

## МЕЛИОРАЦИЯ И ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО

УДК 631.616:621.72

### ПРИНЦИПЫ И ТЕХНОЛОГИЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ПОЛЬДЕРНЫХ СИСТЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Н. М. КАЩЕНКО**

*Балтийский Федеральный университет им. И. Канта,  
г. Калининград, Россия*

**В. В. ВАСИЛЬЕВ**

*УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407*

**В. П. КОВАЛЕВ**

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

*(Поступила в редакцию 18.03.2021)*

*Анализ литературных источников и многолетних системных экспериментальных исследований, проведенных на польдерных системах и результатов численных экспериментов, позволил сформулировать основные принципы расчета и проектирования польдерных систем, обеспечивающих соответствующую расчетным значениям работу дренажа польдерных систем на всем массиве при применении в сельскохозяйственном производстве многопольного севооборота. Анализ экспериментальных данных показал, что неравномерность осушения является результатом несогласованной работы составляющих систему элементов: дренажа, каналов проводящей сети и насосной станции. При проектировании действующих систем расчет параметров насосной станции и каналов проводящей сети проводился по гидрологическим зависимостям, не учитывающим в явном виде проектные характеристики дренажа, определяемые соответствующим значением модуля дренажного стока. Экспериментальные данные показывают, что эффективность работы дренажа, рассчитанного по формулам существенно выше их расчетных значений. Равномерность осушения массива системы достигается путем введения в параметры каналов проводящей сети объемов добегающего дренажного стока от составляющих водозбор польдерной системы, дренажных систем к створу насосной станции, рассчитываемых с использованием адаптированного к топологии польдерной системы интеграла Дюамеля. Математическая модель польдерной системы состоит из уравнений, описывающих работу отдельных элементов польдерной системы, и включает уравнения фильтрации грунтовых вод, уравнения течения воды в дренах и уравнения течения воды в канале. Анализ методов расчета действующих польдерных систем и экспериментальных данных показывает, что использование в расчетах параметров дренажа системы уравнений и применение ее для определения необходимых для расчетов количественных и качественных параметров водно-физических и фильтрационных свойств почв осушаемого массива позволит достичь необходимой корректности работы запроектированного дренажа. Проведение реконструкции действующих польдерных систем, с учетом определения типа многопольного севооборота, размеров площади отдельных полей севооборотов, основанных на данных фактических значений модулей дренажного стока систем, даст возможность минимизировать затраты при эксплуатации польдерных систем и существенно увеличить результативность сельскохозяйственного производства на польдерных землях.*

**Ключевые слова:** *польдерная система, равномерность осушения, математическая модель, модуль дренажного стока, реконструкция, параметры дренажа.*

*Analysis of literature sources and long-term systemic experimental studies carried out on polder systems, and the results of numerical experiments, made it possible to formulate the basic principles of calculating and designing polder systems that ensure the work of drainage of polder systems on the entire massif corresponding to the calculated values when used in agricultural production of multi-field crop rotation. Analysis of experimental data showed that the unevenness of drainage is the result of inconsistent operation of elements constituting the system: drainage, channels of the conducting network and the pumping station. When designing the operating systems, the calculation of parameters of pumping station and channels of the conducting network was carried out according to hydrological dependencies, which do not explicitly take into account the design characteristics of drainage, determined by the corresponding value of drainage flow modulus. Experimental data show that the efficiency of drainage, calculated by the formulas, is significantly higher than their calculated values. The uniformity of drainage is achieved by the introduction into the parameters of channels of the conducting network of the volumes of runoff of drainage runoff from the components of intake of polder system, from*

drainage systems to the section of pumping station, calculated using the Duhamel integrals adapted to the topology of the polder system. The mathematical model of the polder system consists of equations describing the operation of individual elements of the polder system, and includes equations for groundwater filtration, equations for water flow in drains and equations for water flow in a canal. Analysis of the methods for calculating the existing polder systems and experimental data show that the use of a system of equations in the calculations of drainage parameters and its application to determine the quantitative and qualitative parameters of water-physical and filtration properties of the soils of the drained massif necessary for the calculations will allow achieving the necessary correctness of the designed drainage. Reconstruction of the existing polder systems, taking into account the definition of the type of multi-field crop rotation, the size of the area of individual crop rotation fields, based on the data of the actual values of drainage flow modules of the systems, will make it possible to minimize the costs of operating polder systems and significantly increase the efficiency of agricultural production on polder lands.

**Key words:** polder system, uniformity of drainage, mathematical model, drainage flow module, reconstruction, drainage parameters.

## Введение

Действующие польдерные системы Неманской низменности Славского района Калининградской области нашли применение при сельскохозяйственном освоении безуклонных и малоуклонных за­тапливаемых территорий. Общая площадь польдерных систем низменности составляет  $F=65\ 800$  га, из которых  $F=32\ 820$  га осушено закрытым материальным дренажем. Эффективность работы польдерных систем определяется работой насосной станции, управляющей откачкой избытка дренажного стока с осушаемого массива [1]. Закрытый материальный дренаж запроектирован на значения модуля дренажного стока  $q_{др.факт.} = 1.10 - 1.20 л / (с \cdot га)$ . Соответственно и топология действующих систем запроектирована на обеспечение производства на массивах осушения монокультуры трав. Переход на ведение на осушаемом массиве сельскохозяйственного производства с использованием многопольного севооборота требует внесения в топологию сети проводящих каналов и конструкцию системы существенных изменений, зависящих от размеров площади осушаемого массива.

В климатических условиях Неманской низменности Калининградской области получение ста­бильно высоких урожаев сельскохозяйственных культур может быть достигнуто только с использо­ванием орошения дождеванием, реализовать которое в условиях равнинного рельефа возможно только с устройством наливных водохранилищ [2, 3]. Необходимо отметить, что создание наливных водохранилищ на Неманской низменности затруднено ограниченностью водных ресурсов территории.

## Основная часть

Сложившаяся тенденция развития проектирования и строительства польдерных систем, уменьше­ния площади массивов осушения и увеличения производительности насосных станций, основана на практическом опыте эксплуатации и исследованиях действующих систем, запроектированных с использованием существующих методов [4].

Расчет параметров насосной станции и каналов проводящей сети действующих систем проведен по гидрологическим зависимостям, непосредственно не учитывающим проектных характеристик дренажа, определяемых принятым при проектировании дренажа значением модуля стока  $q_{др.пр.} = 1.10 - 1.20 л / (с \cdot га)$  [4].

Формула Г. А. Алексеева для расчета расходов воды весеннего половодья (нашла применение при расчете параметров каналов и производительности насосной станции 60) [5], примененная при рас­чете параметров польдерных систем 15 и 36, 38, 46 в 1971 и 1973 гг. предполагает значения максимальных расходов стока, величины которых приведены в табл. 1.

Таблица 1. Ведомость максимальных расходов стока  $q$  л/с га для площади водосбора  $F=1000$  га

№ п/п	Культура	Период	Почвы осушаемого массива.		
			Глина	Суглинок	Супесь, торф
1	Полевые культуры	Весна	1.75	1.50	1.25
		Лето	1.45	1.20	0.90
2	Луга и пастбища	Весна	1.15	0.95	0.75
		Лето	1.05	0.90	0.70
3	Овощи	Весна	2.10	1.80	1.50
		Лето	1.75	1.45	1.10

Примечание: Указанные в таблице нормы относятся к обычным осушаемым участкам польдеров, обслуживаемым одной насосной станцией с площадью порядка 1 000 га (10 км<sup>2</sup>). Для участков в 2 000 и 4 000 га нормы следует уменьшить соответственно на 10 % и 20 %, а для участков в 500 га увеличивать на 10 %.

Экспериментальные гидрологические исследования работы действующих польдерных систем, проведенные В. А. Филатовым для Неманской низменности и В. Ф. Галковским, для Белорусского Полесья показывают, что эффективность работы дренажа определяется зависимостями стока с польдерных систем от их площади, т. е. дренаж, запроектированный на модуль дренажного стока

$q_{др.нр.} = 1.1 - 1.2 л / (с \cdot га)$  будет эффективен для площадей, ориентировочно  $F_{nc} < 1100 \div 1600$  га (рисунок) [3, 6]. Фактически это означает, что дренаж, имеющий установленную в полевых экспериментах эффективность работы в пределах  $q_{др.нр.} = 1.1 л / (с \cdot га) - q_{др.нр.} = 2.3 л / (с \cdot га)$  для площади массива осушения  $F_{nc} = 3500$  га действующих польдерных систем не будет превышать значение модуля  $q_{др.факт} = 0.7 л / (с \cdot га)$  (рисунок) [4, 6].

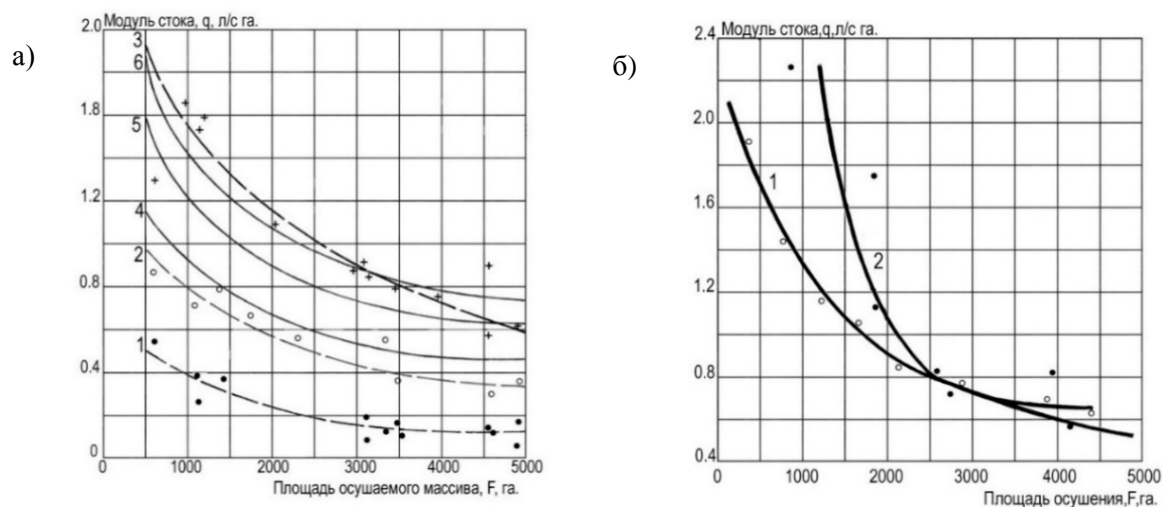


Рис. а) Аппроксимирующие зависимости фактических значений модулей стока с польдерных систем: Неманская низменность (---)  $q = A \cdot F^{-0.43}$ , 4 –  $A = 26.0$  при обеспеченности  $P = 1\%$ , 5 –  $21.6 - P = 5\%$ , 6 –  $16.0 - P = 25\%$ ,  
•, ○ – экспериментальные данные; Белорусское Полесье (---) 1 – маловодный год –  $q = 145F^{-0.89}$ ,  
2 – средневодный год –  $q = 11.5F^{-0.41}$ , 3 – многоводный год –  $q = 3.1e^{0.00064F}$  [6];

б) Зависимость модуля откачки с польдерных систем от размеров площади осушаемого массива:  
1 –  $q = 0.6 + 2.0 \exp(-0.001F)$ , весеннее половодье, 2 –  $q = 0.4 + 3.7 \exp(-0.0008F)$ , летне-осенний паводок,  
•, ○ – экспериментальные данные [4]

Учитывая, что дренаж польдерных систем запроектирован на модули стока  $q_{др.нр.} = 1.1 - 1.2 л / (с \cdot га)$ , становится очевидной необходимость исследования работы действующих систем Неманской низменности и устроенного на массивах осушения дренажа. В частности, это относится к польдерным системам с построенным материальным дренажем: 15:  $F_{oc} = 2420$  га, 29:  $F_{oc} = 2980$  га, 35:  $F_{oc} = 3461$  га, 38:  $F_{oc} = 3461$  га, 50:  $F_{oc} = 3340$  га, 51:  $F_{oc} = 4940$  га.

Из приведенных экспериментальных данных рисунка 1 следуют зависимости [4]:

$$q_{нр.с.} F = q_{др.с.} / (1 - \varphi_{в.н}) F, \quad q_{н.с.} F = q_{др.с.} / \varphi_{в.н} F \quad (1)$$

$$\varphi_{в.н} = 13.8 / (F + 450)^{0.43} \quad (2)$$

где:  $q_{нр.с.}$  – модуль стока для расчета параметров проводящей сети, л/с га;  $q_{н.с.}$  – модуль стока для расчета производительности насосной станции, л/(с га);  $q_{др.с.}$  – модуль дренажного стока л/(с га);  $\varphi_{в.н}$  – модуль редукции стока весеннего половодья;  $F$  – площадь осушаемого массива, га.

Зависимости (1, 2) вносят некоторую определенность в расчет польдерных систем и могут быть применены для предварительных расчетов.

Проведенные системные экспериментальные исследования работы действующих систем 15, 20, 29, 35, 37, 41 выявили характерную для них неравномерность осушения массива, приводящую к снижению эффективности работы дренажа до 35÷40%. При откачке в открытых каналах проводящей сети, действующих польдерных систем, формируются уклоны свободной поверхности воды в пределах  $i = 1.5 \dots 2.5 \cdot 10^{-4}$ , влияние которых на уровневый режим в каналах распространяется на расстояние в  $L = 3.5 \dots 5.0$  км и формирует динамику уровней грунтовых вод, имеющую для польдерной системы 15 следующий вид  $i_{гв} = 6.7 \exp(-0.00026L)$ , где  $i_{гв}$  – уклон грунтовых вод,  $L$  – расстояние от рассматриваемой дренажной системы, по каналу, до створа насосной станции, м.

Многолетнее изучение работы дренажа, проведенное на производственно-экспериментальных участках «Шиповский» (самотечная система с орошением дождеванием,  $F = 46$  га) и «Аксеново» (польдерная система нс116а с орошением дождеванием,  $F = 116$  га) показало, что рассчитанные по ис-

пользованным методам параметры дренажа действующих польдерных систем, имеют эффективность работы, существенно превышающую их проектные параметры [1, 7, 8].

Расстояние между дренами польдерных систем рассчитывалось преимущественно по формулам С. Ф. Аверьянова [9]:

$$E = \sqrt{\frac{8KH_2(H_1 - h_0)^2}{\delta(H_1^2 - H_2^2)}} T, \quad T = \frac{1}{8} \frac{\delta E^2 (H_1^2 - H_2^2)}{KH_2(H_1 - h_0)^2} \quad (3)$$

где:  $K$  – коэффициент фильтрации;  $H_1$  – начальное положение грунтовых вод;  $H_2$  – искомое положение кривой депрессии;  $T$  – время понижения уровня грунтовых вод от  $H_1$  до  $H_2$ .

При проведении реконструкции польдерной системы 15 расстояние между дренами в режиме осушения рассчитывалось по формуле стационарной фильтрации С.Ф. Аверьянова (1970 г.)

$$E = 2H \sqrt{\frac{k}{q} \left(1 + \frac{2T}{H}\right) k}, \quad k = \frac{1}{1 + \frac{2T}{E} 2.941g \frac{T}{\pi d}} \quad (4)$$

Превышение фактической эффективности работы построенного дренажа действующих польдерных систем над их проектными параметрами приводит к необходимости его экспериментальной проверки при проведении реконструкции систем. Анализ результатов исследований работы действующих польдерных систем показал, что для достижения планируемых эксплуатационных характеристик расчет параметров польдерной системы, должен быть проведен одновременно и с учетом всех составляющих систему элементов, в динамическом режиме, с использованием предложенной проблемно-ориентированной математической модели [1, 4, 6, 10].

Расчет фильтрация грунтовых вод в междренной полосе достаточно хорошо описывается квазилинейным двумерным нестационарным уравнением капиллярной модели, реализуемой совместно с моделью переноса влаги по пленкам [1, 7, 8, 10]:

$$\begin{cases} (\mu_0 - \sum_{i=1}^n \mu_i) \frac{\partial H}{\partial t} = \nabla \left( \int_{H_d}^H K_\delta(z) dz \cdot \nabla H \right) + \xi - \sum_{i=1}^n \mu_i f_i - \int_{H_d}^0 \frac{h_0 - h}{\tau_p} S dz \\ \frac{\partial H_i}{\partial t} = f_i, \quad i = \overline{1, n} \\ \frac{\partial h}{\partial t} + \nabla(h\vec{V}) = \frac{h_0 - h}{\tau_p} \\ \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V}\nabla, \vec{V}) + a\nabla h = 0 \end{cases} \quad (5)$$

где:  $H$  – уровень грунтовых вод, м;  $\mu_0$  – коэффициент водоотдачи;  $\mu_i$  – относительный объем капилляров диаметром  $d_i$ ;  $K_\delta(z)$  – скорость фильтрации в зависимости от уровня  $z$ , 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, в частности для капилляров диаметром  $d$  для воды с  $t = 20^\circ\text{C}$ :  $V_{ki} = 1.5 \cdot 10^5 \cdot d^2$ ,  $H_{ki} = 3 \cdot 10^{-5} / d$ ;  $S$  – удельная площадь порового пространства, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>;  $\xi$  – суммарный приток и отток, м/с;  $h$  – толщина пленки, м;  $\vec{V}$  – осредненная скорость движения по пленке, м/с;  $a$  – эмпирический параметр, полученный по экспериментальным данным, м/с<sup>2</sup> [11].

В этой модели обмен влагой между пленкой и капиллярной влагой в уравнениях непрерывности пленки и в капиллярных уравнениях учитывается слагаемым:

$$\frac{h_0 - h}{\tau_p}, \quad \text{где } h_0 \text{ – толщина равновесной пленки, м, } \tau_p \text{ – скорость (характерное время) влагообмена, с.}$$

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.

При расчете переноса влаги по пленкам использована физическая модель порового пространства почвы, предполагающая неразрывность в почвенном массиве пор одного диаметра которая, с учетом экспериментальных данных распределения пор по диаметрам, приводит к гипотезе о наличии в почве минимального объема, характеризуемого спектром распределения пор и независимостью его свойств от расположения и ориентации в почве [11, 12].

Принятая схематизация формирования стока на осушаемом массиве, основана на интеграле Дюамеля. Непосредственная гидравлическая связь каждой отдельной дренажной системы массива осушения со створом насосной станции, обеспечиваемая учетом в параметрах каналов объемов добегающего стока, рассчитываемых по адаптированному к топологии польдерной системы интегралу Дюамеля, приводит к равномерному осушению массива [1, 7, 8, 10]:

$$W_{\text{вл.эл.п.}} = q_{\text{др.с.}i} \cdot F_{\text{др.с.}i} \cdot \tau_i, \quad W_{\text{вл.кан.}} = \sum_{i=1}^n q_{\text{др.с.}i} \cdot F_{\text{др.с.}i} \cdot \tau_i, \quad W_{\text{вл.польд.}} = \sum_{k=1}^m W_{\text{вл.кан.}} \quad (6)$$

где:  $W_{\text{вл.эл.п.}}$  – объем влияния для элементарной площадки, дренажной системы,  $\text{м}^3$ ;  $W_{\text{вл.кан.}}$  – объем влияния для отдельного, единичного канала,  $\text{м}^3$ ;  $W_{\text{вл.польд.}}$  – объем влияния для польдерной системы в целом,  $\text{м}^3$ ;  $q_{\text{др.с.}i}$  – расчётный модуль стока дренажной системы,  $\text{м}^3/\text{с} \cdot \text{га}$ ;  $\tau_i$  – время добегающего расхода дренажной системы до створа насосной станции, с;  $\tau_i = L/v$ ;  $L$  – расстояние от дренажной системы до створа насосной станции, м;  $V$  – принятая расчётная скорость движения потока воды в канале, м/с;  $i = 1, \dots, n$  – число дренажных систем с площадью  $F_{\text{др.с.}i}$ , подсоединённых к каналу;  $k = 1, \dots, m$  – число каналов польдерной системы. Характерное время польдерной системы,  $t_{\text{nc}} = \tau_{\text{max}} = L_{\text{max}} / V_{\text{max}}$  определяет время снижения напоров на дренаже до горизонтов его заложения и устанавливает зависимость расстояния между дренами от площади осушаемого массива системы. Наличие такой взаимосвязи подтвердилось при проведении численных экспериментов. Для  $q_{\text{др}} = 1.0 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{га})$  и коэффициента фильтрации грунта массива  $k_{\text{ф}} = 1.5 \text{ м}/\text{сутки}$  зависимость расстояний между дренами ( $E$ ) и площадью массива осушения ( $F$ ) имеет существенно выраженную связь  $E = 8 + 32 \exp(-F/1250)$  [7, 8].

Производительность насосной станции определяется как сумма:

$$Q_{\text{нс.}} = Q_{\text{кан}} + Q_{\text{др}} = V_{\text{кан}} / t_{\text{nc}} + q_{\text{др}} F_{\text{nc}}, \quad (7)$$

где:  $V_{\text{кан}}$  – объем канала от поверхности почвы до минимального горизонта откачки,  $\text{м}^3$ ;  $t_{\text{nc}}$  – характерное время польдерной системы, с;  $q_{\text{др}}$  – расчетный модуль дренажного стока;  $F_{\text{nc}}$  – площадь осушаемого массива, га. Для условия  $V_{\text{кан}} / t_{\text{nc}} = q_{\text{др}} F_{\text{nc}}$  осушаемый массив перестает быть активно управляемым.

Математическая модель польдерной системы, ориентированная на расчет параметров систем при работе в режиме осушения, кроме системы уравнений (5), включает уравнения, описывающие течение воды в каналах проводящей сети, уравнение течения воды в дрене [1, 7, 8, 10].

Использование математической модели при расчете параметров польдерных систем следует рассматривать как реализуемый ресурс повышения качества проектирования реконструкции польдерных систем. Численные эксперименты, проведенные с использованием математической модели для топологии польдерной системы площадью  $F_{\text{nc}} = 4000 \text{ га}$  показали, что при соблюдении условия (6) становится возможным получение значения эффективности работы дренажа в виде модуля дренажного стока в пределах  $q_{\text{др.факт.}} = 0.96 - 2.31 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{га})$ , соответствующего требованиям к водному режиму почв для всех выращиваемых сельскохозяйственных культур многопольного севооборота на всей площади осушаемого массива в пределах  $F_{\text{nc}} = 100 - 4000 \text{ га}$ .

Топология польдерной системы, использованной в численных экспериментах, имеет следующие параметры: почвы –  $K_{\text{ф}} = 1.25 \text{ м}/\text{сут.}$ , площадь отдельных полей  $F = 500 \text{ га}$ , общая площадь массива осушения  $F = 4000 \text{ га}$ . Рассчитанные уклоны свободной поверхности воды в каналах проводящей сети при выполнении условия (6), обеспечивающего непосредственную гидравлическую связь дренажных систем с насосной станцией, имеют значения  $i = 0.000002 - 0.000014$  [1].

Численные эксперименты показали возможность получить эффективную работу дренажа, определяемую значением модуля дренажного стока в пределах  $q_{\text{др.факт.}} = 0.96 - 2.31 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{га})$ , соответствующего требованиям к водному режиму почв для всех выращиваемых сельскохозяйственных культур многопольного севооборота на всей площади осушаемого массива в пределах  $F_{\text{nc}} = 100 - 4000 \text{ га}$  [1].

Естественно сложившаяся необходимость перехода к ведению на осушаемых массивах сельскохозяйственного производства с использованием многопольного севооборота требует корректировки параметров каналов проводящей сети и насосной станции и внесения в топологию сети проводящих каналов и конструкцию системы существенных изменений, зависящих от размеров площади осушаемого массива, определяемых величинами фактических значений модулей дренажного стока  $q_{др.факт.}$ , определяемых экспериментальным путем, методом «коротких каналов».

### Заключение

Результаты многолетних экспериментальных исследований работы польдерных систем и проведенных численных экспериментов позволили сформулировать основные принципы расчета и проектирования реконструкции действующих польдерных систем:

– тип многопольного севооборота сельскохозяйственного производства на массиве осушения реконструируемой системы определяется экспериментальным значением модулей дренажного стока систем  $q_{др.факт.} = 1.6 - 2.51 л / (с \cdot га)$ , полученных методом «коротких каналов»:

– равномерность осушения массива достигается обеспечением непосредственной гидравлической связи отдельных, составляющих массив осушения, дренажных систем со створом насосной станции учетом в параметрах каналов объемов добегающего стока, рассчитываемых с использованием адаптированного к топологии польдерной системы интеграла Дюамеля;

– реконструкция польдерной системы заключается в перестроении топологии системы и пересчете параметров сети проводящих каналов и насосной станции в динамическом режиме с учетом всех составляющих польдерную систему элементов с использованием предложенной проблемно-ориентированной математической модели и направлена на обеспечение работы фактических значений модулей дренажного стока систем, полученных экспериментальным путем, методом «коротких каналов»:

а) реконструкция польдерной системы в варианте с использованием одной насосной станции для массива осушения польдерных систем  $F < 1400$  га для одно и многопольного ведения сельскохозяйственного производства;

б) реконструкция польдерной системы в варианте с использованием двух и более насосных станций с соответствующим разделением массива осушения и переформатированием топологии сети проводящих каналов и самого осушаемого массива для польдерных систем площадью  $F > 1400$  га для одно и многопольного ведения сельскохозяйственного производства;

в) строительство и включение в топологию отдельных систем или группы польдерных систем наливных водохранилищ для создания технической возможности проведения орошения дождеванием на осушаемом массиве;

– проведение реконструкции действующих польдерных систем, основанное на фактических значениях модулей дренажного стока  $q_{др.факт.}$ , определяемых экспериментальным путем методом «коротких каналов» с использованием предложенной проблемно-ориентированной математической модели и учетом полученных результатов имеет существенный, от полутора до двух раз, потенциал увеличения эффективности их работы для массивов осушения площадью  $F = 100 - 4000$  га.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кащенко, Н. М. Польдерные системы сельскохозяйственного назначения. Расчет параметров реконструируемых систем / Н.М. Кащенко, В.П. Ковалев, В.В. Васильев // Вестник белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 4. – 2019 г. – С. 131–137.
2. Сташкевич, П. П. Влияние климатических факторов на режим орошения в условиях Калининградской области / П. П. Сташкевич // Природные условия мелиорации земель Калининградской области. – Клг., 1977. – С. 52–58.
3. Галковский, В. Ф. Техничко-экономические показатели наливных водохранилищ польдерных систем в зоне Полесья / С. В. Галковский, В. Ф. Галковский, Д. В. Куземкин, В. В. Пекун // Экономика и банки. – 2012. – № 1. – С. 59–66.
4. Филатов, В. А. Расчет польдерных систем с учетом редукиции стока / В. А. Филатов, В. П. Ковалев // Мелиорация и водное хозяйство. – М., 2005. – №4. – С. 31–34.
5. Алексеев, Г. А. Схема расчета максимальных дождевых паводков по формуле предельной интенсивности осадков с помощью кривых редукиции осадков и стока / Г. А. Алексеев // Труды ГГИ. – 1966. – Вып.134. – С. 44–50.
6. Галковский, В. Ф. Гидрологический режим польдеров Белорусского Полесья / В. Ф. Галковский // Конструкция и использование польдерных систем / Труды ЛитНИИГиМ. – Елгава: 1981. – С. 41–79.
7. Кащенко, Н. М. Расчет линейных польдерных систем / Н. М. Кащенко, В. П. Ковалев // Проблемы устойчивого развития мелиорации и рационального природопользования. материалы юбилейной международной конференции. – М.: 2007. – С. 195–200.

8. Кащенко, Н. М. Моделирование работы линейных польдерных систем. Приведение польдерной системы к линейному виду / Н. М. Кащенко, В. П. Ковалев, В. В. Васильев // Вестник белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – №4. – 2013 г. – С. 108–112.

9. Кащенко, Н. М. Расчет параметров дренажа польдерных систем сельскохозяйственного назначения» / В. В. Васильев, Н. М. Кащенко, В. П. Ковалев // Современное состояние, приоритетные задачи и перспективы развития аграрной науки на мелиорированных землях: материалы международной науч.-практ. конф., (Тверь, 25 сентября 2020). – Тверь: ФГБНУ ВНИИМЗ, 2020. – С. 141–147.

10. Кащенко, Н. М. Моделирование работы линейных польдерных систем. Расчет переноса влаги в междренной полосе / Н. М. Кащенко, В. П. Ковалев, В. В. Васильев // Вестник белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – №.1. – 2014 г. – С. 131–135.

11. Кащенко, Н. М. Расчет параметров реконструируемых польдерных систем сельскохозяйственного назначения / Н. М. Кащенко, В. В. Васильев, В. П. Ковалев // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: сб. науч. тр. по материалам междунар. науч.-практ. конф. Вып. 8 / под общ. ред. Ю. А. Мажайского, В. И. Желязко. – М.: ООО «Сам Полиграфист», 2020. – С. 61–68.

12. Кащенко, Н. М. Расчет влагопереноса в почве при расчете параметров дренажа польдерных систем / Н. М. Кащенко, В. П. Ковалев // Инновационные технологии в мелиорации. Материалы юбилейной международной конференции. – М., 2011. – С. 79–84.