

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НОВЫХ И РЕКОНСТРУКЦИИ ДЕЙСТВУЮЩИХ ПОЛЬДЕРНЫХ СИСТЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Н. М. Кащенко¹, доктор физико-математических наук

В. В. Васильев², кандидат технических наук

В. П. Ковалев³, директор

¹Балтийский Федеральный университет имени И. Канта, г. Калининград, Россия

²УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», г. Горки, Беларусь

³ООО «Бюро мелиоративных технологий», г. Калининград, Россия

Аннотация

Анализ экспериментальных данных работы действующих польдерных систем и результатов численных экспериментов показал, что проведение реконструкции действующих польдерных систем, основанное на экспериментально определенных значениях модуля дренажного стока дренажа систем, имеет существенный потенциал увеличения эффективности их работы.

Ключевые слова: польдерная система, равномерность осушения, математическая модель.

Abstract

N. M. Kashchenko, V. V. Vasiliev, V. P. Kovalev

TECHNOLOGY FOR CALCULATION OF PARAMETERS OF RECONSTRUCTED POLDER SYSTEMS FOR AGRICULTURAL PURPOSE

The analysis of experimental data on the functioning of existing polder systems and the results of numerical experiments has shown that the reconstruction of existing polder systems based on experimentally determined values of the drainage flow module of drainage systems has a significant potential to increase the efficiency of their operation.

Keywords: polder system, the uniformity of drying, mathematical model.

Польдерные системы применяются при сельскохозяйственном освоении безуклонных и малоуклонных территорий, находящихся в затопленном или подтопленном состоянии. Эффективность работы польдерных систем определяется работой насосной станции, позволяющей по требуемому для развития сельскохозяйственных культур положению уровней грунтовых вод массива осушения управлять откачкой избыточного дренажного стока.

Общей тенденцией проектирования и строительства действующих польдерных систем было уменьшение площади массивов осушения и увеличение удельной производительности насосных станций [1, 2]. Начиная с 1971 г. на польдерных системах Неманской низменности на площади $F = 32\ 820$ построен закрытый дренаж. Дренаж является основным элементом польдерной системы, позволяющим управлять водно-воздушным режимом почв, задаваемым

расчетным значением модуля дренажного стока $q_{др.пр.} = 1,1-1,2$ л/(с·га). Корректность расчета параметров дренажа определяет эффективность его работы и работу польдерной системы в целом, поэтому задача расчета и проектирования польдерных систем заключается в обеспечении эффективности работы дренажа.

Расчет параметров и строительство дренажа польдерных систем производился для выращивания трав на производство травяной муки при модуле дренажного стока $q_{др.рас.}$. Смена структуры сельскохозяйственного производства привела к необходимости использования на массивах осушения многопольного севооборота с культурами, имеющими проектные значения модуля дренажного стока $q_{др.пр.} = 0,96-2,31$ л/(с·га), и применения орошения дождеванием, которое в условиях равнинного рельефа может быть реализовано только с использованием водохранилищ [3].

Системные экспериментальные исследования проводились на польдерных системах 15, 20, 29, 35, 36, 41, 46. Изучение работы дренажа проведено на производственно-экспериментальных участках «Шиповский» ($F = 73$ га) и «Аксеново» (польдерная система нс116а, $F = 130$ га). Численные эксперименты проводились с использованием проблемно ориентированной модели польдерной системы.

Корректность расчета параметров дренажа, достижение соответствия фактических значений модуля дренажного стока $q_{др.факт.}$ его проектным значениям $q_{др.расчет.}$ определяет как эффективность работы польдерной системы, так и ее стоимость. Стоимость дренажа составляет большую часть стоимости польдерной системы, поэтому корректность расчета параметров дренажа при проектировании систем и определении эффективности работы дренажа действующих и реконструируемых польдерных систем – необходимая экономическая составляющая проектирования польдерных систем.

Экспериментальные исследования работы действующих систем Неманской низменности показали наличие характерной для них неравномерности осушения массива, которая приводит к снижению эффективности работы дренажа до 40–50 % и снижению на эту же величину эффективности использования вложенных в строительство средств [1, 4].

Анализ литературных и экспериментальных данных показал, что неравномерность осушения является результатом несогласованной работы составляющих систему элементов: дренажа, каналов проводящей сети и насосной станции [1, 4, 5]. При проектировании действующих систем расчет параметров каналов проводящей сети и насосной станции проводился по гидрологическим зависимостям, не учитывающим в явном виде проектные характеристики дренажа, определяемые соответствующим значением модуля дренажного стока $q_{др.расчет.}$ [4–6].

Отсутствие возможности расчета параметров польдерной системы в динамическом режиме ее работы с учетом всех составляющих систему элементов не позволило достичь требуемой эффективности работы действующих польдерных систем [2–6].

Расчет параметров дренажа мелиоративных систем велся по формулам С. Ф. Аверьянова и А. И. Ивицкого.

Эти зависимости использовались также при расчете параметров дренажа польдерных систем. Их применение обуславливает создание необходимых уклонов дрен и свободного истечения стока из них. В условиях безуклонных массивов осушения польдерных систем обеспечение необходимых уклонов дрен и свободного истечения стока из них фактически невозможно. Приток воды к дренажу и далее в каналы проводящей сети обеспечивается созданием перепада между уровнями воды в канале и положением уровней грунтовых вод на массиве осушения.

Расчет параметров дренажа для условий формирования уровней воды в каналах проводящей сети польдерных систем может быть произведен по формуле нестационарной фильтрации

$$B = 4[(L_{нд}^2 + \tau_p \cdot T / 4\mu)^{0,5} - L_{нд}], \quad (1)$$

где $L_{нд}$ – обобщенное фильтрационное сопротивление, по А. Мурашко, м;

τ_p – параметр, учитывающий гидрологические условия работы дренажа (время стабилизации), сут;

T – проводимость водоносного комплекса, $m^2/сут$;

μ – коэффициент водоотдачи (недостатка насыщения) в зоне колебания уровней грунтовых вод.

Для польдерной системы продолжительность снижения уровней воды, обеспечивающая расчетные режимы работы дренажа, в каналах проводящей сети $t_{сн}$, до горизонтов заложения дренажа, расположенного на водоупоре, соответствует характерному времени польдерной системы. Здесь $\tau_p = t_{пс}$. В этом случае зависимость (1) примет следующий вид [1,4–6]:

$$B = 4[(L_{нд}^2 + t_{пс} \cdot T / 4\mu)^{0,5} - L_{нд}]. \quad (2)$$

Экспериментальные данные работы действующих польдерных систем, полученные В. А. Филатовым для Неманской низменности и В. Ф. Галковским для Белорусского Полесья, показывают, что эффективность работы дренажа определяется зависимостями стока с действующих польдерных систем от их площади, то есть дренаж, запроектированный на модуль дренажного стока $q_{др.пр.} = 1,1-1,2л/(с \cdot га)$, будет эффективен для площадей до $F_{пс} < 1100 \div 1900$ га. Фактически это означает, что

дренаж, имеющий экспериментально установленную эффективность работы для площади массива осушения $F_{пс} = 3500$ га будет иметь значение не более $q_{др.пр.} = 0,6$ л/(с·га) [2, 3] (рис. 1).

На рис. 1 приведены экспериментальные точки зависимости модели откачки с польдерных

систем от размеров площади осушаемого массива и аппроксимирующие их эмпирические зависимости $l - q = 0,6 + 2,0 \exp(-0.001F)$, весеннее половодье; $2 - q = 0,4 + 3,7 \exp(-0.0008F)$, летне-осенний паводок; $2 - q = 0,4 + 3,7 \exp(-0.0008F)$, летне-осенний паводок.

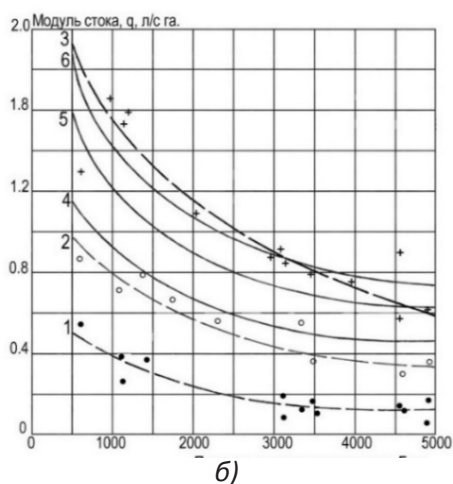
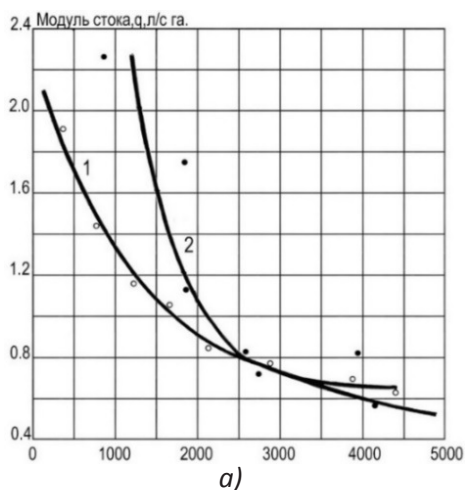


Рис. 1. Зависимость модуля откачки с польдерных систем от размеров площади осушаемого массива:

- а) Белорусское Полесье: 1 – маловодный год $q = 145F^{-0,89}$; 2 – средневодный год $q = 11.5F^{-0,41}$; 3 – многоводный год, $q = 3,1e^{-0,00064F}$ [3];
 б) Неманская низменность: 4 – $q = A \cdot F^{-0,43}$, здесь $A = 26,0$ при обеспеченности $P = 1 \%$; 5 – $A = 21,6$ при $P = 5 \%$; 6 – $A = 16,0$ при $P = 25 \%$

Экспериментальные данные показывают, что эффективность работы дренажа с параметрами, рассчитанными по формулам, существенно выше их расчетных значений (рис. 2). Корректное для расчета параметров дренажа качество определения фильтрационных свойств почв с использованием проблемно ориентированной модели польдерной системы может быть обеспечено применением метода рентгеновской компьютерной томографии.

Определенные экстремальные значения фактических модулей дренажного стока $q_{др.факт.} = 3,23-6,79$ л/(с·га) существенно выше их максимальных значений за периоды наблюдений. Математическое моделирование является необходимым средством расчета параметров польдерных систем, позволяющим с необходимой детализацией и учетом всех составляющих систему элементов рассчитывать их параметры в динамическом режиме.

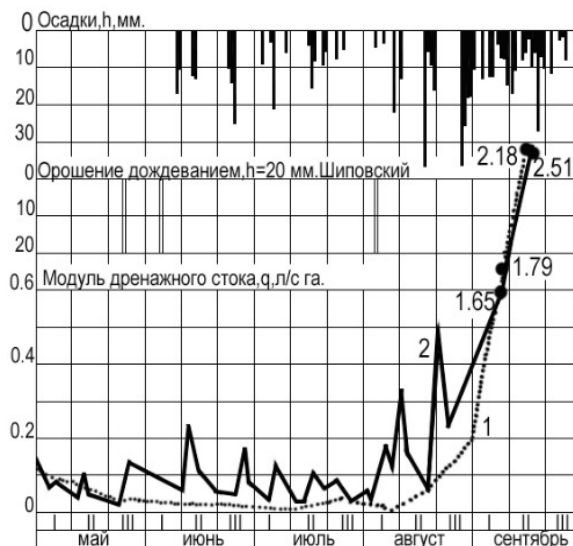


Рис. 2. Динамика формирования модулей дренажного стока на производственно-экспериментальных участках «Шиповский» (участок с самотечной системой двустороннего действия площадью $F = 73$ га) и «Аксеново» (опытно-производственная польдерная система двустороннего действия нс116а площадью $F = 130$ га, имеющая осушительно-увлажнительную насосную станцию)

Фильтрация грунтовых вод в насыщенной зоне описывается квазилинейным двухмерным нестационарным уравнением капиллярной модели совместно с моделью переноса влаги по пленкам:

$$\left\{ \begin{aligned} (\mu_0 - \sum_{i=1}^n \mu_i) \frac{\partial H}{\partial t} &= \nabla \left(\int_{H_d}^H K_\sigma(z) dz \right) \cdot \nabla H + \xi - \sum_{i=1}^n \mu_i f_i - \int_{H_d}^0 \frac{h_0 - h}{\tau_p} S dz \\ \frac{\partial H}{\partial t} &= f_i, \quad i = \overline{1, n} \\ \frac{\partial h}{\partial t} + \nabla(h\vec{V}) &= \frac{h_0 - h}{\tau_p} \\ \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V}\nabla, \vec{V}) + a\nabla h &= 0, \end{aligned} \right. \quad (3)$$

где H – уровень грунтовых вод, м; μ_0 – коэффициент водоотдачи; d – диаметр капилляров, м; μ_i – относительный объем капилляров диаметром d ; $K_\sigma(z)$ – скорость фильтрации в зависимости от уровня z , м/с; H_i – уровень воды в капиллярах диаметром d , м;

$f_i = V_{ki} \frac{H_{ki} + H - H_i}{H_{ki}}$; V_{ki} – скорость капиллярного подъема в капиллярах диаметром d , м/с; H_{ki} – высота капиллярного подъема в капиллярах диаметром d , м, в частности для капилляров диаметром d для воды с $t = 20$ °С: $V_{ki} = 1,5 \cdot 10^5 \cdot d^2$, $H_{ki} = 3 \cdot 10^{-5} / d$; S – удельная площадь порового пространства, м²/м³; ξ – суммарный приток и отток, м/с; h – толщина пленки, м; \vec{V} – осредненная скорость движения по пленке, м/с; a – эмпирический параметр, м/с². В этой модели обмен влагой между пленкой и капиллярной влагой в уравнениях непрерывности пленки и в капиллярных уравнениях учитывается слагаемым: $\frac{h_0 - h}{\tau_p}$, где h_0 – толщина равновесной пленки, м, τ_p – скорость (характерное время) влаго-обмена, с.

Для этой системы уравнений граничные условия задаются на границах области интегрирования в виде нулевых потоков $\frac{\partial H}{\partial n} = 0$, где n – координата, перпендикулярная к границе.

В расчетах модели переноса влаги по пленкам использована физическая модель по-

рового пространства почвы, предполагающая неразрывность в почвенном массиве пор одного диаметра. С учетом экспериментальных данных распределения пор по диаметрам это приводит к гипотезе о наличии в почве минимального объема, характеризуемого спектром распределения пор и независимостью свойств от его расположения и ориентации в почве. Расчет динамики водоотдачи, проведенный с использованием системы уравнений (3) для экспериментальных данных, показал хорошее качественное и количественное совпадение рассчитанных и экспериментальных данных [1].

Рассчитанные параметры польдерных систем площадью $F = 200 \div 5\,000$ га с использованием проблемно ориентированной модели польдерной системы, включающей систему уравнений (3) при сравнении с экспериментальными данными продемонстрировали хорошее совпадение, указывающее на определенные перспективы использования проблемно ориентированной модели в практических расчетах параметров польдерных систем. Данные расчетов с использованием системы уравнений (3) свидетельствуют о возможности достижения фактических значений $q_{\text{фр. факт.}}$ приведенных на рис. 2.

Итак, анализ методов расчета действующих польдерных систем и экспериментальных данных показывает, что использование в расчетах параметров дренажа системы уравнений (3) и применение для определения необходимых для расчетов количественных и

качественных параметров водно-физических и фильтрационных свойств почв осушаемого массива методом рентгеновской компьютер-

ной томографии позволит достичь необходимой корректности работы запроектированного дренажа.

Библиографический список

1. Кащенко, Н. М. Моделирование работы линейных польдерных систем. Приведение польдерной системы к линейному виду / Н. М. Кащенко, В. В. Васильев, В. П. Ковалев // Вестн. БГСХА. – 2013. – № 4. – С. 108–112.
2. Филатов, В. А. Расчет основных параметров польдерных систем / В. А. Филатов, В. П. Ковалев // Мелиорация земель Калининградской области. – Л. : Госиздат, 1987. – С. 26–30.
3. Галковский, В. Ф. Гидрологический режим польдеров Белорусского Полесья / В. Ф. Галковский // Конструкция и использование польдерных систем / Тр. ЛитНИИГиМ. – Елгава, 1981. – С. 41–79.
4. Кащенко, Н. М. Моделирование работы линейных польдерных систем. Расчет переноса влаги в междренной полосе / Н. М. Кащенко, В. В. Васильев, В. П. Ковалев // Вестн. БГСХА. – 2014. – № 1. – С. 131–135.
5. Кащенко, Н. М. Расчет параметров польдерных систем сельскохозяйственного назначения / Н. М. Кащенко, В. В. Васильев, В. П. Ковалев // Вестн. БГСХА. – 2018. – № 4. – С. 128–132.
6. Кащенко, Н. М. Польдерные системы сельскохозяйственного назначения. Расчет параметров реконструируемых систем / Н. М. Кащенко, В. В. Васильев, В. П. Ковалев // Вестн. БГСХА. – 2019. – № 4. – С. 131–136.

Поступила 21 сентября 2020 г.