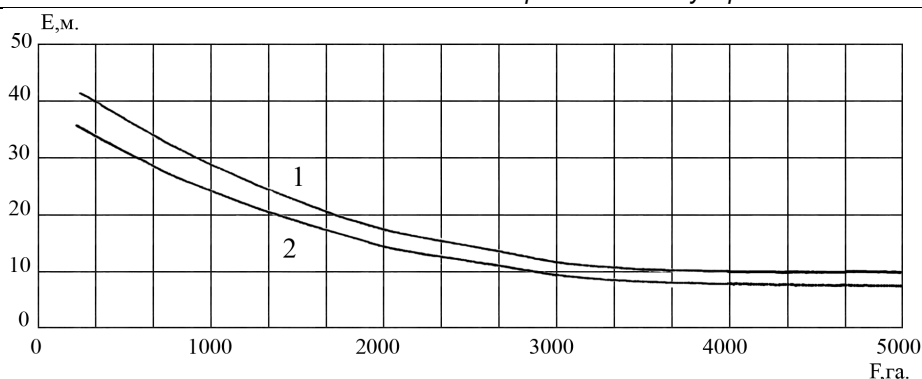


Рис. 3. Зависимость величин междренных расстояний (E) от длины канала (площади осушаемого массива) польдерной системы при постоянном (1) и переменном значениях (2) величины водоотдачи

Значения междренных расстояний (E), рассчитанные с учетом зависимости водоотдачи от скорости снижения напоров на дренаже, скоростей снижения уровней воды в канале, по своим величинам меньше, чем с принятым постоянным значением водоотдачи (рис. 3). Это не противоречит полученным данным, в частности Р. Брудастовой и И. Калюжным [3, 5], когда с увеличением скорости снижения напоров на почвенной колонке, стекание воды непосредственно к уровню грунтовых существенно уменьшается.

Принятое в уравнении (4), предположение зависимости водоотдачи от свойств порового пространства почвы позволяет более точно описать процессы водоотдачи. Версию интерпретации водоотдачи необходимо считать промежуточной при переходе к описанию процессов движения влаги в поровом пространстве почвы на молекулярном уровне.

Приведенная на рис. 3 зависимость расстояния между дренами от длины канала (размеров площади осушаемого массива), полученная в численных экспериментах, подтверждается экспериментальными данными, полученными при исследованиях польдерных систем Неманской низменности.

Из анализа экспериментальных данных и результатов проведенных численных экспериментов следует, что для польдерной системы характерно наличие технологической связи функций линейных и сетевых сооружений. Расчет параметров дренажа (регулирующей сети), открытых каналов проводящей сети, производительности насосной станции, определение конструктивных параметров и отметок гидромеханического оборудования, и отметок эксплуатационных горизонтов при проведении откачек должен быть комплексным. В противном случае, при проведении расчетов элементов польдерной системы без учета технологической взаимосвязи их работы приводит к негативным результатам в процессе управления водным режимом почв осушаемых массивов [4, 9].

ВЫВОДЫ

1. Требования сельскохозяйственного производства к обеспечению в условиях польдерного принципа осушения на всем мелиорируемом массиве режима осушения почв диктуют необходимость проектирования польдерных систем и как линейных гидролого-гидрогеологических объектов.

Приведение польдерной системы к линейному виду осуществляется путем включения в расчетную схему добегания местного стока в зону ниже к створу насосной станции. Моделирование объемов добегания стока от дренажных систем к створу насосной станции ведется с использованием интеграла Дюамеля. Признаком линейности польдерной системы является идентичность гидролого-гидрогеологических условий, обеспечивающих адекватную им работу сооружений дренажных систем.

2. Применение численного моделирования позволяет рассчитывать и проектировать польдерные систем в режиме управляемого

взаимодействия уровней грунтовых вод и уровней воды в каналах в "собранном" виде. Проведение расчетов элементов проводящей, ограждающей и регулирующей сети польдерной системы без учета взаимосвязи их работы приводит, в итоге, к негативным результатам в управлении водным режимом почв осушаемых массивов.

3. Применение метода приведения польдерных систем к линейному виду для анализа работы действующих объектов мелиораций позволяет определить, по величине репрезентативного модуля дренажного стока, их возможности по эффективному управлению водным режимом почв осушаемого массива, и назначить, при необходимости, мероприятия и конструктивные решения, приводящие действующую польдерную систему к требуемому техническому уровню.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абдураимов М., Музафаров Х.А., Путьев А.А. Движение вод в открытых руслах (уравнения Сен-Венана) // Математическое моделирование. Вычислительные алгоритмы и методы. - 1998, Т.10, №6 - С.97-106.
2. Беликов В.В., Зайцев А.А., Милитеев А.Н. Численное моделирование кинематики потока на участке неразрываемого русла // Водные ресурсы. - 2001, Т. 28, №6. - С.701-710.
3. Брудастова Р.А. О кинетике стекания влаги из осушаемых почвогрунтов. // Гидротехника и мелиорация. - М., 1958. №10.-С.31-35.
4. Ватулин Г.И. Современное состояние и перспективы развития осушительных систем с механическим водоподъемом в Калининградской области. // Проектирование, строительство и эксплуатация польдерных систем. - Елгава: Госиздат, 1972.- С. 48-56.
5. Калюжный И.Л., Павлова К.К. Экспериментальные исследования процесса водоотдачи почвы при различных скоростях изменения уровня грунтовых вод. // Труды ГГИ, вып. 268 / Вопросы гидрофизики почв - Лн.: Гидрометеиздат, 1980. - С.39-50.
6. Крукиер Л.А., Муратова Г.В. Использование метода конечных разностей для решения уравнений мелкой воды // Математическое моделирование. Математические модели и вычислительный эксперимент. - 2001, Т.13, № 3. - С. 57-60.
7. Месюк В.М., Климов В.Т. Осушительное действие гончарных дрен новых конструкций // Мелиорация и водное хозяйство. Вып.5. - Мн.: Ураджай, 1983. - С.4-9.
8. Нерлин С., Хлопотенков Е. Обобщение закона Дарси для случаев нелинейной фильтрации в ненасыщенных и насыщенных грунтах. // Доклады ВАСХНИЛ. - М.: Урожай, 1970. - №11.- С.3-17.
9. Филатов В.А., Ковалев В.П., Лобан В.И. Особенности работы незатапливаемых польдерных систем Калининградской области // Эксплуатация мелиоративных систем и использование мелиоративных земель // Сборник трудов ЛитНИИГиМ. - Елгава: Госиздат, 1987. - С.61-71.

Материал поступил в редакцию 24.03.08

YAKUBOV A.S., KASCHENKO N.M., KOVALEV V.P., VIKSNE A.A. Numerical modelling of the elementary polder systems

The task of parameters of the channel in view of function of volumes a drain, counted with use of integral Duamel, results of polder system in a linear kind. Use of mathematical modelling allows to count and project of polder systems in a mode of operated interaction of subsoil waters and water levels in channels with the parameters close to their optimum values.