

УДК 627.533

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНЫХ ПОЛЬДЕРНЫХ СИСТЕМ

В.П. Ковалев, директор

ООО «Бюро инженерных и мелиоративных технологий», г. Калининград, Россия

Польдерные системы применяются при освоении безуклонных и малоуклонных территорий, обладающих высоким естественным плодородием, но затапливаемых и подтапливаемых в течение длительных периодов времени. Мелиоративные системы с механическим сбросом избыточного дренажного стока за пределы осушаемого массива обладают более высокими, по сравнению с самотечными, возможностями по управлению водным режимом почв, обеспечивая получение стабильно высоких урожаев сельскохозяйственных культур на осваиваемых территориях.

Характерным недостатком в работе действующих польдерных систем является наличие на осушаемом массиве зоны активного влияния насосной станции, воздействие которой на водный режим почв мелиорируемой территории распространяется на расстояние до 3-5 км и, в зависимости от конфигурации массива осушения, на площади в 800-1200 га [1-5]. В условиях безуклонного и малоуклонного рельефа и сложного геологического строения осушаемого массива практически невозможно создать в открытых каналах проводящей сети уклоны, обеспечивающие приток дренажного стока к створу насосной станции, и формирование стока на осушаемом массиве происходит под влиянием образующихся под воздействием откачки в открытых каналах проводящей сети уклонов свободной поверхности воды, значения которых для действующих систем в пределах $i=1,5...3,5 \cdot 10^{-4}$ определяют своим влиянием на урочный режим каналов проводящей сети размеры зоны влияния насосной станции. Исследования работы регулирующей сети польдерных систем показали, что интенсивность снижения уровней грунтовых вод за пределами зоны активного влияния насосной станции существенно, на 30-40% ниже, чем непосредственно в этой зоне. Экспоненциального вида зависимость изменения интенсивностей снижения уровней грунтовых вод на осушаемом массиве с удалением от насосной станции является характерной для польдерных систем Неманской низменности [2, 3]. Наличие неравномерности динамики формирования урочного режима грунтовых вод на осушаемом массиве польдерных систем является существенным препятствием для ведения интенсивного сельскохозяйственного производства и обеспечения гарантированности получения высоких урожаев на этих землях. Таким образом, условие равномерного осушения мелиорируемых земель является необходимым требованием сельскохозяйственного производства к работе польдерных систем.

Эта задача может быть реализована формальными расчетными методами, расширением влияния уклонов свободной поверхности воды в открытых каналах про-

водящей сети на весь осушаемый массив. Ограничение величины влияния уровней воды в открытых каналах проводящей сети на напоры на дренаже, формализующее получение уклонов свободной поверхности воды в каналах проводящей сети, обеспечивающих формирование и приток дренажного стока с осушаемого массива к створу насосной станции, по опытным данным, должно удовлетворять соотношению $\Delta h = 0,05H_{др}$. Однако подход, не выявляющий качественной стороны процесса формирования стока на осушаемом массиве польдерной системы, не отвечает универсальности методов расчета параметров польдерных систем.

Анализ условий формирования стока на осушаемых массивах действующих польдерных систем показал, что неравномерность осушения мелиорируемой территории является следствием несогласованного режима работы регулирующей и проводящей сети и насосной станции, параметры которых рассчитывались без учета времени добегания дренажного стока к створу насосной станции. Эффект редукиции дренажного стока к створу насосной станции может быть учтен коэффициентом редукиции стока в виде его зависимости от размеров площади осушаемого массива. В этом случае формулы для расчета параметров проводящей сети и производительности насосной станции имеют следующий вид [2, 3]:

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

$$q_{пр с} = q_{др} / \varphi, \quad (2)$$

где $q_{нс}$ – модуль стока для расчета параметров насосной станции, л/с·га;

$q_{пр с}$ – модуль стока для расчета параметров открытых каналов проводящей сети, л/с·га;

$q_{др}$ – модуль стока, принятый для расчета параметров дренажа польдерной системы, л/с·га;

φ – коэффициент редукиции стока, определяемый для стока весеннего половодья по зависимости:

$$\varphi_{вп} = 13,8 / (F + 450)^{0,43}. \quad (3)$$

Зависимости для расчета параметров каналов проводящей сети и производительности насосной станции (1)-(3) получены на основании анализа работы действующих польдерных систем и отражают влияние на формирование стока величин площадей осушаемых массивов, конструктивного исполнения элементов польдерных систем и климатических условий формирования стока. Учет времени добегания дренажного стока к створу насосной станции в неявном виде не позволяет в достаточной для практики проектирования степени детализировать расчет параметров основных элементов польдерной системы: дренажа, открытых каналов проводящей сети, производительности насосной станции и конструктивных отметок установки насосно-силового оборудования и эксплуатационных уровней откачки.

В гидрологии речных бассейнов для линейных гидрологических объектов расчет гидрографа стока в замыкающем створе, которым для польдерной системы является

створ насосной станции, производится с использованием формулы, математическая запись которой известна как интеграл Дюамеля:

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

где $F(t-\tau)$ – функция влияния, редукции стока с осушаемого массива к створу насосной станции;

$f(\tau)$ – функция стока, для польдерной системы это функция преобразования осадков в дренажный сток;

τ – время добега стока дренажной системы к створу насосной станции, $\tau=L/V$, с;

t – максимальное время добега дренажного стока к створу насосной станции, с;

L – расстояние по каналу от створа дренажной системы до створа насосной станции, м;

V – расчетная скорость движения потока воды в каналах проводящей сети, м/с.

Для польдерных систем, водосбор которых представлен дренажными системами, выполненными из материального дренажа, расчет гидрографа стока в створе насосной станции с применением интеграла Дюамеля возможен только при приведении польдерной системы к линейной гидрологической системе с сосредоточенными параметрами. Неравномерность формирования уровней грунтовых вод осушаемых массивов действующих систем характеризует польдерные системы как нелинейные системы с распределенными параметрами [1-3].

В гидрологии речных бассейнов принято считать, что наличие линейного вида связи между напором и стоком определяет гидрологический объект как линейный. Можно допустить, что линейного вида связь между напором и стоком достаточно точно отражает работу дренажных мелиоративных систем [6-8]. Отклонения от линейности связи между напором на дренаже и стоком обычно связаны с нестационарным режимом работы дренажа при нагрузках на осушаемый массив польдерной системы (таяние снега, дождевые осадки), превышающих расчетные [8]. Детализация описания нестационарных режимов работы дренажа возможна только учетом нелинейных, инерционных членов уравнения гидродинамики.

Для польдерных систем условие линейности между напором на дренаже и стоком является необходимым, но недостаточным для определения польдерной системы как линейного гидрологического объекта. Вторым условием линейности польдерной системы является идентичность работы дренажных систем, составляющих водосбор осушаемого массива, выполненных из материального керамического или пластмассового дренажа, или наличие физически обоснованного способа приведения к идентичности работы всех дренажных систем осушаемого массива польдерной системы. Условие линейности польдерной системы по второму условию достигается путем введения в параметры

открытых каналов проводящей сети с размещением под горизонтами пропуска критических расходов.

При таком представлении объем редукции стока рассчитывается для отдельной дренажной системы, отдельного канала, польдерной системы зависимостями следующего вида:

$$\begin{aligned}
 W_{\text{вл.эл.пл.}} &= q_{\text{др.с.}i} \cdot F_{\text{др.с.}i} \cdot \tau_i, \\
 W_{\text{вл.кан.}} &= \sum_{i=1}^n q_{\text{др.с.}i} \cdot F_{\text{др.с.}i} \cdot \tau_i, \\
 W_{\text{вл.польд.}} &= \sum_{k=1}^m q_{\text{др.с.}i} \cdot F_{\text{др.с.}i} \cdot \tau_i,
 \end{aligned} \tag{5}$$

где $q_{\text{др.с.}i}$ – модуль стока, принятый для расчета дренажа польдерных систем, л/с-га;

$F_{\text{др.с.}i}$ – площадь единичной дренажной системы, га;

$\tau_{\text{др.с.}i}$ – время добегания стока дренажной системы к створу насосной станции;

$\tau=L/V$,

$k=1, \dots, m$ – число дренажных систем на осушаемом массиве;

$i=1, \dots, n$ – число дренажных систем, подсоединенных к одному каналу.

Введение в параметры открытых каналов проводящей сети объема редукции стока, рассчитанного по зависимостям (4), (5), учитывающим время добегания дренажного стока к створу насосной станции в явном виде, обеспечивая непосредственную гидравлическую связь каждой отдельной дренажной системы со створом насосной станции, приводит к вырождению функции влияния $F(t-\tau)$ в интеграле Дюамеля, так как входящее в нее время добегания τ становится равным нулю.

Время t в функции влияния $F(t-\tau)$, равное максимальному времени добегания дренажного стока к створу насосной станции, определяет время единичного цикла водообмена на осушаемом массиве польдерной системы и является характерным временем польдерной системы. Время t используется при определении части производительности насосной станции, необходимой для освобождения каналов от эксплуатационных объемов воды, расположенных между минимальным эксплуатационным и уровнем пропуска критических расходов, при пропуске летне-осенних паводков:

$$Q_{\text{пол.с.экс.пл.}} = W_{\text{пол.с.экс.пл.}} / t. \tag{6}$$

Суммарная расчетная производительность насосной станции определяется по зависимости:

$$Q_{\text{н.с.}} = Q_{\text{др.с.}} + Q_{\text{н.с.экс.пл.}} + Q_{\text{др.с.фильтр.}} \tag{7}$$

где $Q_{\text{др.с.}}$ – расчетный модуль дренажного стока, л/с-га;

$Q_{\text{н.с.экс.пл.}}$ – модуль откачки эксплуатационных объемов, л/с-га;

$Q_{\text{др.с.фильтр.}}$ – модуль стока дренажных систем, предназначенных для перехвата

фильтрационного потока по контуру дамбы из водоприемника, л/с-га.

Здесь очевидной является возможность производить откачку подлежащих сбросу вод с осушаемого массива с использованием всей установленной производительности насосно-силового оборудования в диапазоне от минимальных до максимальных значений притока к створу насосной станции. Практика же подбора необходимого числа устанавливаемых на насосной станции агрегатов в этом случае сводится к обеспечению надежности работы насосно-силового оборудования.

Дуг [9], для расчета гидрографа стока в замыкающем створе водосбора, основывается на представлении его состоящим из ряда линейных русловых участков и водохранилищ с линейной зависимостью расхода от объема. При таком представлении водосбора водохранилища трансформируют осадки в сток, а линейные русла переносят гидрограф стока без изменения формы к замыкающему створу. Можно утверждать, что представления Дуга будут справедливы только для линейных польдерных систем с сосредоточенными параметрами.

Очевидно, что расчет параметров дренажа, устраиваемого на польдерных системах, должен производиться с учетом динамики формирования уровня в открытых каналах проводящей сети под воздействием откачки. Формирование уровней воды в открытых каналах проводящей сети, по опытным данным, происходит линейно, с постоянной интенсивностью. Опытные данные показывают, что величины интенсивностей снижения уровней воды в каналах действующих польдерных систем Неманской низменности $\Delta h_{\text{увк}}$ находятся в пределах от 0.8-1.2...4.0-6.0 (15-20) см/ч. Расчет параметров дренажа для подобных условий формирования уровней воды в каналах проводящей сети польдерных систем должен производиться по формулам нестационарной фильтрации:

$$B = 4[(L_{\text{нд}}^2 + T \cdot \tau_p / 4\mu)^{0.5} - L_{\text{нд}}], \quad (8)$$

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

T – проводимость водоносного комплекса, м²/сут;

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

τ_p – параметр, учитывающий гидрологические условия работы дренажа.

Параметр τ_p в формуле (8), время стабилизации, определяется подбором, с учетом закона снижения уровней воды в каналах. Для польдерной системы, при нагрузках на систему в виде тающего снега или дождевых осадков, соответствующих принятым при проектировании польдерной системы расчетным значениям, время снижения уровней воды в каналах проводящей сети до горизонтов заложения дренажа, обеспечивающих расчетные режимы работы дренажа, соответствует характерному времени польдерной системы. Имея для расчетных величин нагрузок на польдерную систему $t_{\text{сн в}} = t$, подбор параметра

t_p осуществляется с учетом характерного времени польдерной системы t . Таким образом, мы имеем для польдерной системы наличие фактически абсолютной связи параметров всех составляющих польдерную систему элементов между собой. Расчет параметров дренажа регулирующей сети, открытых каналов проводящей сети, производительности насосной станции, определения конструктивных отметок установки насосно-силового оборудования и отметок эксплуатационных горизонтов проведения откачек может быть произведен только в едином комплексе. Проведение расчетов параметров элементов польдерной системы без учета взаимосвязи их работы приводит к негативным результатам работы польдерных систем по управлению водным режимом почв осушаемых массивов [1-3, 5, 10]. Следует отметить, что необходимость расчета параметров дренажа для польдерных систем, уменьшения для них на 10-20% междренних расстояний, получаемых из расчетов как для самотечных систем, рассматривалась Ю. Юшкаускасом [11].

Практика ведения сельскохозяйственного производства показала, что для климатических условий Калининградской области необходимое для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур поддержание требуемого водного режима почв с использованием только осушения не удается. Использование подпочвенного увлажнения с подачей воды на осушаемый массив для осуществления управления уровнями грунтовых вод позволяет в некоторой степени решить задачу погашения дефицита влаги в почве. Подпочвенное увлажнение с поддержанием уровней грунтовых вод на отметках, обеспечивающих максимальное подпитывание корнеобитаемого слоя почвы без нарушения значений оптимума на его нижней границе, не связано с изменением параметров дренажа, рассчитанных на обеспечение режима осушения регулирующей сетью. Реализация стратегии подпочвенного увлажнения с периодическим подтоплением корнеобитаемого слоя сельскохозяйственных культур, выращиваемых в максимально допустимо короткие для них сроки, приводит к необходимости уменьшения междренних расстояний от 1,1-1,4 раза [12] до 2,0 раз [11] по сравнению с принятыми для осушения. Применение такой технологии неизбежно приводит к необходимости пересчета параметров проводящей сети и производительности насосной станции польдерной системы на уменьшенные междренние расстояния: увеличенный до 1,1-2,4 л/с-га, по сравнению с принимаемым для расчета дренажа на осушение $q_{др}=1$ л/с-га, модуль дренажного стока. Очевидно, что рассчитанная подобным образом осушительно-увлажнительная польдерная система будет иметь существенно большие, по сравнению с осушительными польдерными системами, оперативные возможности по управлению водным режимом почв мелиорируемого массива как в режиме осушения, так и в режиме подпочвенного увлажнения, и создаст наиболее приемлемые условия для получения гарантированных, стабильно высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

Применение приведенной методики для анализа работы действующих систем позволяет оценить возможности систем по управлению водным режимом почв осушае-

мого массива и при необходимости определить мероприятия и конструктивные решения, приводящие польдерную систему к требуемому техническому уровню.

Выводы

1. Требования сельскохозяйственного производства к равномерности водного режима осушаемой территории определяют польдерную систему как линейный гидрологический объект.

2. Польдерная система будет линейным гидрологическим объектом при соблюдении условий линейности связи (напора на дренаже и дренажного стока) и идентичности условий работы дренажных систем регулирующей сети на осушаемом массиве.

3. Использование для расчета гидрографа стока с осушаемого массива польдерной системы интеграла Дюамеля и предлагаемого инженерного решения позволяют с необходимой точностью привести польдерную систему к линейному гидрологическому объекту с сосредоточенными параметрами. Подобные польдерные системы не имеют ограничений на размеры площади осушаемого массива по условию равномерности осушения.

4. Параметры дренажа регулирующей сети польдерной системы должны рассчитываться по формулам нестационарной фильтрации при фактическом соответствии времени снижения уровня воды в открытых каналах проводящей сети характерному времени польдерной системы.

5. Параметры осушительно-увлажнительных польдерных систем с подпочвенным увлажнением рассчитываются с учетом выбранной стратегии реализации подпочвенного увлажнения.

6. Представления Dooge J. (1959) будут справедливы только для линейных польдерных систем.

7. Применение предлагаемого метода для анализа работы действующих польдерных систем позволяет определить их возможности по управлению водным режимом почв осушаемого массива, а также мероприятия и конструктивные решения, приводящие действующую польдерную систему к требуемому техническому уровню.

Литература

1. Скрипник О.В., Долид М.А. Рациональная площадь польдерных систем Западного Полесья Украины// Конструкции осушительно-увлажнительных систем и методы их расчетов. – Киев: Укргипроводхоз, 1984. – С. 9-12.
2. Филатов В.А., Ковалев В.П. Расчет основных параметров польдерных систем// Мелиорация земель Калининградской области. – Л.: Госиздат. – 1987. – С. 26-30.
3. Филатов В.А., Ковалев В.П., Лобан В.И. Особенности работы незатапливаемых польдерных систем Калининградской области// Эксплуатация мелиоративных систем и использование мелиорированных земель/ Сб. тр. ЛитНИИГиМ. – Елгава: Госиздат. – 1987. – С. 61-71.
4. Филатов В.А. Особенности стока на зимних польдерах Калининградской области// Конструкции и использование польдерных систем./ Тр. ЛитНИИГиМ. – Елгава: Госиздат, 1981. – С. 50-62.

5. Галковский В.Ф. Гидрологический режим польдеров Белорусского Полесья.// Конструкции и использование польдерных систем./ Тр. ЛитНИИГиМ. – Елгава: Госиздат, 1981. – С. 41-49.
6. Закржевский П.И., Вахонин Н.К. Экспериментальное исследование водоприемной способности затопленных дрен// Конструкции и расчеты осушительно-увлажнительных систем. Сб. науч. работ БелНИИМиВХ. – Мн., 1978. – С. 58-66.
7. Валтер Я.Я. Зависимость притока воды к дренам от их диаметра// Гидротехника и мелиорация. – 1980. – №1. – С. 48-50.
8. Шкинис Ц.Н. Проблемы гидрологии дренажа. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 347 с.
9. Dooge J. A general theory of the unit hydrograph./ J. Dooge. J. Geophys. Res. V. 64. – №2. – 1959.
10. Зеленка Л., Юшкаускас Ю. Мелиоративные исследования на польдерных землях низовья реки Нямунас./ Тр. ЛитНИИГиМ. Т. VII. – Вильнюс: Минтис, 1970. – С. 93-110.
11. Юшкаускас Ю. Расчетные параметры польдерных систем на пойменных землях.// Опыт применения механического водоподъема./ Тр. ЛитНИИГиМ. – Елгава: Госиздат, 1971. – С. 5-13.
12. Маслов Б.С., Станкевич В.С., Черненко В.Я. Осушительно-увлажнительные системы. – М.: Колос, 1981. – 280 с.

Резюме

Предложен метод расчета параметров польдерных систем, приводящий последние к линейным гидрологическим объектам с сосредоточенными параметрами, для которых нет ограничений размеров осваиваемого массива, имеющего требуемую по условиям сельскохозяйственного производства равномерность осушения. Применение предлагаемого метода для анализа работы действующих польдерных систем позволяет определить по величине обеспечиваемого модуля дренажного стока, их возможности по управлению водным режимом почв осушаемого массива, определить мероприятия и конструктивные решения, позволяющие повысить технический уровень действующей польдерной системы.

Ключевые слова: польдерные системы, расчет параметров, водный режим.

Summary

Kovalyov V. Calculations of parameters of linear polder systems

The method of calculations of parameters of polder systems is offered, the method bringing such systems to linear hydrological objects with concentrated parameters without limitations in size of developed land area having a draining uniformity required under conditions of agricultural production. The use of the offered method to analyze functioning polder systems allows to determine, on the basis of a drainage runoff value, their possibility to control a water regime of soils on a drained area, and also to select measures and design solutions permitting to increase a technological level of functioning polder systems.

Keywords: polder system, calculations of parameters, water regime.