

ISSN 2070–4828

МЕЛИОРАЦИЯ

Научный журнал

№ 4(102)

Основан в 1951 году
Выходит 4 раза в год

Октябрь – декабрь 2022



Минск
2022

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь,
свидетельство о регистрации № 411 от 25.05.2009 г.

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА:

Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт мелиорации»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

чл.-корр. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф. **А. П. Лихацевич**

РЕДКОЛЛЕГИЯ:

д-р с.-х. наук, проф. **А. С. Мееровский** (зам. гл. редактора)

акад. РАН, д-р с.-х. наук, проф. **Н. Н. Дубенок**

д-р с.-х. наук, проф. **Ю. А. Мажайский**

д-р техн. наук, проф. **Э. И. Михневич**

д-р с.-х. наук, проф. **Н. Н. Цыбулько**

д-р с.-х. наук, проф. **В. И. Желязко**

д-р с.-х. наук **П. Ф. Тиво**

канд. техн. наук, доц. **А. С. Анженков**

канд. с.-х. наук, доц. **А. Л. Бирюкович**

канд. техн. наук **Э. Н. Шкутов**

*Журнал «МЕЛИОРАЦИЯ» рецензируется;
включен в перечень научных изданий Республики Беларусь
для опубликования результатов диссертационных исследований.*

*Журнал включен в Перечень научных изданий ВАК Российской Федерации
для опубликования результатов диссертационных исследований
(распоряжение Министерства образования и науки Российской Федерации
от 12 февраля 2019 г. № 21-р) по следующим группам научных специальностей:
06.01.02 – мелиорация, рекультивация и охрана земель;
06.01.06 – луговое хозяйство и лекарственные эфирно-масличные культуры.*

Журнал включен в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

Статьи и отдельные выдержки из журнала могут цитироваться при условии указания первоисточника.

Редакция не несет ответственности за возможные неточности по вине авторов.

Мнение редакции может не совпадать с мнением автора. Рукописи не возвращаются.

Фотоматериалы взяты из архива РУП «Институт мелиорации» и предоставлены авторами статей.

Подписные индексы: **74856** — для индивидуальных подписчиков, цена – 16,20 руб.;

748562 — для предприятий и организаций, цена – 19,80 руб.

Подписку можно оформить во всех отделениях связи.

Редактор, корректор **Т. В. Мейкшане**

Компьютерная верстка **И. В. Скуратович**

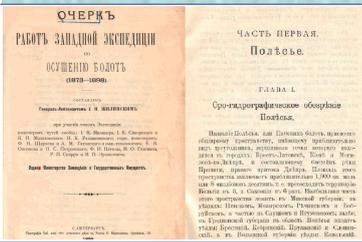
Подписано к печати 14.12.2022 г. Формат 60 x 84 1/8.
Уч.-изд. л. 5,90. Усл. печ. л. 7,44. Заказ 610. Тираж 100 экз.

Адрес редакции: 220040, г. Минск, ул. Некрасова, 39-2;
тел.: 8 (017) 363-49-03;
e-mail: info@niimel.by, redaktor@niimel.by

Отпечатано РУП «Информационно-вычислительный центр Министерства финансов».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 2/41 от 29.01.2014.

© РУП «Институт мелиорации», 2022

Содержание Contents



К 150-летию юбилею начала осушения болот в Беларуси

5



**А. С. Анженков, А. С. Мееровский
150 лет Западной экспедиции по осушению болот**

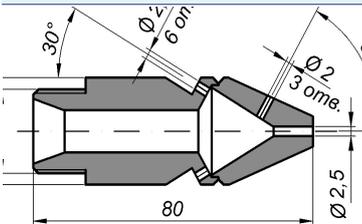
A. S. Anzhenkov, A. S. Meerovsky

150th anniversary of the Western expedition for the drynage of the swamps

6

Мелиорация

Land improvement

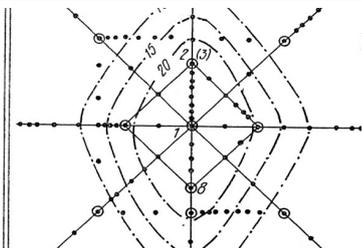


**А. С. Анженков, В. А. Болбышко
Расчет гидравлических параметров насадки устройства промывки дренажа**

A. S. Anzhenkov, V. A. Bolbyshko

Calculation of the hydraulic parameters of the nozzle of the drainage flushing device

12



**А. И. Митрахович, А. П. Майорчик
Исследование конструкций и работы сифонных водосборов на системах вертикального дренажа**

A. I. Mitrakhovich, A. P. Maiorchik

The study of work of siphon catchments and its constructions on vertical drainage systems

18

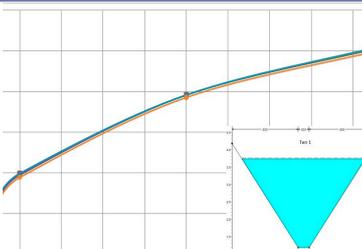


**К. Э. Повколас
Оценка эффективности применения вертикальных барьеров из газонаполненных цилиндрических баллонов для снижения вибраций в грунтовой среде**

K. E. Povkolas

Evaluation of the effectiveness of the use of vertical barriers from gas-filled cylindrical cylinders to reduce vibrations in the soil environment

23



**А. И. Ракицкий
Гидравлический расчет открытого канала в среде HEC-RAS**

A. I. Rakitsky

Hydraulic calculation of an open channel in the HEC-RAS environment

30



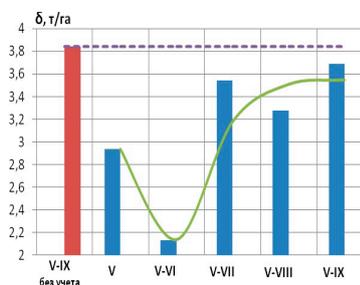
И. А. Романов

Экономическая оценка управления орошением с использованием метода водного баланса

I. A. Romanov

Economic evaluation of irrigation management using the water balance method

39



А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина, А. А. Левкевич,

А. В. Малышко, М. Н. Титова

Выбор показателя водного режима в математической модели урожайности сахарной свеклы

A. P. Likhatchevich, G. V. Latushkina, A. A. Levkevich,

A. V. Malyshko, M. N. Titova

Selection of the water regime indicator

in the mathematical model of sugar beet yield

45

Наши юбиляры

Our Jubilees

Тамара Григорьевна Свиридович (к 70-летию)

55

Чтобы помнили

To be remembered

Памяти Петра Константиновича Черника

56

Николай Кузьмич Сергиевский (к 120-летию)

57

Иван Васильевич Филиппович (к 100-летию)

58

Владимир Никифорович Титов (к 80-летию)

59

Александр Степанович Судас (к 75-летию)

60

К 150-ЛЕТНЕМУ ЮБИЛЕЮ НАЧАЛА ОСУШЕНИЯ БОЛОТ В БЕЛАРУСИ

В 2022 г. исполнилось 150 лет со времени начала формирования в России государственных органов по организации и выполнению работ, направленных на проведение осушения болот и заболоченных земель, занимавших обширные пространства в северо-западных регионах империи.

Начиналась реальная практическая мелиорация регионов с учреждения в 1872 г. Комиссии по исследованию положения сельского хозяйства в России под председательством статс-секретаря графа Петра Валуева. Комиссия пришла к заключению о необходимости проведения мелиоративных работ в северо-западных областях страны. В одном из документов, выработанных Комиссией, отмечалось, что осушка болот необходима в Петербургской, Псковской, Новгородской, Ярославской, Тверской, Минской и Волынской губерниях, так как там стоячие воды, занимая огромную территорию, губительно действуют на климат, леса, земледелие, препятствуют развитию скотоводства, такого необходимого подспорья сельского хозяйства в этих местах.

В соответствии с выводами Комиссии гр. Валуева Министерство государственных имуществ «с Высочайшего соизволения» учредило

в 1873 г. сначала Западную (первоначально – Полесскую), а затем и Северную экспедиции по осушению земель. Причем как Западная экспедиция под руководством И. И. Жилинского, так и Северная, возглавляемая вначале А. Гржегоржевским (1873–1875), затем последовательно К. Нотгафтом (1875–1895), И. Августиневичем (1880–1895) и Я. Колосовским, находились в ведении Лесного департамента. Районом действия Западной экспедиции по осушению болот было в первую очередь Полесье, то есть Минская и Волынская губернии, а также часть Гродненской. Затем на эту же экспедицию с 1876 г. были возложены обязанности по проведению работ в Московской, Тверской, Рязанской и Владимирской губерниях.

Западная экспедиция тщательно обследовала особенности климата, почв, рек, водоемов, болот и растительности. Исследования ученых В. Докучаева, А. Воейкова, Г. Танфильева и других заложили основу для дальнейшей разработки проблемы мелиорации, сельскохозяйственного освоения регионов Беларуси.

Представляемый вниманию читателей номер журнала посвящен этому знаменательному юбилею.

Главный редактор

150 ЛЕТ ЗАПАДНОЙ ЭКСПЕДИЦИИ ПО ОСУШЕНИЮ БОЛОТ

А. С. Анженков, кандидат технических наук
А. С. Мееровский, доктор сельскохозяйственных наук

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

Аннотация

В 2022 г. исполняется 150 лет организации Западной экспедиции по осушению болот, которую возглавлял генерал И. И. Жилинский. Это грандиозное даже для современности мероприятие растянулось на 30 лет (1872–1902 гг.) и коснулось более 8 млн га Полесского региона. Сегодняшнее мелиоративное преобразование Беларуси опирается на научные и практические работы коллектива талантливых и самоотверженных ученых и инженеров, заложивших на рубеже XIX–XX вв. основы мелиорации болот в Белорусском Полесье, а также в России и Украине.

Ключевые слова: Полесье, болота, мелиорация, осушение, экспедиция, научное обеспечение, юбилей.

Abstract

A. S. Anzhenkov, A. S. Meerovsky

150th ANNIVERSARY OF THE WESTERN EXPEDITION FOR THE DRYNAGE OF THE SWAMPS

In 2022 the 150th anniversary of the organization of the Western Expedition to drain the swamps, led by General I. I. Zhilinsky, is celebrated. This grandiose event, even for today, lasted for 30 years (1872–1902) and affected more than 8 million hectares of the Polesie region. Today's reclamation transformation of Belarus is based on the scientific and practical work of a team of talented and selfless scientists and engineers who laid the foundations for reclamation of swamps in the Belarusian Polesie, as well as in Russia and Ukraine at the turn of the 19th – 20th centuries.

Keywords: Polesie, swamps, land reclamation, drainage, expedition, scientific support, anniversary.

Введение

История мелиорации Беларуси насчитывает более 500 лет и уходит корнями в XVI в. Природно-климатические условия нашей страны издавна определили заболачивание и переувлажнение более 40 % ее территории и, как следствие, низкую пригодность земель не только для ведения сельского хозяйства, но и проживания людей, строительства инфраструктуры, развития промышленности. И если сегодня достаточно подробно изучены территориальное распространение болот и переувлажненных земель, а также особенности их генезиса и свойств [1–3], то до второй половины XIX в. Полесский регион был, по сути, *terra incognita*, то есть неизвестной землей, изображаемой на карте в виде сплошных белых пятен.

Ряд научных и исторических работ свидетельствует о нелегких, сложных периодах и событиях на пути мелиоративного преобразования Беларуси [4, 5]. Болота создавали экстремальные условия на обширных террито-

риях: переувлажнение почв, непригодных для ведения растениеводства и даже животноводства, распространение малярийных комаров, болотных газов, неустойчивые грунты, неподходящие для возведения строений более одного этажа в высоту, разрушение за один сезон грунтовых и железных дорог и многие другие.

Первым материальным свидетельством попыток регулирования водного режима заболоченных земель считается канал Боны длиной 34 км, который начинается в 2 км от дер. Заорье Малоритского р-на Брестской обл., проходит по Кобринскому району и впадает в р. Мухавец в Кобрине. Канал построен в 1550-х гг. по приказу королевы польской и великой княгини литовской Боны Сфорца.

Идеи осушения обширных болотистых пространств для приспособления их к земледельческой культуре занимали еще российского императора Александра I. По его повелению в 1810 г. было издано составленное Г. Энгельманом руководство к осушению болот [6]. Во вве-

дени к этому документу указано, что истинное богатство Российского государства заключается в «приращении земель для пищи и торговли». Несмотря на осознание важной проблемы осушения болот, в первой половине XIX в. осушительные работы производились непостоянно, на сравнительно незначительных площадях, преимущественно в границах предместий крупных городов, и в основном как санитарные или отчасти логистические мероприятия.

С целью поощрения землевладельцев к осушению болот Министерство государственных имуществ еще в 1857 г. издало «Наставление к осушке и возделыванию болот». К сожалению, данное издание мало повлияло на развитие осушительных работ, хотя его авторы представили весьма рациональные для того времени подходы к осушению и обстоятельно обосновали вред, причиняемый болотами сельскому хозяйству и социальной сфере.



Рис. 1. Сельское хозяйство Полесья до мелиоративного преобразования: пастбище на болотах, 1931 г.

Западная экспедиция по осушению болот

Во второй половине XIX в., в связи с ростом населения и развитием промышленности, требующей в том числе и сельскохозяйственное сырье, начали проявляться признаки серьезного отставания сельскохозяйственного производства от потребностей государства. Поэтому 26 мая 1872 г. Комитет министров утвердил Комиссию для исследования положения в сельском хозяйстве и сельской производительности в России под председательством министра государственных имуществ графа П. А. Валуева.

Проанализировав состояние сельского хозяйства, Комиссия выявила следующие недостатки в организации сельскохозяйственного производства: «...скотоводство не получает должного развития в основном вследствие уменьшения луговых пространств распашкою лугов...»; стоячие воды занимают огромные пространства в С.-Петербургской, Псковской,

Новгородской, Тверской, Ярославской, Минской и Волынской губерниях, «вредно действуют на климат, портят леса, затрудняют земледелие»; «...частная инициатива, при громадном протяжении болот, не может быть достаточною. Необходимы узаконения, регулирующие право отвода и спуска вод чрез чужие земли, а в виде поощрения – временное освобождение осушаемых пространств от платежа повинностей» [7].

На основании выводов Комиссии Министерство государственных имуществ организовало в 1873 г. Западную экспедицию для осушения болот, в которую вошли ведущие специалисты в области гидрологии, геодезии, минералогии, ботаники и других специальностей. Руководителем масштабного государственного мероприятия был назначен военный инженер, геодезист, генерал от инфантерии Иосиф Ипполитович Жилинский.



Рис. 2. Иосиф Ипполитович Жилинский, генерал от инфантерии, военный инженер, геодезист (1834–1916 гг.)

На экспедицию были возложены обязанности по доскональному обследованию и проведению осушительных работ в регионе Полесья. Названию «Полесье» (или Пинские болота) на тот момент соответствовали площади, приблизительно входящие в треугольник Брест-Литовск – Киев – Могилев-на-Днепре, то есть более 8 млн га [7]. Наибольшая часть этой территории находилась в Пинском, Мозырском, Речицком и Бобруйском, часть – в Слуцком и Игуменском уездах Минской губернии; в Полесье, расположенном в Гродненской губернии, входили Брестский, Кобринский, Пружанский и Слонимский уезды; в Волынской губернии – Ковельский, Владимир-Волынский, Луцкий, Ровенский, Новоград-Волынский и Овручский уезды; помимо названных, к Полесью также принадлежали части Могилевского, Рогачевского и Гомельского уездов Могилевской губернии и часть Радомысльского уезда Киевской губернии.

На основании изысканий, проведенных в вышеуказанном году, И. И. Жилинский разработал Генеральный план осушения Полесья, одобренный академиками А. Ф. Миддендорфом и К. С. Веселовским. Была сформулирована конечная цель работ – улучшить естественные луга и леса, создать водные пути в виде каналов для сплава леса.

Впрочем, изначально были сомнения в правильности теоретических подходов. В частности, детально ознакомившись с Гене-

ральным планом И. И. Жилинского, выдающийся русский почвовед В. В. Докучаев не во всем согласился с предложенной концепцией канализации Полесья. Он считал, что торфяные болота сами могут притягивать воду из атмосферы и создавать самостоятельные водные резервуары, тем самым питая водными ресурсами истоки таких рек, как Волга, Днепр, Западная Двина и др. Ученый подчеркивал, что реки сами, хотя и медленно, но стремятся к осушению болот [8].

Тем не менее экспедиция была утверждена, а высокий профессиональный научный уровень и умение работать с людьми позволили И. И. Жилинскому сформировать коллектив специалистов в составе К. И. Малаховского, И. К. Милицера, Е. В. Оппокова, А. М. Гатовского, П. С. Петровского, И. К. Радзиковского, И. К. Сикорского, Ф. Н. Ширяева. Пожалуй, впервые в практике подобных работ принимали активное участие ведущие ученые разных научных направлений: К. С. Веселовский, А. И. Воейков, Е. А. Гейнц, М. О. Гедеман, В. В. Докучаев, В. П. Лукашевич, А. Ф. Миддендорф, Р. П. Спарро, Г. И. Танфильев, Э. И. Эйхвальд.

Этот крупный проект по осушению земель не имел аналогов в мире. Впоследствии он был высоко оценен как в России, так и за рубежом, в 1878 г. удостоен золотой медали на Всемирной выставке в Париже.

Основными направлениями исследований экспедиции стали: картографирование и геодезические изыскания, почвенные и геологические обследования, каталогизация флоры, систематические климатические наблюдения, гидрология территории, включая уровенный режим рек Припять и Днепр. Важнейшей частью работ стали научное обоснование, проектирование и осушение болот, в последующем – сельскохозяйственное использование осушенных земель [7].

Научные изыскания продолжались на протяжении 30 (!) лет. Экспедиция провела такую невероятную по тем временам работу, как нивелировка (определение высот) большей части Полесья. Были заложены тысячи реперов, установлены уровни разлива рек, измерены глубины болот и охарактеризовано почвенно-геологическое строение до 25 м в глубину; определены колебания уровней рек и прито-

ков; каталогизированы и собраны растительные образцы и др.

Об уровне трудности и опасности проводимой работы писал сам И. И. Жилинский: «Говоря о производившихся в Полесье изысканиях, нельзя умолчать о тех громадных затруднениях, какие приходилось преодолевать при этом. Проводя иногда целые недели вне

Результаты экспедиции

Серьезнейшим достижением специалистов в области геодезии, гидрологии и картографии был вывод о том, что в общем виде Полесье представляет собой обширную равнину с понижением к р. Припять, и это определяет гидрологию региона.

Общая площадь земель, непосредственно входивших в сферу деятельности экспедиции, составляла более 3,2 млн га. Специалисты и рабочие провели полное или частичное осушение 50 казенных дач, проложили около 5 000 км каналов осушительного и лесотранспортного значения, расчистили 134 км речных русел, построили 549 мостов, 17 полушлюзов для задержания воды во время засух. Отвод поверхностных вод, позволивший обеспечить улучшение условий для роста леса, был произведен на площади 500 тыс. га. Общая стоимость работ Западной экспедиции составила около 5 млн рублей.

Помимо осушения болот, специалисты экспедиции выполнили большой объем изыскательских работ, положивших начало комплексному изучению природных условий Полесья. На необходимость такого исследования с целью научно обосновать мелиорацию переувлажненных земель указал В. В. Докучаев. Участие в подобных мероприятиях ведущих российских ученых способствовало формулированию аргументированных положений о влиянии осушения на климат, речные системы, растительность лесов, общее состояние ландшафтов.

Европейская научная общественность внимательно следила за деятельностью Западной экспедиции и высоко оценила ее результаты. В мировой печали появилось большое число публикаций, положительно оценивавших проведенные в Полесье мелиоративные работы.

Деятельность Западной экспедиции имела огромное значение для развития мелиорации

человеческого жилья, среди вредных болотных испарений, некоторые инженеры до того расстроили здоровье, что должны были оставить службу в Экспедиции, другие же рисковали даже жизнью и только счастливою случайностью были избавлены от опасности утонуть в жидком болоте» [7].

земель в Беларуси, Украине и России. Это был первый крупный проект освоения значительных болотных пространств и переувлажненных земель. Современное мелиоративное преобразование нашей страны во многом определила именно Западная экспедиция, обосновавшая необходимость и возможность мелиоративного преобразования региона.

В Белорусском Полесье были опробованы такие способы осушения, как сеть каналов, гончарный, фашинный, каменный дренажи, строительство осушительно-увлажнительных систем и др.

Благодаря усилиям участников экспедиции в России появились первые нормативные документы по осушению и освоению болот, были сделаны первые шаги по созданию отечественной гидромелиоративной инженерной школы. Мелиорация земель формировалась как отрасль сельскохозяйственного производства, что отразилось и на совершенствовании управления ею. В 1894 г. в структуре Министерства земледелия и государственной собственности был создан отдел земельных улучшений, который до 1909 г. возглавлял И. И. Жилинский.

Анализируя материалы Западной экспедиции, убеждаешься в обоснованной осторожности и осмотрительности ее специалистов. Опасаясь непредсказуемого эффекта от проводимых работ и не имея достаточной теоретической базы и практики, они не решились сразу перейти к интенсивному осушению болот: оно осуществлялось на небольших экспериментальных участках, где исследовались различные способы освоения осушенных почв. Знать меру риска и его последствия – таково неукоснительное правило профессионалов.

Что дала Беларуси мелиорация земель? Полесскому региону она подарила новую жизнь, стала мощным катализатором развития про-

изводительных сил и ресурсов, дорожного и социального строительства: в оборот включилось 1,8 млн га осушенных земель. В периоды интенсивного мелиоративного строительства в Полесье наблюдался устойчивый рост населения.

Сельское хозяйство многих полесских районов, по существу, стало мелиоративным, нацеленным на преимущественное развитие экспортно ориентированного животноводства. Мелиорация в Поозерье развивалась по другому сценарию: здесь осушались преимущественно переувлажненные пахотные земли, которые в сочетании с приемами окультуривания могли обеспечить существенный рост и устойчивость продуктивности по годам. Продуктивность осушенных земель неизменно превышала общую; на пахотных землях она достигла уровня 3,5 т/га к. ед., а в 30 % хозяйств – 5 т/га к. ед.

В научном обеспечении ведения сельского хозяйства на осушенных землях исторически приоритетное внимание приобрели торфяные почвы. В СССР Беларусь занимала ведущее положение по многим вопросам их использования. В республике сложились научные школы, исследовавшие разные аспекты земледелия и луговодства на осушенных, преимущественно торфяных почвах, и результаты этого исследовательского опыта применялись в России, Украине, прибалтийских республиках.

Была сформирована законодательная база земледелия на осушенных землях. По проблеме сохранения торфяных почв Беларусь была первой советской республикой, регламенти-

ровавшей в 1970 г. их сельскохозяйственное использование. С активным участием Института мелиорации разработаны и приняты Законы «О мелиорации земель» (2008), «Об охране и использовании торфяников» (2019).

Со времени организации Западной экспедиции по осушению болот прошло 150 лет. За это время мелиорация земель в Беларуси прошла большой путь. В 2022 г. в составе сельскохозяйственных земель республики используется более 2,84 млн га осушенных, то есть 35 % от всех сельскохозяйственных земель.

В разрезе областей удельный вес осушенных сельскохозяйственных земель в Беларуси составляет: Брестская область – 50,8, Витебская – 37,5, Гомельская – 39,0, Гродненская – 24,3, Минская – 33,9, Могилевская – 21,0 %. Все без исключения районы имеют осушенные сельхозугодья (от 8 % в Шкловском до 74 % в Ганцевичском). В 23 районах мелиорированные земли занимают более 50 % сельхозплощадей и обеспечивают производство основной доли продукции растениеводства.

Агробиологический потенциал мелиорированных почв в высокой степени изучен для торфяных почв и составляет не менее 8–10 т/га кормовых единиц. Потенциальные возможности осушенных почв Белорусского Поозерья: 6–8 т/га кормовых единиц, осушенных почв легкого гранулометрического состава – 5–6 т/га к. ед.

Сегодня мелиорированные земли обеспечивают не только получение трети продукции растениеводства, но и более 60 % всех зеленых кормов – базис мясомолочного экспорта.



Рис. 3. Луг в Беларуси (иллюстративное изображение)

Заключение

Западная экспедиция по осушению болот под руководством Иосифа Ипполитовича Жилинского – это даже по современным меркам масштабное научно-практическое мероприятие, позволившее определить причины переувлажнения земель, выработать подходы к регулированию водного режима водно-болотных угодий Полесского региона, установить последствия осушения и возможности эффективного использования осушенных земель.

Экспедиция Жилинского дала старт мелиоративному преобразованию как Полесского региона, так и всей Беларуси в целом. И сегодня мы наблюдаем высокую продуктивность

почти трех миллионов осушенных сельскохозяйственных земель как весомый экономический и социальный результат.

На основании многолетнего опыта эксплуатации осушенных почв в Беларуси можно с уверенностью утверждать, что их агробиологический потенциал остается высоким, дающим основание для сохранения и развития мелиоративных систем, совершенствования их технического состояния и возможностей регулирования водного режима. Это особенно важно в условиях изменения климата, признаков его аридизации.

Библиографический список

1. Почвы Белорусской ССР / Белорус. науч.-исслед. ин-т почвоведения и агрохимии ; ред.: Т. Н. Кулаковская, П. П. Роговой, Н. И. Смян. – Минск : Ураджай, 1974. – 328 с.
2. Почвы Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.] ; под ред. В. В. Лапа. – Минск : ИВЦ Минфина, 2019. – 632 с.
3. Мелиорация : энцикл. справочник / под общ. ред. А. И. Мурашко. – Минск : Белорус. сов. энцикл., 1984. – 567 с.
4. Сучков, К. П. Мелиорация земель Беларуси : очерки истории : в 2 ч. / К. П. Сучков, П. У. Равовой, Л. К. Стычинский // М-во с. х. и продовольствия Респ. Беларусь, Глав. управ. образования, науки и кадров, УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия». – Горки : БГСХА, 2010. – Ч. 2. – 206 с.
5. Аношко, В. С. История и методология почвоведения / В. С. Аношко. – Минск : Выш. школа, 2013. – 269 с.
6. Энгельман, Г. Теоретическое и практическое руководство к осушению угодьев, или показание причин, рождающих в почве чрезмерную мокроту и производящих зыби, болота и топи / Г. Энгельман. – С.-Петербург, 1810. – 291 с.
7. Жилинский, И. И. Очерк работ Западной экспедиции по осушению болот (1873–1898) / И. И. Жилинский // М-во земледелия и гос. имущества ; сост. И. И. Жилинский [и др.]. – С.-Петербург, 1899. – 744 с.
8. Докучаев, В. В. По вопросу об осушении болот вообще и в частности об осушении болот Полесья / В. В. Докучаев // Избр. тр. : в 3 т. ; под ред. Б. Б. Плынова. – Москва : АН СССР, 1949. – Т. 1. – С. 27–65.

Поступила 12 декабря 2022 г.

МЕЛИОРАЦИЯ

УДК 626.86

РАСЧЕТ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НАСАДКИ УСТРОЙСТВА ПРОМЫВКИ ДРЕНАЖА

А. С. Анженков, кандидат технических наук

В. А. Болбышко, кандидат технических наук

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

Аннотация

Выполнен расчет гидравлических параметров насадки устройства промывки дренажа. Определены расход, скорость и сила струй насадки в зависимости от диаметра и количества ее отверстий при заданных характеристиках устройства. Выявлены гидравлические параметры струй по силе их воздействия на заиливание в дренаже.

Ключевые слова: устройства промывки дренажа, насадка, гидравлические параметры, расход, сила струи.

Abstract

A. S. Anzhenkov, V. A. Bolbyshko

CALCULATION OF THE HYDRAULIC PARAMETERS OF THE NOZZLE OF THE DRAINAGE FLUSHING DEVICE

The calculation of the hydraulic parameters of the nozzle of the drainage flushing device was carried out. The flow rate, speed and strength of nozzle jets are determined depending on the diameter and number of its holes for given characteristics of the device. Optimal hydraulic parameters of the jets were determined according to the force of impact on silting in the drainage.

Keywords: drainage flushing devices, nozzle, hydraulic parameters, flow rate, jet force.

Введение

При очистке дренажных трубопроводов от заиливания наибольшее применение получил механизированный гидродинамический способ, который заключается в размыве отложений и их транспортировке из трубопровода посредством воздействия высокоскоростных струй воды, исходящих из промывочной насадки [1].

Насадка должна обеспечивать очистку внутренней поверхности дренажного трубопровода, а также транспортирование и удаление пульпы, образовавшейся в дренажном трубопроводе. В исследованиях, ранее проводившихся в РУП «Институт мелиорации», были проанализированы конструктивные

схемы насадок, применяющихся в мелиорации и коммунальном хозяйстве [2].

На процесс размыва отложений и их транспортировку влияет ряд факторов: физико-механические свойства отложений (состав, плотность, влажность), толщина слоя отложений, конструктивные параметры промывочной насадки, скорость размывающих струй воды и перемещения насадки. Выбор рациональной конструкции промывочной насадки и режим ее движения имеют определяющее значение для обеспечения снижения времени промывки и объема промывочной воды, что, соответственно, уменьшит себестоимость работ по очистке дренажных трубопроводов от заиливания.

Результаты исследований и их обсуждение

В настоящее время для очистки коллекторной дренажной сети используется устройство промывки дренажа УПД-120, которое снабжено мембранным насосом М 135 S с макси-

мальным давлением 5,0 МПа и подачей воды 120 л/мин. В устройстве применяется промывочная насадка, чертеж и параметры которой приведены на рис. 1.

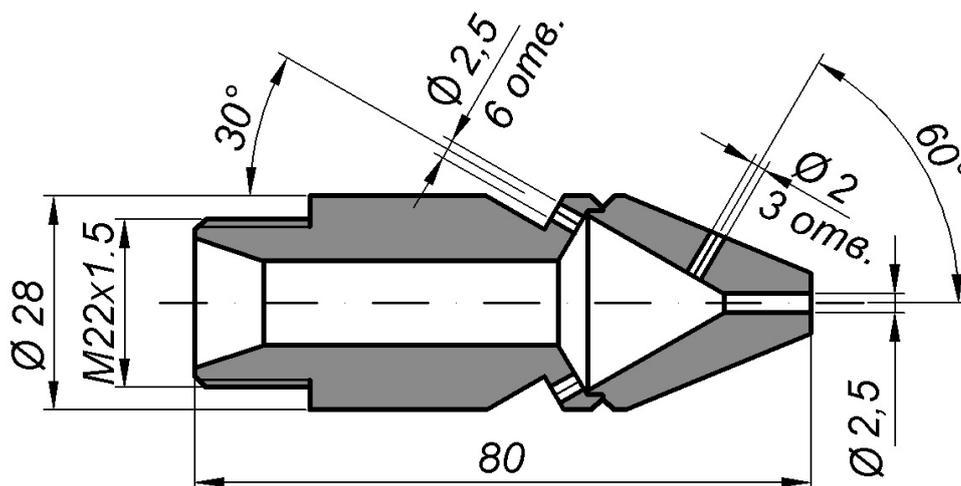


Рис. 1. Конструкция промывочной насадки, применяемой в устройстве промывки дренажа УПД-120

При гидродинамическом способе очистки основной объем размытых отложений выносятся из коллектора при извлечении промывочного рукава с насадкой. Однако часть отложений остается в коллекторе после прохода промывочной насадки. Это снижает эффективность очистки и требует большого количества проходов. В связи с этим весьма актуален вопрос о повышении воздействия на поток пульпы с целью ее более полного выноса из полости коллектора. В предыдущих исследованиях предложена методика расчета параметров устройства промывки дренажа гидродинамическим способом [3].

В общем виде схема водопроводящей системы устройства промывки дренажа приведена на рис. 2.

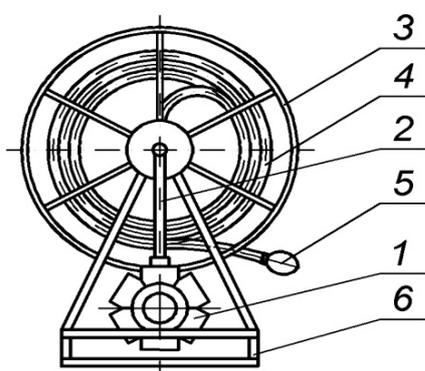


Рис. 2. Схема устройства промывки дренажа: 1 – насос; 2 – трубопровод; 3 – барабан; 4 – промывочный рукав; 5 – промывочная насадка; 6 – рама

Водопроводящая система включает в себя: насос 1, трубопровод 2, подводящий воду от на-

соса к барабану 3 с промывочным рукавом 4, на котором закреплена промывочная насадка 5.

Потери напора в водопроводящих элементах будут складываться из следующих потерь:

- на поворот потока ΔP_n на пути от насоса до барабана с промывочным рукавом;
- плавный поворот потока в свернутом на барабане промывочном рукаве ΔP_{np} ;
- по длине промывочного рукава $\Delta P_{пр}$.

Кроме того, потери напора будут возникать в промывочной насадке, и они будут складываться из потерь на расширение потока в самой насадке ΔP_p , поворота потока под острым углом ΔP_b . При этом суммарные потери в водопроводящих элементах устройства промывки дренажа и скоростной напор струй, истекающих из насадки, должны быть равны напору, создаваемому насосом.

Таким образом, должно соблюдаться равенство:

$$P_n = \Delta P_n + \Delta P_{np} + \Delta P_{пр} + \Delta P_p + \Delta P_b + \Delta P_c, \quad (1)$$

где P_n – напор, создаваемый насосом;

ΔP_c – скоростной напор струй насадки.

При подводе воды от насоса к оси барабана и от нее к промывочному рукаву поток дважды совершает поворот под прямым углом.

Потери напора на поворот потока можно определить по общепринятым в гидравлике формулам [4]:

$$\Delta P_n = \zeta_n \frac{V^2}{2g}, \quad (2)$$

где V – скорость потока воды, м/с;

ζ_n – коэффициент сопротивления для поворота трубы на 90° ,

g – ускорение свободного падения, м/с².

Скорость потока воды определяется по известному расходу Q и площади поперечного сечения трубопровода S_T :

$$V = \frac{Q}{S_T}, \quad (3)$$

где Q – расход, м³/с;

S_T – площадь поперечного сечения, м².

Потери на плавный поворот на 180° в промывочном рукаве, свернутом на барабане, составляют:

$$\Delta P_{\text{пн}(180^\circ)} = \zeta_{\text{пн}} \frac{V^2}{2g}, \quad (4)$$

где $\zeta_{\text{пн}}$ – коэффициент сопротивления для плавного поворота трубопровода определяется по формуле [5]:

$$\zeta_{\text{пн}} = \alpha \left[0,2 + 0,001(100\lambda)^8 \right] \sqrt{d/R}, \quad (5)$$

где α – параметр, зависящий от угла поворота, при угле поворота 180° ,

λ – коэффициент гидравлического трения;

d – диаметр промывочного рукава, мм;

R – радиус изгиба промывочного рукава, свернутого на барабане, мм.

Коэффициент гидравлического трения λ зависит от числа Рейнольдса и в зависимости от его значения рассчитывается по разным формулам. Число Рейнольдса для круглых трубопроводов определяют по формуле:

$$Re = \frac{Vd}{\nu}, \quad (6)$$

где V – скорость потока жидкости, м/с;

d – диаметр трубопровода, мм;

ν – кинематический коэффициент вязкости, м²/с.

При расходах $1,5 \div 2,5$ л/с и диаметре трубопровода $15\text{--}25$ мм число Рейнольдса будет изменяться в пределах $40\ 000 \div 210\ 100$. Для таких чисел Рейнольдса коэффициент гидравлического трения рассчитывается по формуле [4]:

$$\lambda = \frac{1}{(1,82 \lg Re_d - 1,64)^2}. \quad (7)$$

Максимальные потери напора будут возникать на начальном этапе промывки, когда промывочный рукав практически полностью свернут на барабане. Для расчета примем этот наиболее неблагоприятный вариант.

Количество витков на барабане можно определить по зависимости:

$$n = \frac{L}{2\pi R}, \quad (8)$$

где L – длина промывочного рукава, м.

Суммарные потери давления на плавный поворот промывочного рукава на барабане устройства составят:

$$\Delta P_{\text{пн}} = \zeta_{\text{пн}} \frac{V^2}{2g} \cdot 2n. \quad (9)$$

Потери напора по длине промывочного рукава определяются по формуле А. Дарси – Ф. Вейсбаха:

$$\Delta P_{\text{пр}} = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}. \quad (10)$$

Потери на расширение потока в самой насадке составят:

$$\Delta P_p = \zeta_p \frac{V^2}{2g}, \quad (11)$$

где ζ_p – коэффициент сопротивления расширению, вычисляющийся по формуле:

$$\zeta_p = K_p \left(\frac{w_2}{w_1} - 1 \right)^2, \quad (12)$$

где K_p – коэффициент смягчения при постепенном расширении;

w_1 и w_2 – площади сечений потока до и после расширения.

Потери на поворот потока внутри промывочной насадки ориентировочно можно рассчитать по формуле:

$$\Delta P_v = \zeta_n \frac{V^2}{2g}, \quad (13)$$

где ζ_n – коэффициент сопротивления на поворот.

Скоростной напор струй насадки определяется как

$$\Delta P_c = \eta \frac{V_c^2}{2g}, \quad (14)$$

где η – коэффициент неравномерности;

V_c – скорость струй насадки, м/с.

Скорость струй насадки рассчитывается по формуле:

$$V_c = \frac{4Q}{\pi d_n^2 n}, \quad (15)$$

где d_n – диаметр отверстий насадки, м;

n – количество отверстий насадки.

Анализ приведенных зависимостей позволяет сделать вывод, что при определенных

параметрах устройства промывки дренажа (таких, как расход и давление насоса, длина и диаметр промывочного рукава) существенное влияние на характеристики струй, истекающих из промывочной насадки, оказывают диаметр и количество отверстий насадки.

На основании данной методики произведен расчет параметров струй в зависимости от диаметра отверстий насадки для установки промывки дренажа УПД-120. Длина промывочного рукава этой установки составляет 300 м, ее внутренний диаметр 16 мм. Однако в процессе эксплуатации рукав часто повреждается, и в процессе ремонта его длина сокращается, поэтому для расчетов принята длина промывочного рукава 200 и 300 метров. Внутренний диаметр промывочного рукава по предварительной оценке недостаточен для эффективной работы устройства из-за больших потерь давления по длине, поэтому расчеты выполнялись для внутренних диаметров рукава 16 и 20 мм. Количество отверстий насадки принято равным 7, то есть одно переднее и шесть тыльных. Определялись расход воды, истекающий из насадки, а также ско-

рость и сила струи. Результаты расчетов представлены в таблице и на рис. 3–5.

Анализируя полученные данные, можно видеть, что расход струй насадки быстро возрастает при увеличении диаметра отверстий до 3–4 мм; при дальнейшем увеличении диаметра отверстий до 7 мм расход практически не увеличивается. Сила струи растет при увеличении диаметра отверстий до 1,5–2,2 мм, затем происходит ее значительное снижение. Скорость струи уменьшается при увеличении диаметра отверстий, при этом ее более интенсивное снижение происходит при увеличении диаметра отверстий до 3–4 мм.

Из полученных данных можно сделать вывод, что оптимальным значением диаметра отверстий насадки для данных условий будет диаметр $d = 2-3$ мм. При меньшем диаметре существенно снизятся расход и сила струи. При большем диаметре расход заметно не вырастет, а сила и скорость струи значительно сократятся. Использование промывочного рукава с внутренним диаметром $d = 16$ мм существенно уменьшает расход и силу струи. Это обусловлено большими потерями давления по длине.

Таблица. Расход, скорость и сила струи насадки в зависимости от диаметра ее отверстий

Рукав	Показатели	Диаметр отверстий насадки d_n , мм								
		1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7
Длина $L = 300$ м; диаметр $d = 20$ мм	расход Q , л/с	0,42	0,83	1,20	1,43	1,55	1,65	1,68	1,70	1,70
	скорость V , м/с	75,7	67,2	54,3	41,5	31,3	18,8	12,3	8,6	6,3
	сила F , Н	4,5	8,0	9,3	8,5	6,9	4,4	3,0	2,1	1,5
Длина $L = 200$ м; диаметр $d = 20$ мм	расход Q , л/с	0,43	0,88	1,33	1,67	1,87	2,05	2,11	2,13	2,14
	скорость V , м/с	77	71,1	60,6	48,6	37,8	23,3	15,4	10,8	7,9
	сила F , Н	4,7	8,9	11,5	11,6	10,1	6,8	4,6	3,3	2,4
Длина $L = 300$ м; диаметр $d = 16$ мм	расход Q , л/с	0,38	0,66	0,81	0,88	0,91	0,93	0,93	0,93	0,93
	скорость V , м/с	69,7	53,4	36,8	25,6	18,3	10,5	6,8	4,7	3,5
	сила F , Н	3,8	5	4,3	3,2	2,4	1,4	0,9	0,6	0,5
Длина $L = 200$ м; диаметр $d = 16$ мм	расход Q , л/с	0,4	0,74	0,97	1,08	1,13	1,17	1,18	1,19	1,19
	скорость V , м/с	73	59,8	44,1	31,4	22,8	13,3	8,6	6	4,4
	сила F , Н	4,2	6,3	6,1	4,9	3,7	2,2	1,5	1	0,7

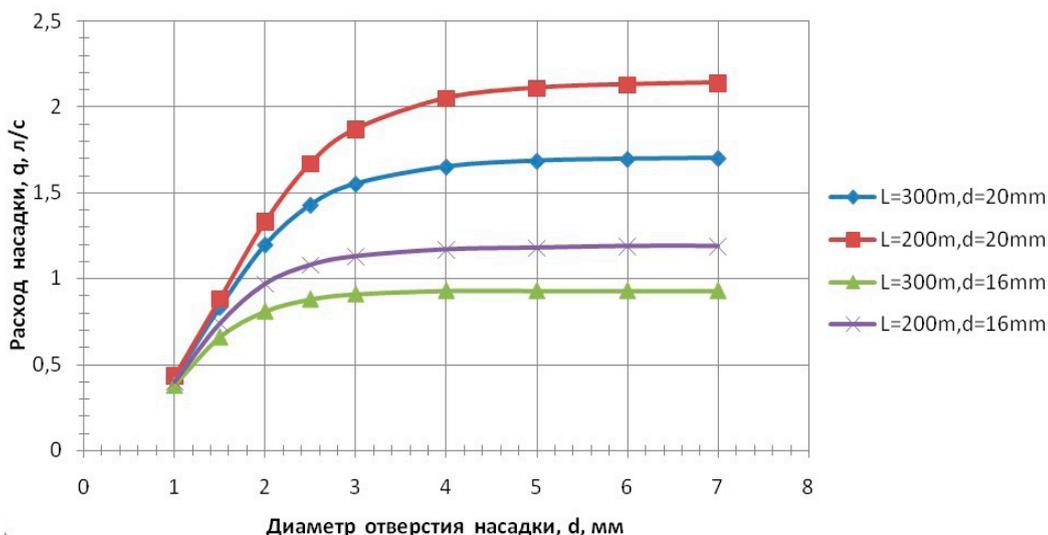


Рис. 3. Расход струй насадки в зависимости от диаметра ее отверстий

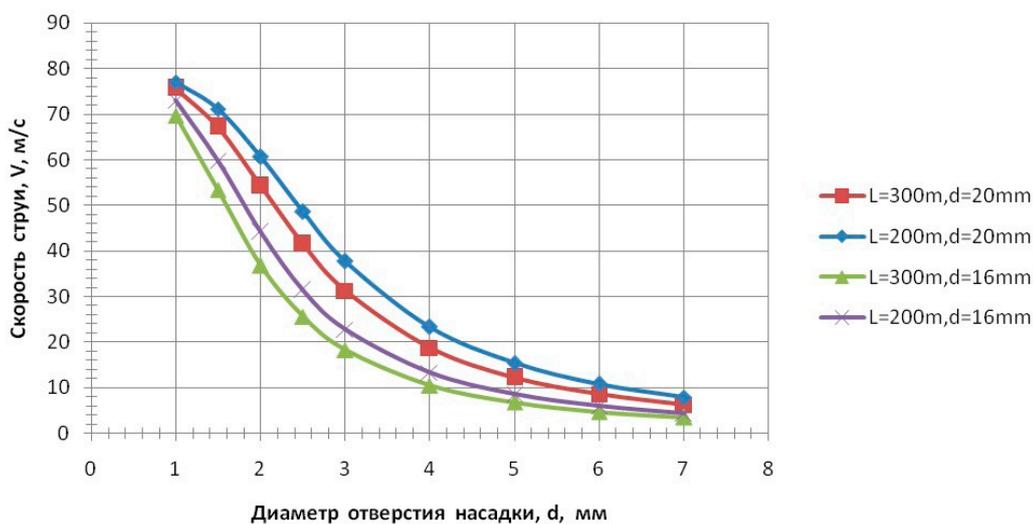


Рис. 4. Скорость струи насадки в зависимости от диаметра ее отверстий

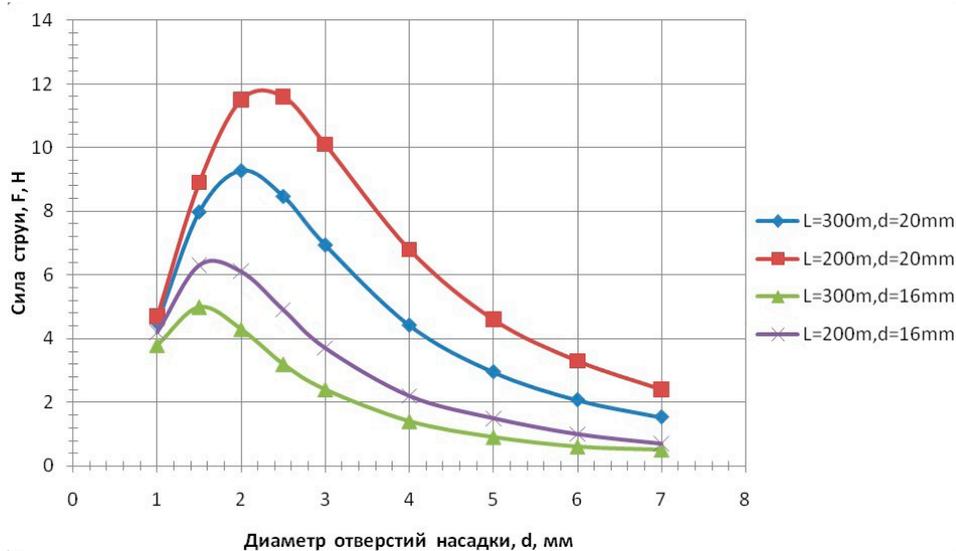


Рис. 5. Сила струи насадки в зависимости от диаметра ее отверстий

Выводы

1. В зависимости от диаметра и количества отверстий в промывной насадке и применительно к параметрам серийного устройства промывки дренажа УПД-120 расход имеет тенденцию затухающего роста, а скорость струи – затухающего снижения.

2. Сила струи насадки зависит от диаметра ее отверстий и имеет график с выраженным максимальным экстремумом.

3. Оптимальным значением диаметра отверстий насадки для исследованных условий является диаметр $d = 2-3$ мм при 7 отверстиях. Диаметр промывочного рукава при этом должен быть не меньше 20 мм.

Библиографический список

1. Техническая эксплуатация закрытой мелиоративной сети / Н. Н. Погодин [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2022. – 154 с.

2. Погодин, Н. Н. Анализ способов и средств механизации очистки закрытой дренажной сети от заиления / Н. Н. Погодин, А. С. Анженков, В. А. Болбышко // Мелиорация. – 2019. – № 2 (88). – С. 5–11.

3. Погодин, Н. Н. Расчет параметров технологического оборудования, используемого при гидродинамическом способе очистки дренажа / Н. Н. Погодин, А. С. Анженков, В. А. Болбышко // Мелиорация. – 2020. – № 2 (92). – С. 5–11.

4. Чугаев, Р. Р. Гидравлика (техническая механика жидкости) : учеб. для вузов / Р. Р. Чугаев. – 2-е изд., доп. и испр. – Л. : Энергия, 1971. – 551 с.

5. Примеры расчетов по гидравлике : учеб. пособие для вузов / А. Д. Альтшуль [и др.] ; под ред. А. Д. Альтшуля. – Москва : Стройиздат, 1977. – 255 с.

Поступила 27 октября 2022 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ И РАБОТЫ СИФОННЫХ ВОДОСБОРОВ НА СИСТЕМАХ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

А. И. Митрахович¹, кандидат технических наук

А. П. Майорчик², кандидат технических наук

¹РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

Аннотация

Описаны результаты изучения режимов работы сифонных водосборов на осушительно-оросительной системе вертикального дренажа в регионе Полесья в целях определения условий устойчивости их работы. Приведены параметры исследуемого водосбора и факторы, влияющие на его стабильную работу, особенно количество воздуха, поступающего в трубопровод. Установлены минимально допустимые скорости движения воды в сифоне, обеспечивающие его надежную работу без удаления воздуха. Определены зоны влияния сифонного водосбора на положение уровня грунтовых вод и контуры осушенной площади при работе линейно расположенных скважин. Сделаны выводы о возможности применения в современных условиях сифонных водосборов в качестве конструктивных элементов вертикального дренажа в определенных гидрогеологических условиях.

Ключевые слова: сифонный водосбор, вертикальный дренаж, скважина, вакуум, динамический уровень, уровень грунтовых вод.

Abstract

A. I. Mitrakhovich, A. P. Maiorchik

THE STUDY OF WORK OF SIPHON CATCHMENTS AND ITS CONSTRUCTIONS ON VERTICAL DRAINAGE SYSTEMS

The results of studying the operating modes of siphon catchments on the drainage and irrigation system of vertical drainage in the Polesie region in order to determine the conditions for the stability of their operation have been described. The parameters of the studied siphon catchments and the factors affecting its stable and stable operation, especially the amount of air entering the pipeline, are given. Minimum allowable water velocity in siphon is set to ensure its stable operation without air removal. The zones of influence of the siphon catchments on the position of the groundwater level and the contours of the drained area during the operation of linearly located wells were determined. Conclusions were made about the possibility of using siphon catchments in modern conditions as structural elements of vertical drainage in certain hydrogeological conditions.

Keywords: siphon catchment, vertical drainage, well, vacuum, dynamic level, groundwater level.

Введение

Эффективность сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях во многом зависит от складывающегося в вегетационный период водного режима почв, особенно в экстремальных погодных условиях [1]. В такие периоды многие осушительно-увлажнительные системы практически не способны поддерживать требуемый водный режим путем обратного регулирования, поскольку в засушливые периоды в мелиоративных каналах не хватает воды для поддержания необходимого уровня грунтовых вод на сельхозугодьях.

Результаты исследований и их обсуждение

Орошение в условиях Полесья может базироваться на использовании подземных вод из скважин вертикального дренажа. Действенность этого способа за время его эксплуатации

Подтверждением этому служит мелиоративная обстановка на объекте «Полесская опытная станция» в летний период 2022 г., когда большинство мелиоративных каналов оказались сухими, а уровни грунтовых вод находились на глубине 160–185 см. Река Бобрик, являющаяся водоприемником мелиоративной системы, в указанном году практически пересохла.

Одно из эффективных мероприятий по снижению негативного влияния засушливых периодов – орошение сельхозугодий на локальных участках.

в 1970–80 гг. в условиях Полесья установлена на опытно-производственных участках в центральном и юго-западном регионах Белорусского Полесья [2].

На основе вертикального дренажа можно проектировать эффективные осушительно-оросительные системы, при разработке которых предпочтительно исходить из упрощения их конструкций, снижения строительных и эксплуатационных затрат. Одним из возможных вариантов, соответствующих данным требованиям, является использование на вертикальном дренаже сифонных водосборов, которые широко применяются в гидротехнических сооружениях, водоснабжении и городском строительстве.

Термин «сифонный водосбор» издавна устоялся в научной литературе [2–4]. В состав данного устройства входят: вертикальная всасывающая труба, обеспечивающая забор воды из скважины; сифонный трубопровод (средняя ветвь); нисходящая вертикальная ветвь, которая входит в приемную дренажную скважину; зарядное устройство (вакуум-насос, эжектор и т. п.). В приемной скважине устанавливается погружной насос. Функционирование сифонного водосбора заключается в создании и поддержании определенной разности динамических уровней воды в скважинах, которая достигается в результате работы погружного насоса в дренажной скважине. Для приведения сифона в действие необходимо предварительно заполнить трубопровод водой либо путем отсасывания воздуха, либо заливкой сифона водой.

Особенно эффективным может быть использование сифонных водосборов при осушении городских территорий, где применение горизонтального дренажа или открытой сети весьма затруднительно из-за плотности застройки и подземных коммуникаций.

Условия устойчивого функционирования сифонов определялись в ходе многочисленных лабораторных и полевых исследований выше-названного периода. Режимы работы длительно действующих сифонов изучались в процессе эксплуатации системы вертикального дренажа Полесской опытно-мелиоративной станции. Сифонный водосбор представлял собой трубопровод переменного сечения с диаметром средней ветви 300 мм длиной 470 м, соединяющий три дренажные скважины.

Зарядка сифона проводилась эжектирующим устройством, разработанным в Белорусском НИИ мелиорации и водного хозяйства. Оно включало в себя два патрубка, которые соединялись гибким шлангом или трубой.

Один патрубок имел вентиль и устанавливался на водоподъемном трубопроводе погружного насоса перед задвижкой, второй – в самом колене трубопровода.

При работе погружного насоса часть воды поступала в патрубки и нисходящую ветвь сифона, где в результате повышенной скорости потока образовывался вакуум, за счет которого вода из приемной скважины поступала в сифонный трубопровод. Время зарядки сифона составляло 10–13 минут. Объем воздуха, удаляемого из сифона, рассчитывался из его содержания в 100 л воды (в среднем 2,5 л).

Опыты проводились весной, когда система функционировала в режиме осушения. Во время работы сифонного трубопровода измерялись: вакуум в нем, динамический уровень воды в дренажных скважинах № 1–3, их дебит. На сифоне устанавливался самописец вакуума, непрерывно контролировавший его величину записью данных на бумажную ленту.

Наблюдения за работой сифона в течение 7 суток показали, что в первые 24 часа величина вакуума в нем постепенно увеличивалась. В дальнейшем она стабилизировалась и в течение 6 суток колебалась в незначительных пределах (7,5–8,0 м водяного столба). Характер изменения вакуума во времени и его величина, расшифрованные с самописца, представлены на рис. 1, где приведена также величина понижения уровня воды в заборных скважинах № 2 и 3, которая на протяжении всей откачки оставалась практически постоянной и равнялась 5 м. Расход сифона при этом составлял 94–97 м³/ч. За 7 суток работы сифона никаких отрицательных явлений не наблюдалось, дополнительного отсасывания воздуха не требовалось. Воздух и газ, поступавшие в сифон, сбрасывались вместе с откачиваемой водой в приемную скважину. При устойчивой работе сифона фиксировалось меньшее поступление воздуха и газа в сифонный трубопровод и более интенсивный их сброс [5].

В некоторых случаях воздух из работавших сифонов отсасывался непрерывно, хотя, согласно теоретическим расчетам, при существовавших в них вакуумах его должно быть во много раз меньше. Это указывает на то, что в сифон через неплотности стыковых соединений поступает атмосферный воздух (до 25–50 % от объема выделяющегося воздуха) и его следует учитывать при расчетах [6].

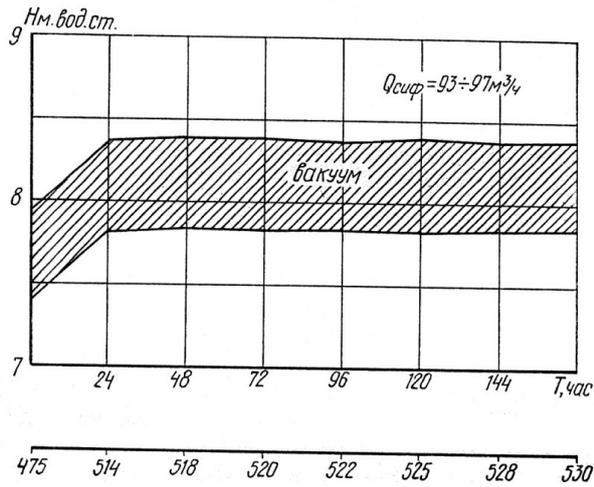


Рис. 1. Режим работы сифона

В целях уточнения влияния воздуха на режим работы сифона проводились лабораторные опыты на установке сифона длиной 30 м и диаметром 55 мм. Сифон имел водяной затвор (конец нисходящей ветви был погружен в воду) и вертикальные (нисходящая и восходящая) ветви.

Количество воздуха, поступавшего в сифон из атмосферы, определялось газовым счетчиком типа ГСБ-400, который предназначен для точных измерений малого количества газа. Счетчик присоединялся к сифону резиновой трубкой, на которой устанавливался зажим, с помощью которого регулировалось количество воздуха, подаваемого в сифон. Эксперименты проводились с постепенным увеличением объема воздуха, поступавшего в сифон, – от минимального до максимального, при котором сифон разряжался.

Были проведены две серии опытов: первая прошла при подключении счетчика на расстоянии 2 м от всасывающего колена; вторая – с пуском воздуха непосредственно в нисходящую ветвь. Опыты велись без отсасывания воздуха. Установлено, что при увеличении количества воздуха, пропускаемого в сифон, расход воды в нем и скорость ее движения уменьшаются.

График зависимости расхода воды от количества воздуха, поданного в сифон, при подключении счетчика в его разных местах представлен на рис. 2.

Опытами установлено, что при атмосферном давлении максимально допустимое количество воздуха составило 16,8 % от расхода воды для впуска воздуха в нисходящую ветвь

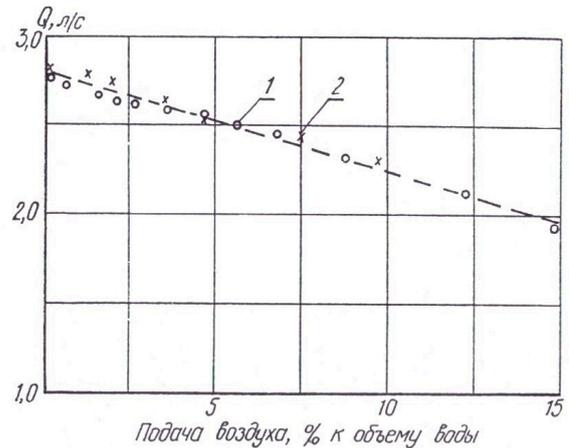


Рис. 2. Влияние воздуха на производительность сифона: 1 – счетчик на расстоянии двух метров от всасывающего колена; 2 – счетчик на нисходящем колене

сифона. Скорость движения воды в средней ветви при этом снизилась с 1,22 до 0,86 м/с, а расход уменьшился на 28 %. При подаче такого количества воздуха обе ветви сифона – и средняя, и нисходящая – работали полным сечением. Превышение подачи воздуха вышеуказанной величины ведет к неустойчивому режиму работы сифона: нисходящая ветвь сплошь заполняется водовоздушной массой, и при расходе воздуха 24 % от объема воды она начинает работать неполным сечением, что предшествует разрядке сифона.

Еще большее влияние на ухудшение работы сифона оказывает поступление в него воздуха со стороны всасывающей ветви. В этом случае опасным следует считать уже поступление воздуха в объеме 12 % от расхода воды. При этом скорость движения воды в сифоне составляет 0,9 м/с (77 % от первоначальной), расход уменьшается на 23 %. Хотя в диапазоне поступающего воздуха от 12 до 20 % сифон еще работает, режим его работы становится еще более неустойчивым. Поступающий воздух вызывает большую пульсацию вакуума. В сифоне наблюдается волновое движение жидкости, возникающее вследствие сжатия сечения потока воздухом. При объеме поступающего воздуха порядка 21 % от объема воды сифон начинает работать неполным сечением, при этом скорость движения воды и расход в нем уменьшаются почти в 2 раза.

Таким образом, установлено, что воздух, поступающий в сифон извне, значительно снижает его производительность и увеличивает минимально допустимые скорости движе-

ния в нем воды. Если при нормальных условиях работы сифона без отсасывания воздуха вполне допустимы скорости в средней ветви 0,4 м/с, то при поступлении воздуха значение минимальной скорости возрастает до 0,8 м/с. Следовательно, для стабильной работы сифонных трубопроводов при их укладке следует тщательно заделывать стыки и всасывающие узлы, обязательно проверять их на герметичность. Наиболее опасные участки сифона, снижающие его производительность от проникновения воздуха, – это всасывающие колена и участки, примыкающие к ним. В то же время эксперименты показали, что сифоны могут устойчиво работать даже при поступлении значительного количества воздуха извне, но при этом их производительность снижается.

Проведенные натурные и лабораторные опыты продемонстрировали, что сифонные водосборы длиной до 500 м могут устойчиво работать без отсасывания воздуха при скоростях движения воды в средней ветви более 0,5 м/с.

Осушительное действие вертикального дренажа с сифонным водосбором проверялось на работе системы, состоящей из линейного ряда скважин № 2 и 3, а также № 1, 6, 8 (рис. 3). Между скважинами № 1–2 и 1–8 расстояние 360 м. Моделировалась работа водозабора с сифонным водосбором в приемной скважине в центре системы (скважина № 1), где создавалось максимальное понижение. В скважинах № 2, 3 и 8 поддерживался одинаковый динамический уровень. Продолжительность откачки составляла трое суток. К концу третьих суток работы водосбора понижение в указанных скважинах достигало 5 м. Средний расход всей системы на протяжении всего периода работы водосбора составлял 270 м³/ч, и в это время на всей площади участка замерялось понижение уровня грунтовых вод в наблюдательных скважинах.

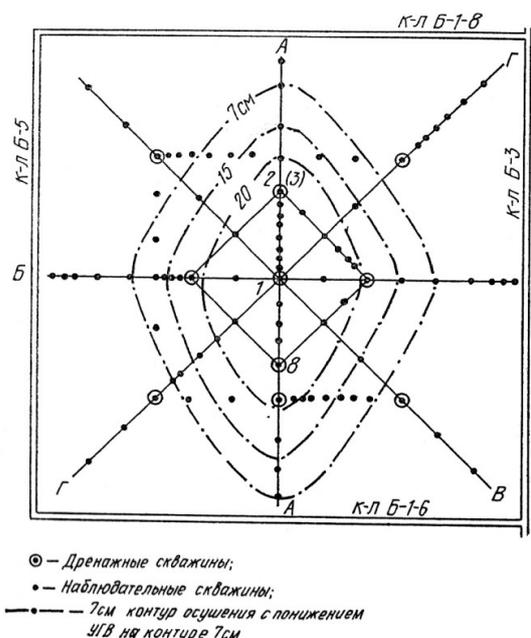


Рис. 3. Схема участка вертикального дренажа с контурами осушения скважинами № 1–3, 8

Как свидетельствуют результаты обработки откачки, площадь осушения с одинаковой величиной понижения уровня грунтовых вод (УГВ) при линейном ряде скважин оконтуривается по эллипсу. При этом площадь осушения с понижением на контуре 7 см составляла примерно 170 га, с понижением на контуре 15 см – 110 га, на контуре 20 см – 65 га.

Темпы снижения УГВ наиболее высокие в первые сутки откачки. В последующие дни они практически стабилизируются, что подтверждается и другими сериями откачек. Так, при величине расхода этой же системы 390 м³/ч понижение УГВ при радиусе влияния 500 м составило 4–5 см/сут, а при расходе 270 м³/ч – 2–3 см/сут. Интенсивность понижения УГВ значительно изменяется по площади, уменьшаясь по мере удаления от центра осушаемого участка. Средние значения этих понижений приведены в таблице.

Таблица. Интенсивность понижения УГВ в зависимости от радиуса действия скважин

Время снижения УГВ, сут	Понижение УГВ в зависимости от радиуса влияния, см			Расход системы, м ³ /ч
	140 м	380 м	500 м	
Первые	37	13	7	270
Вторые	10	4	3	
Третьи	7	3	2	

В сравнении с другими откачками интенсивность понижения УГВ линейным рядом скважин была несколько меньше. Так, при осушении участка четырьмя скважинами большого квадрата (расстояние между скважинами 1 км) с общим дебитом 560 м³/ч темп снижения уровня грунтовых вод в центре участка составлял в среднем 7 см/сут [5–8].

Проведенные опыты показали, что при работе линейного ряда взаимодействующих скважин со средним дебитом 90 м³/ч и понижении в них динамического уровня до 5 м на одну скважину приходится 45–50 га осушаемой территории. Зная темпы снижения УГВ при различных вариантах расположения скважин и зону их влияния, можно оперативно управлять уровнями грунтовых вод осушаемой территории, своевременно включая и отключая систему.

Выводы

1. Проведенные исследования режимов работы сифонного водосбора с длиной средней ветви 360 м позволили определить условия их устойчивой работы.
2. Установлены минимально допустимые скорости воды в средней ветви сифона, обеспечивающие стабильную работу водосбора.
3. Доказано, что на устойчивую работу сифона влияет объем воздуха, поступающего в трубопровод извне.

Учитывая вышеизложенное и принимая во внимание, что в Советском Союзе вертикальный дренаж с сифонным водосбором был единственной системой на мелиоративных объектах, опыт его эксплуатации актуален и в современных условиях. Следует учитывать тенденцию чередования экстремальных засушливых и влажных периодов. Для сглаживания их негативного влияния на водный режим мелиорируемых земель и сельскохозяйственное производство необходимо заблаговременно разрабатывать мероприятия, обеспечивающие условия высокоинтенсивного земледелия. К таким мероприятиям можно отнести применение оросительно-увлажнительных и водооборотных систем на базе вертикального дренажа, способных рационально использовать водные ресурсы. В их конструкциях целесообразно применять сифонные водосборы как один из надежных и эффективных элементов.

4. Определены площади осушения и зона влияния сифонного водосбора на понижение УГВ при откачке из скважин.
5. При проектировании современных мелиоративных систем целесообразно применение сифонных водосборов в качестве конструктивных элементов вертикального дренажа.

Библиографический список

1. Митрахович, А. И. О регулировании водного режима на осушенных землях с учетом экстремальных условий / А. И. Митрахович, Н. М. Авраменко // Мелиорация. – 2015. – № 2 (74). – С. 58–66.
2. Осушение земель вертикальным дренажем / А. И. Мурашко [и др.]. – Минск : Ураджай, 1980. – 244 с.
3. Мурашко, А. И. Сельскохозяйственный дренаж в гумидной зоне / А. И. Мурашко. – Москва : Колос, 1982. – 271 с.
4. Абрамов, С. К. Подземный дренаж в промышленном и городском строительстве / С. К. Абрамов. – Москва : Стройиздат, 1973. – 279 с.
5. Масловский, Е. А. Глубокий дренаж (опыт 25-летней эксплуатации вертикального дренажа с сифонным водоотводом) / Е. А. Масловский, С. К. Абрамов. – Москва : Стройиздат, 1964. – 130 с.
6. Ругалева, Н. А. Новые данные о действии сифонов / Н. А. Ругалева // Водоснабжение и санитар. техника. – 1958. – № 5. – С. 24–28.
7. Мурашко, А. И. Осушительно-увлажнительные системы на базе вертикального дренажа в Белорусском Полесье / А. И. Мурашко, П. Н. Костюкович, А. Т. Шпаков // Гидротехника и мелиорация. – 1975. – № 1. – С. 62–69.
8. Мурашко, А. И. Регулирование водного режима осушаемых площадей вертикальным дренажем и орошение подземными водами / А. И. Мурашко, П. Н. Костюкович, А. Т. Шпаков // Пробл. Полесья. – Вып. 4. – Минск : Наука и техника, 1975. – С. 133–151.

Поступила 3 ноября 2022 г.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ БАРЬЕРОВ ИЗ ГАЗОНАПОЛНЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ БАЛЛОНОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВИБРАЦИЙ В ГРУНТОВОЙ СРЕДЕ

К. Э. Повколас, кандидат технических наук

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

Аннотация

Приводятся расчеты параметров вертикального виброизоляционного барьера из соприкасающихся скважин, обсаженных газонаполненными цилиндрическими баллонами под давлением. Барьер предназначен для снижения уровня колебаний грунта за ним, что уменьшает дополнительные динамические усилия в строительных конструкциях и исключает развитие дополнительных вибрационных осадков фундаментов. Моделирование осуществлялось методом конечных элементов. Грунтовая среда рассматривалась как пространственный упругий инерционный массив, ограниченный неотражающими границами. Изучалось изменение параметров колебаний поверхности за барьером в зависимости от изменения его геометрических параметров и частоты вынужденных колебаний источника. Достоверность применения метода конечных элементов для расчета динамических процессов в системе «источник колебаний – среда распространения – приемник колебаний» верифицирована на основании данных маломасштабных лабораторных опытов. Использование вертикального барьера эффективно при виброизоляции фундаментов строений от источников колебаний, расположенных как внутри промышленных цехов, так и вне их. Снижение амплитуд вертикальных колебаний поверхности грунта за барьером может достигать 90 %.

Ключевые слова: *вибрации, здания, сооружения, воздействия, виброизоляция, скорость колебаний.*

Abstract

K. E. Povkolos

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF VERTICAL BARRIERS FROM GAS-FILLED CYLINDRICAL CYLINDERS TO REDUCE VIBRATIONS IN THE SOIL ENVIRONMENT

The article presents calculations of the parameters of a vertical vibration isolation barrier from adjoining wells, cased with gas-filled cylindrical cylinders under pressure. The barrier is designed to reduce the level of ground vibrations behind it, which reduces additional dynamic forces in building structures and eliminates the development of additional vibrational settlements of foundations. Modeling was carried out by the finite element method. The ground medium was considered as a spatial elastic inertial array bounded by non-reflecting boundaries. The change in the parameters of surface oscillations behind the barrier was studied depending on the change in its geometric parameters and the frequency of forced oscillations of the source. The reliability of the application of the finite element method for calculating dynamic processes in the system "oscillation source – propagation medium – oscillation receiver" was confirmed by verification based on data from small-scale laboratory experiments. The use of a vertical barrier is effective in vibration isolation of building foundations from vibration sources located both inside and outside industrial workshops. The decrease in the amplitudes of vertical oscillations of the soil surface behind the barrier can reach 90 %.

Keywords: *vibrations, buildings, structures, impacts, vibration insulation, vibration speed.*

Введение

Развитие промышленности и транспортной инфраструктуры нередко приводит к увеличению вибродинамических воздействий на здания и сооружения, вызывая повреждения строительных конструкций. На опасность колебаний грунта, вызванных работой кузнечных молотов, забивкой свай впервые обратили внимание в начале XX века: в Санкт-Петербурге в период с 1911-го по 1927 г. отмечено резкое увеличение интенсивности развития сред-

негодовых осадок с 0,3 мм/год до 2,2 мм/год, а с 1927 г. по 1953 г. – для зданий, расположенных в пределах 30–35 м от транспортных магистралей [1].

В Беларуси с 2002 г. по 2013 г. увеличилось техногенное вибрационное загрязнение городов до 1,5 раза: от метрополитена на 41, автотранспорта на 44, трамваев на 21, промышленной вибрации на 11 % [2, 3]. Согласно опытным данным, полученным автором [4], даже на

значительном расстоянии от железной дороги (около 300 м), автомобильной дороги и линии метро (около 70 м) взаимное наложение вибраций от этих источников являются препятствием для установки прецизионного оборудования без специальных дорогостоящих мероприятий по виброизоляции.

Можно предположить, что интенсивность вибраций в дальнейшем будет только нарастать. Нарушения эксплуатационной пригодности конструкций зданий и сооружений при забивке свай, вибропогружении шпунта, работе кузнечных механизмов и турбоагрегатов на ТЭС наблюдаются и по сей день [5–7]. Нормативный документ, действующий в Беларуси [8], регламентирует безопасное расстояние от источника до приемника колебаний в 25–30 м в зависимости от конструктивной схемы здания, грунтовых условий, источника воздействия и степени повреждения конструкций. При меньшем расстоянии необходимо осуществлять инструментальный контроль, включающий измерение вибраций и обследование здания (сооружения). Наибольшую опасность представляют забивка свай, вибропогружение и виброизвлечение шпунта, промышленные взрывы, работа кузнечных молотов и копров. При их работе нарушение эксплуатационной пригодности прилегающих строений может проявиться в доли секунды. Расчет дополнительных динамических осадок фундаментов от забивки свай и вибропогружении шпунта приводится в разработанном автором нормативном документе [9].

Следует отметить, что при забивке свай расстояния до здания (сооружения), на которых выполняются санитарные нормы, установленные в Республике Беларусь, более чем в 2,5 раза превышают допустимые по повреждениям строительных конструкций. Для виброизоляции строений и инженерных коммуникаций от колебаний, распространяющихся в грунтовой среде, с середины прошлого века были предприняты попытки устройства вертикальных виброволновых барьеров. Первые исследования были проведены с открытыми траншеями. Ход опытов показал, что их применение ограничено глубиной их вскрытия, которое определяется устойчивостью грунта и не превышает нескольких метров.

Первые исследования эффективности вертикальных барьеров из газонаполненных подушек в грунтовой среде начали проводиться в 1980-х гг. [10, 11]. На первых опытных объектах удалось добиться снижения уровня колебаний изолируемых зданий и сооружений на 50–80 %, если глубина экрана хотя бы приблизительно равнялась длине рэлеевской (поверхностной) волны. Полевые и лабораторные опыты показали, что панели с газовыми подушками могут прослужить более 20 лет [10].

В последних конструктивных решениях вертикальный волновой барьер представлял собой железобетонную панель, к которой крепились горизонтальные цилиндрические баллоны диаметром 150–200 мм с оболочками из прочных полимерных многослойных пластиков под давлением, равным бытовому, от грунта на соответствующей глубине. Траншеи, в которые погружались виброизоляционные пакеты, выполнялись методом «стена в грунте» под защитой бентонитовой суспензии с последующим заполнением цементно-бентонитовым раствором. Пример использования горизонтальных газонаполненных баллонов, соединенных с элементами бетонных панелей и погружаемых в траншею под защитой бентонитовой суспензии, представлен на рис. 1. Эта конструкция широко используется в странах Евросоюза и одновременно выполняет функции виброизоляции строений и противофильтрационных диафрагм в водохозяйственном строительстве.



Рис. 1. Устройство виброзащитного и противофильтрационного барьера из газонаполненных баллонов, погружаемых в траншею, выполненную методом «стена в грунте»

Основная часть

При анализе виброизоляционной эффективности барьеров используют понятия сопротивления среды Z (в нашем случае – грунта и барьера) и коэффициента передачи энергии E_n через барьер [10, 11].

Сопротивление Z определяется по формуле

$$Z = c \cdot \rho,$$

где c – скорость распространения продольных волн; ρ – плотность материала.

Цель использования барьера с газовыми подушками – резкое изменение сопротивления в грунтовой среде. Удельный вес воздуха при температуре 5 °С равен 12,7 Н/м³ в отличие от 15–21,5 кН/м³ у осадочных горных пород. Соответственно, даже при одинаковой скорости распространения продольных волн сжатия-растяжения сопротивление барьера в 1181–1693 раза меньше сопротивления грунтовой среды. Кроме того, воздух не передает сдвиговые напряжения:

$$E_n = \frac{4 \cdot Z_1 \cdot Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2},$$

где Z_1 и Z_2 – сопротивления грунта и барьера соответственно; если $Z_1 = Z_2$, то изоляционный эффект отсутствует.

В качестве заполнения барьера часто используют геопену (геополистирол), которая на 98 % состоит из воздуха, но при этом обладает прочностью и жесткостью, достаточной для восприятия давления грунта на глубинах до 25–30 м [12, 13]. Согласно экспериментальным данным снижение уровня вибраций достигает 78 % при частоте вынужденных колебаний в 50 Гц. Эффективным считается также устройство двухрядных барьеров [12, 13].

Указанные способы виброизоляции имеют как достоинства, так и недостатки. К достоинствам волнового барьера относится возможность его устройства вблизи существующего здания или сооружения, не затрагивая их функциональность, а к недостаткам – необходимость перекладки подземных коммуникаций (при их наличии). Глубокие волновые барьеры выполняются методом «стена в грунте». Полагаем, что данный метод весьма трудоемкий и дорогостоящий, сопровождается «мокрыми» процессами и ограничен в применении в стесненных условиях городской застройки. Предлагаем использовать отсечную конструкцию, в которой газовые цилиндрические баллоны соответствующей формы погружаются в вертикальные соприкасающиеся скважины, бурение которых возможно малогабаритными станками в стесненных условиях. Скважины также могут заполняться геопеной. Данная конструкция может также применяться как противодиффузионная диафрагма в водохозяйственном строительстве.

Целью работы является расчетное обоснование эффективности виброизоляции зданий и сооружений от вибродинамических воздействий, распространяющихся в грунтовой среде, путем устройства стены из соприкасающихся скважин диаметром 500 мм, обсаженных цилиндрическими баллонами под давлением. Пример устройства барьера в промышленном здании приведена на рис. 2. Он может также использоваться для виброзащиты фундамента от внешних колебаний. При этом давление в баллонах принято равным боковому давлению грунта на соответствующей глубине, что позволяет располагать барьер вплотную к существующим фундаментам.

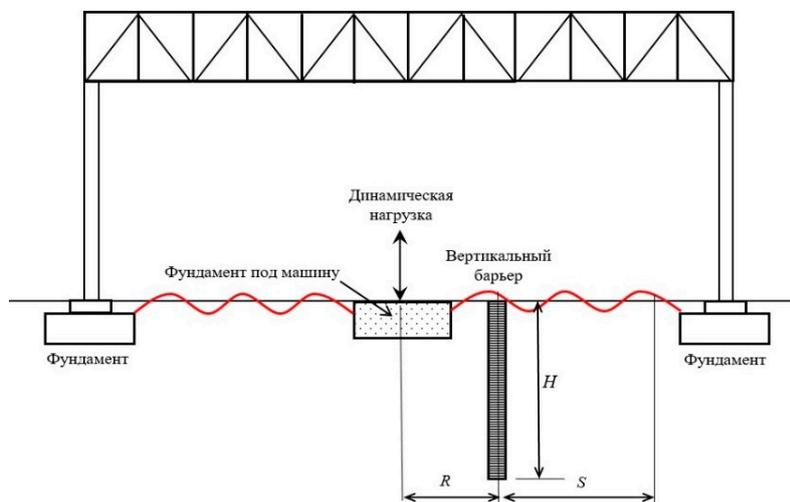


Рис. 2. Схема расположения волнового барьера в промышленном здании

Для достижения указанной цели выполнен комплекс расчетов системы «источник колебаний – среда распространения – приемник колебаний» без барьера и с вброволновым барьером методом конечных элементов. Грунтовый массив моделировался как упругая инерционная среда, поскольку амплитуда генерируемых колебаний мала и грунт не испытывает значительных пластических деформаций в грунтовой среде. Данный метод верифицирован [4]. Боковые и нижняя границы грунтового массива смоделированы так, что динамические усилия не отражаются.

Для оценки возможности повреждения зданий или сооружений полученные данные затем сравниваются с предельной скоростью вертикальных колебаний фундамента или поверхности прилегающего к нему грунта, которая является нормируемым параметром в Ве-

ликобритании, ФРГ, Беларуси, США, Польши, Чехии и Норвегии [4, 8, 9, 14].

С целью моделирования вибродинамических процессов смоделирован грунтовый массив размерами 54 × 40 м высотой 23 м (рис. 3).

Конечно-элементная сеть была сгущена в зоне расположения вброволнового барьера для получения более точных результатов. Общее количество конечных элементов составило 110 142, узлов – 85 864; время интегрирования – 1 сек., шаг интегрирования 0,01 сек.

На рис. 4 представлены графики зависимости максимальных вертикальных колебаний поверхности грунтового массива A_B при различных расстояниях S от оси барьера до рассматриваемой точки, частоте вынужденных колебаний $n = 50$ Гц, расстоянии от оси барьера до источника вибродинамических воздействий $R = 7$ м и длины барьера $L = 40$ м.

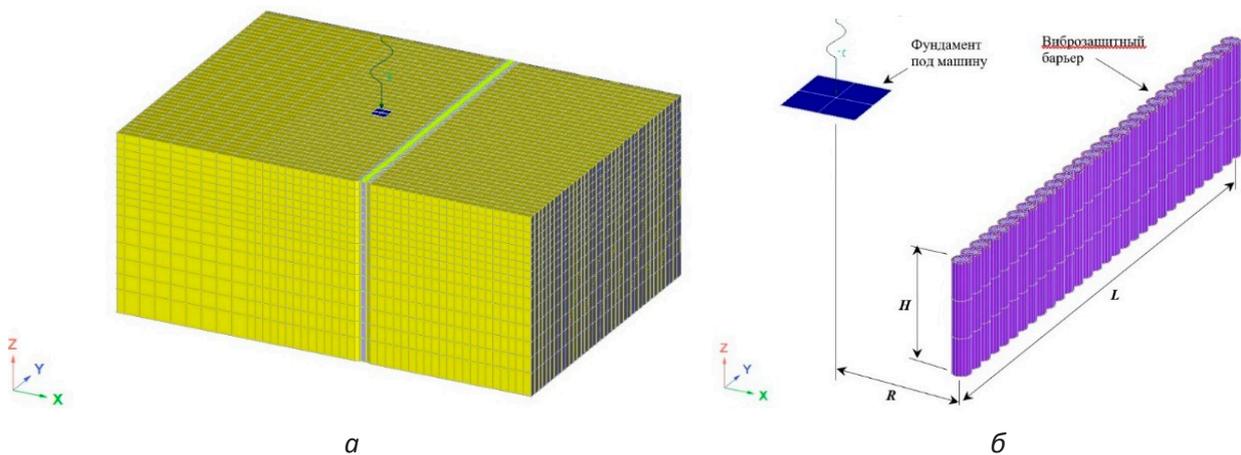


Рис. 3. Конечно-элементная схема грунтового пространственного массива:
 а – модель грунтового массива;
 б – взаимное положение фундамента под машину и виброзащитного барьера

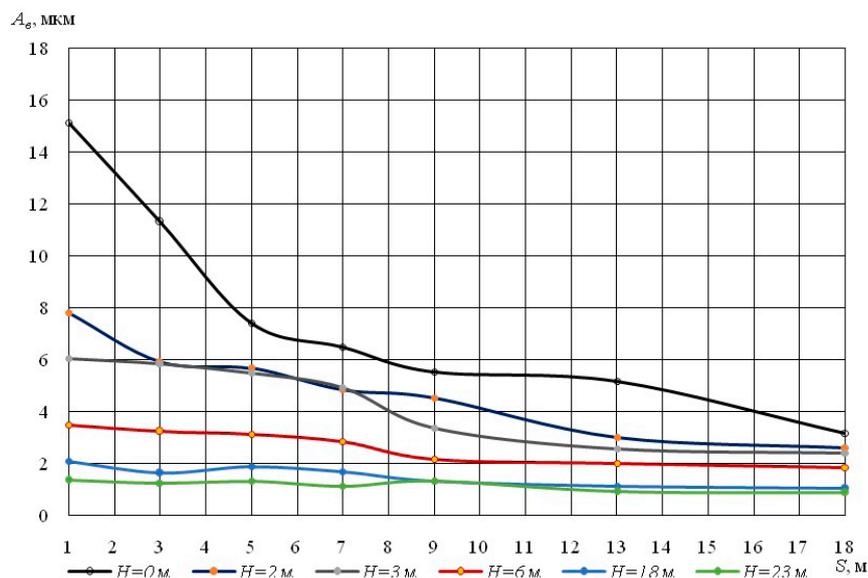


Рис. 4. Зависимость амплитуды вертикальных колебаний поверхности грунтового массива A_B от расстояния S

Данные на рис. 4 показывают что с увеличением глубины барьера H амплитуда вертикальных колебаний A_B за барьером снижается. При увеличении глубины барьера более 18 м существенного снижения амплитуд колебаний не наблюдается.

Для оценки снижения колебаний грунта при наличии барьера по сравнению со свободным распространением колебаний воспользуемся безразмерной величиной относительно снижения колебаний $a(S)$, определяемой как отношение амплитуды вертикальных колебаний поверхности грунта при наличии барьера к аналогичной амплитуде при отсутствии барьера в той же точке. Снижение относительной амплитуды вертикальных колебаний грунта за барьером можно описать следующей экспоненциальной зависимостью:

$$a(S) = a_1 \cdot e^{-nS};$$

где n – коэффициент ($n = 0,027$ при $H = 23$ м; $n = 0,042$ при $H = 18$ м; $n = 0,041$ при $H = 6$ м; $n = 0,064$ при H , равной 2 и 3 м; $n = 0,083$ при отсутствии барьера);

S – расстояние от оси барьера до рассматриваемой точки в направлении распространения колебаний;

a_1 – относительная амплитуда вертикальных колебаний на поверхности грунтового массива на расстоянии $S = 1$ м, определяемая по формуле:

$$a_1 = \frac{A_{B61}}{A_{B6}},$$

где A_{B61} – максимальная амплитуда вертикальных колебаний поверхности грунта на расстоянии $S = 1$ м при наличии барьера;

A_{B6} – максимальная амплитуда вертикальных колебаний поверхности грунта на расстоянии $S = 1$ м при отсутствии барьера.

Величина $a_1 = 1,0$ при отсутствии барьера; $a_1 = 0,573$ при $H = 2$ м; $a_1 = 0,509$ при $H = 3$ м; $a_1 = 0,269$ при $H = 6$ м; $a_1 = 0,155$ при $H = 18$ м; $a_1 = 0,106$ при $H = 23$ м.

На рис. 5 показаны зависимости максимальных вертикальных амплитуд колебаний грунта за барьером A_B в зависимости от его длины L при глубине $H = 3$ м. Из представленных данных следует, что увеличение длины барьера L при фиксированной глубине H приводит к различному снижению амплитуд колебаний на различных расстояниях за барьером. На рис. 6 – зависимость относительной амплитуды максимальных вертикальных колебаний поверхности грунта a за барьером от его глубины H : относительная амплитуда максимальных вертикальных колебаний поверхности грунта a за барьером уменьшается с ростом глубины барьера H . Наибольший эффект демпфирования наблюдается непосредственно за барьером при $H = 23$ м.

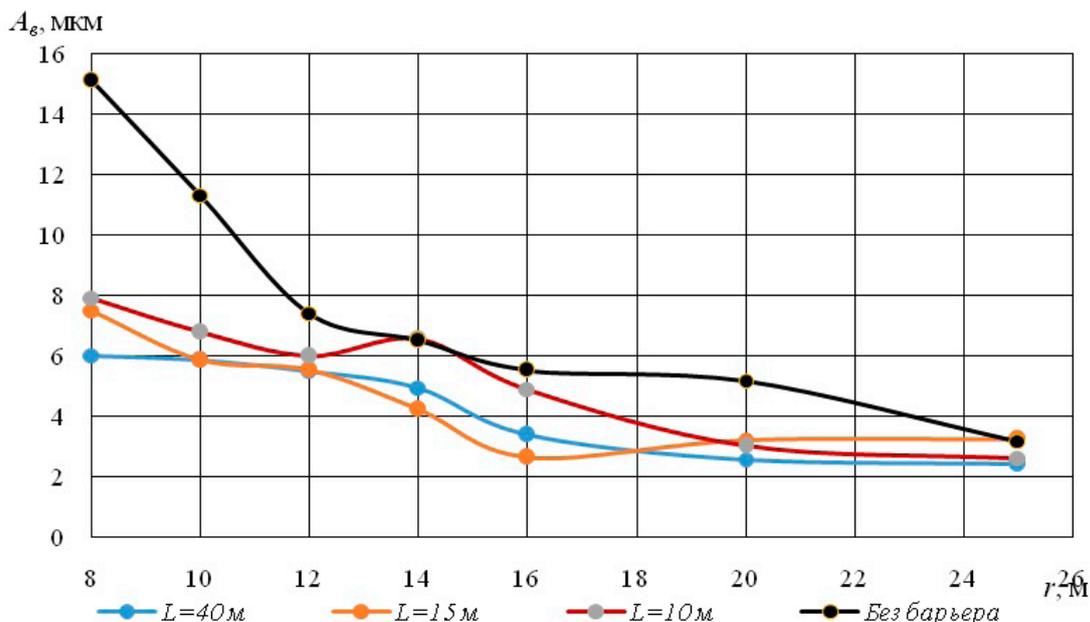


Рис. 5. Зависимость максимальной амплитуды вертикальных колебаний A_B от расстояния до источника колебаний при расположении барьера на расстоянии $R = 7$ м при различной ширине траншеи L (м) и ее глубине $H = 3$ м

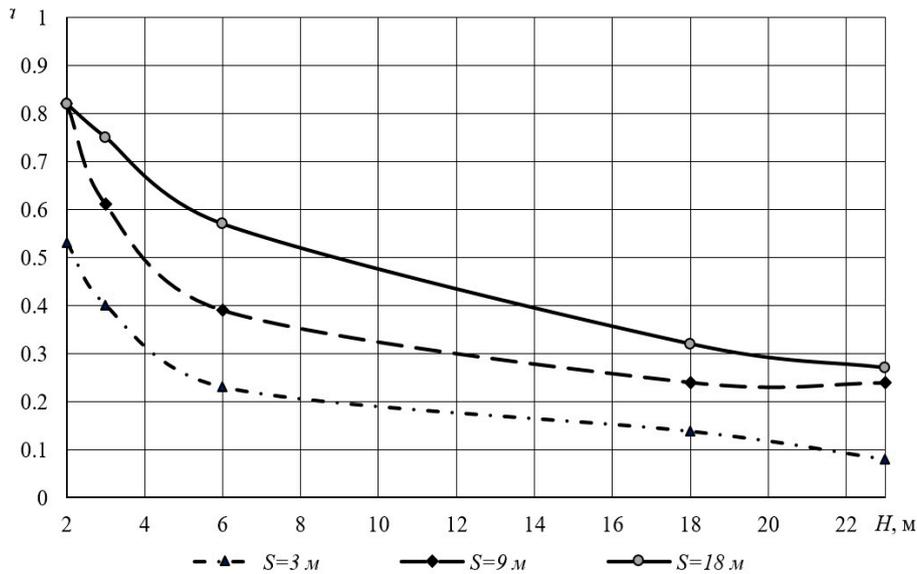


Рис. 6. Зависимость относительной амплитуды колебаний a от глубины барьера H на различных расстояниях за подпорной стенкой S

Зависимость относительного снижения вертикальных колебаний a от глубина барьера H можно описать следующей степенной функцией:

$$a(H) = a_2 \cdot H^{-k},$$

где k – коэффициент ($k = 0,463$ при $S = 18$ м; $k = 0,508$ при $S = 9$ м; $k = 0,706$ при $S = 3$);

a_2 – относительная амплитуда вертикальных колебаний на поверхности грунтового массива, определяемая по формуле:

$$a_2 = \frac{A_{B62}}{A_{B6}},$$

где A_{B6} – максимальная амплитуда вертикальных колебаний поверхности грунта при $H = 2$ м.

Выводы

Использование вертикального виброволнового барьера, выполненного из вертикальных соприкасающихся скважин, обсаженных газонаполненными цилиндрическими баллонами под давлением, является эффективным

Величина $a_2 = 1,211$ при $S = 18$ м, $a_2 = 1,082$ при $S = 9$ м, $a_2 = 0,862$ при $S = 3$ м.

Величина относительной амплитуды максимальных вертикальных колебаний поверхности грунта a за барьером зависит также от частоты вынужденных колебаний n источника. С увеличением частоты вынужденных колебаний n относительная амплитуда вертикальных колебаний грунта за барьером a в целом увеличивается, то есть эффект демпфирования снижается. Например, при $H = 3$ м и частоте колебаний 50 Гц $a = 0,56$; при $n = 25$ Гц $a = 0,31$; при $n = 12,5$ Гц $a = 0,28$ на расстоянии $S = 9$ м.

конструктивным решением для демпфирования колебаний, распространяющихся в грунтовой среде. Снижение параметров колебаний грунта за барьером, в направлении виброизолируемого объекта, может достигать 90 %.

Библиографический список

1. Савинов, О. А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет / О. А. Савинов. – 2-е изд. – Л. : Стройиздат, 1979. – 200 с.
2. Кудрявцев, И. А. Влияние вибрации на основания и сооружения / И. А. Кудрявцев. – Гомель : БелГУТ, 1999. – 247 с.
3. Кравцов, В. Н. Осадки оснований плитных фундаментов при длительном воздействии на них динамических нагрузок малой интенсивности / В. Н. Кравцов, П. В. Лапатин // Геотехника Беларуси: наука и практика : материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 60-летию кафедры оснований, фундаментов и инженерной геологии и 90-летию со дня рождения

проф. Ю. А. Соболевского, Минск, 23–25 окт. 2013 г. : в 2 ч. / Белорус. нац. техн. ун-т.; ред.: М. И. Никитенко, Д. Ю. Соболевский, Т. М. Уласик. – Минск : БНТУ, 2013. – Ч. 1. – С. 150–157.

4. Разработка способов повышения эксплуатационной надежности и долговечности конструкций зданий и сооружений при реконструкции и модернизации производства, сопровождающегося интенсивными вибродинамическими воздействиями : отчет о НИР (заключ.) / Белорус. нац. техн. ун-т ; рук. К. Э. Повколос. – Минск, 2018. – 82 с. – № ГР 20160898.

5. Берлинов, М. В. Основы комплексной оценки динамической работы строительных конструкций при вибрационных воздействиях промышленного оборудования : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.01 / М. В. Берлинов. – Москва, 2005. – 302 л.

6. Экспериментальная динамика сооружений. Мониторинг транспортной вибрации / Е. К. Борисов, С. Г. Алимов, А. Г. Усов [и др.]. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2007. – 128 с.

7. Калюжнюк, М. М. Сваебойные работы при реконструкции (влияние колебаний на здания и сооружения) / М. М. Калюжнюк, В. К. Рудь. – Л. : Стройиздат, 1989. – 161 с.

8. Основания и фундаменты, инженерные изыскания. Фундаменты плитные. Правила проектирования : ТКП 45-5.01-67-2007. – Введ. 2.04.07. – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2007. – 136 с.

9. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Фундаменты при вибродинамических воздействиях. Правила проектирования : ТКП 45-5.01-264-2012. – Введ. 28.05.12. – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2012. – 114 с.

10. Массарч, К. Р. Виброизоляция с использованием газонаполненных подушек / К. Р. Массарч // Развитие городов и геотехн. строительство. – 2006. – № 10. – С. 176–191.

11. Massarch, K. R. Ground Vibration Isolation using gas cushions / K. R. Massarch // 2nd Intern. conf. on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics. – USA, University of Missouri – Rolla, 13 Mar. 1991. – P. 1461–1470.

12. Alzawi, A. Full scale experimental study on vibration scattering using open and in-filled (geofoam) wave barriers / A. Alzawi, M. H. El Naggar // Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Mar. 2011. – Vol. 31, iss. 3. – P. 306–317. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2010.08.010>

13. Naghizadehrokni, M. A full experimental and numerical modelling of the practicability of thin foam barrier as vibration reduction measure / M. Naghizadehrokni, M. Ziegler, J. Sprengel // Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Dec. 2020. – Vol. 139. – P. 106416. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106416>

14. Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и ее воздействие на конструкцию : ГОСТ Р 52892–2007. – Введ. 27.12.07. – Москва : Федер. агентство по техн. регулированию и метрологии, ОАЛ «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем», 2007. – 16 с.

Поступила 25 ноября 2022 г.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОТКРЫТОГО КАНАЛА В СРЕДЕ HEC-RAS

А. И. Ракицкий, инженер-исследователь

Полесский государственный университет, г. Пинск, Беларусь

Аннотация

Рассмотрена возможность использования программного обеспечения HEC-RAS для гидравлических расчетов открытой сети с оценкой адекватности результатов расчета по отношению к методикам и расчетным формулам, применяемым в Беларуси. Сравнение результатов расчета (проведенного в HEC-RAS в соответствии с формулами, приведенными в нормативной, справочной и учебной литературе) свидетельствует, что полученные значения имеют отклонения от 1 до 20 %. Анализ данных позволяет сделать выводы, что HEC-RAS можно использовать как альтернативный способ гидравлического расчета открытых русел.

Ключевые слова: канал, гидравлический расчет, коэффициент Шези, русло, HEC-RAS.

Abstract

A. I. Rakitsky

HYDRAULIC CALCULATION OF AN OPEN CHANNEL IN THE HEC-RAS ENVIRONMENT

The possibility of using the HEC-RAS software for hydraulic calculations of an open network with an assessment of the adequacy of the calculation results in relation to the methods and calculation formulas used in Belarus is considered. Comparison of the calculation results (obtained in HEC-RAS with the recommended formulas given in the normative, reference and educational literature) showed that the obtained values have deviations from 1 to 20 %. Data analysis allows us to conclude that HEC-RAS can be used as an alternative method for hydraulic calculation of open channels.

Keywords: channel, hydraulic calculation, Chezy coefficient, watercourse, HEC-RAS.

Введение

Протяженность открытых каналов в Республике Беларусь составляет 200 тыс. км, в том числе мелиоративных каналов – 156,2 тыс. км [1, 2]. Большинство открытых каналов запроектированы и построены с 1965 по 1990 гг. в составе мелиоративных осушительных, осушительно-увлажнительных или оросительных систем. Открытые каналы – важный элемент мелиоративной системы, они могут присутствовать в виде регулирующей, проводящей, оградительной сети, редко – водоприемника.

Структура распределения открытой сети в Беларуси представлена следующим образом: проводящая сеть – 59 %; регулирующая сеть – 31 %; водоприемники – 8 %; оградительная сеть – 2 % [2]. За период эксплуатации поперечное сечение канала подвергается изменению путем деформации откосов и дна канала с трапецеидального до параболического, а в итоге – на случайное, криволинейное. На рис. 1 приведен

пример изменения формы поперечного сечения канала «Я-6» мелиоративной системы «Путь к коммунизму» Пинского р-на Брестской обл.

С 2000 г. в Беларуси проводится широкомасштабная работа по ремонту и реконструкции осушительных систем, в том числе и открытой сети [3]. Доля реконструируемых каналов по отношению к новым может составлять 100 %.

На этапе проектных работ магистральные и проводящие каналы проходят проверку (гидравлический расчет) на удовлетворение двум основным критериям: а) пропуск расхода воды в существующих и проектных параметрах русла; б) размывающие и заиляющие скорости потока [4]. В реальности мелиоративные каналы через несколько лет работы уже нельзя считать призматическими; соответственно, их гидравлические параметры изменяются и не соответствуют расчетным. При проектировании это явление пока никак не учитывается.

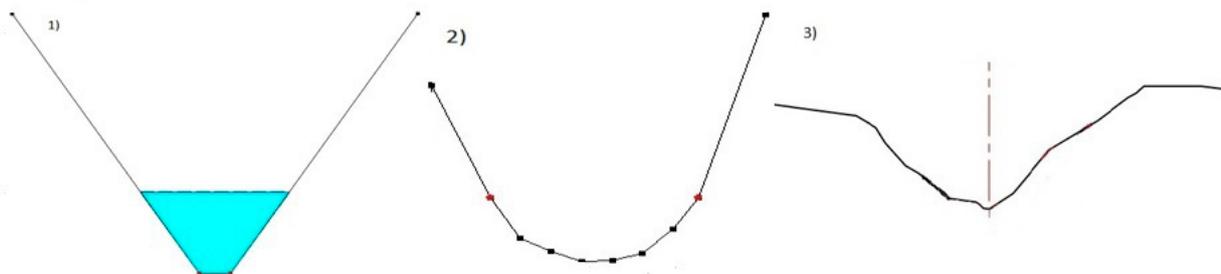


Рис. 1. Форма поперечного сечения канала Я-6:
1 – проектная; 2 – 7-й год эксплуатации; 3 – более 30 лет эксплуатации

Ошибочно принятые параметры канала могут приводить к процессам вторичного заболачивания, выходу дренажа из строя, а также поздним срокам сева, уборки и проведению других технологических операций. Это существенно снижает продуктивность мелиорированных площадей, увеличивает себестоимость продукции и ухудшает экономические

показатели сельскохозяйственного производства на осушенных землях. Поэтому верно смоделированный гидравлический режим открытых каналов и динамика его значений во времени позволяют обеспечить более точный расчет параметров каналов, применяемых при реконструкциях и ремонтах.

Методы исследований

Гидравлический расчет открытых каналов – сложная задача, которая решается путем подбора и проработки вариантов уровненного режима при разных параметрах канала. Решение данной задачи в практике проектирования можно свести к следующим вариантам расчета:

- 1) ручной (с использованием калькулятора, номограмм, графиков и т. д.);
- 2) реализованный в электронных таблицах (например, в среде *Microsoft Excel*);
- 3) выполненный с помощью программного обеспечения (далее – ПО).

Ручной способ гидравлического расчета выполняется графо-аналитическим способом или, например, подбором с помощью таблиц А. А. Агроскина [5], графиков Э. И. Михневича [6], линейки В. Ф. Пояркова [7]. Этот способ расчета очень трудоемок, а также в ходе его применения велика вероятность допущения ошибок как в исходных данных, так и в самом расчете, поэтому в сложных случаях обычно используется процедура проверки расчетов другим человеком. Проверяющему необходимо самостоятельно повторить все операции первого исполнителя, поэтому применение прогрессивного многовариантного проектирования при таком способе расчета маловероятно.

Гидравлический расчет с использованием электронных таблиц *Microsoft Excel* позволяет повысить скорость и качество расчета. В иссле-

довательских проектах, когда рассматривается множество вариантов конструкций, необходимо оценить процессы размыва и заиления; в сложных гидрологических условиях расчет неприемлемо затягивается и усложняется.

Ни в Беларуси, ни в Российской Федерации нет широкого опыта по использованию программного обеспечения для расчета каналов, как нет сертифицированного ПО по гидравлическому расчету открытых русел. В проектно-изыскательской организации ОАО «Полесьегипроводхоз» (г. Пинск, Брестская обл.) разработана программа по гидравлическому расчету реконструируемого канала. Однако она имеет сложную специфику ввода данных и предназначена для внутреннего использования; основана на топографических изысканиях, интегрирована в ПО *AutoCAD*, имеет технические ограничения в применении; алгоритм гидравлического расчета выполнен по методическим указаниям 1987 г. и до настоящего времени не сертифицирован. Поэтому в части оценки эффективности данной программы для расчетов открытой сети при проектировании и в исследовательских работах приходится ориентироваться на зарубежный опыт. Поиск подходящих вариантов по расчету потока в открытых руслах в странах ближнего и дальнего зарубежья привел к компьютерной программе *Hydrologic Engineering Center's – River*

Analysis System (HEC-RAS), которая разработана Гидрологическим инженерным центром (Институт водных ресурсов, США) [8]. Эта программа де-факто стала стандартом и широко используется специалистами в США, Канаде, Мексике, странах Латинской Америки и Европы.

HEC-RAS позволяет моделировать установившееся движение потока, производить одномерные и двухмерные расчеты неустановившегося потока, транспортирующей способности потока (оценка на заиливание русла). Выбор именно этого ПО был обусловлен нашими финансовыми возможностями и доступностью *HEC-RAS* на бесплатной основе, причем он устанавливается без ограничения по функциональным возможностям.

Однако для широкого применения *HEC-RAS* в практике проектирования в Беларуси необходимо доказать, что методически он идентичен методам расчетов, используемым в нашей стране. Соответственно, результаты расчетов, проведенных с помощью данного продукта, могут быть получены и после расчетов, сделанных вручную с допустимой точностью отклонения. Эта задача и ставилась при выполнении настоящей работы.

Согласно руководству по гидравлическому расчету в разделе *Help* [9] гидравлический расчет открытой сети в условиях установившегося движения выполняется по формуле:

$$Q = \frac{1,486}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}, \quad (1)$$

где Q – расход;

A – площадь поперечного сечения потока;

R – гидравлический радиус;

S – гидравлический уклон;

n – коэффициент шероховатости, выражен по формуле Маннинга [9]:

$$n = \frac{1}{C} \cdot R^{1/6}, \quad (2)$$

где C – коэффициент Шези, $\text{м}^{0,5}/\text{с}$.

В упомянутом руководстве формула (1) приведена в английской системе измерения.

Основная часть

Цели данной работы:

а) сделать гидравлический расчет открытого канала в ПО *HEC-RAS* с определением глубин и скоростей потоков в диапазоне рас-

ходов для деформированного и трапециевидного русел;

б) определить количественное отклонение полученных результатов расчета в названном

В метрической системе измерения формула (1) имеет следующий вид:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \text{ м}^3/\text{с}. \quad (3)$$

В формулах (3), (4) и (5) обозначения будут те же, что и в (1), поэтому, подставив в (3) вместо n ее выражение (2), получим зависимость:

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{C} \cdot R^{1/6}} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}. \quad (4)$$

После математического преобразования получим формулу:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{R \cdot S}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (5)$$

Заменяем буквенное обозначение параметров в формуле (5) на соответствующее обозначение, используемое в нормативной, справочной и учебной литературе Республики Беларусь: буквы C и R не меняются, так как они совпадают по обозначению, смыслу и размерности. Площадь поперечного сечения потока $A = w$, размерность м^2 . Гидравлический уклон $S = i$ – безразмерная величина. Получаем формулу (6):

$$Q = C \cdot w \cdot \sqrt{R \cdot i}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (6)$$

где C – коэффициент Шези, $\text{м}^{0,5}/\text{с}$;

w – площадь поперечного сечения, м^2 ;

R – гидравлический радиус, м ;

i – гидравлический уклон.

Формула (6) является классической формулой Шези, используемой в белорусской науке в расчетах по гидравлике открытых русел в условиях установившегося потока.

Таким образом, методическая основа расчетов в ПО *HEC-RAS* в основном совпадает с методиками и методами расчета открытой сети на мелиоративных системах. Единственное отличие заключается в том, что в Беларуси чаще применяется коэффициент шероховатости, рассчитываемый по одной из версий формулы Н. Н. Павловского, а в *HEC-RAS* – выражение, в основе которого лежит формула Р. Маннинга. Далее оценим отличия в результатах расчетов.

программном обеспечении от расчетных значений, полученных по формуле (6), и экспериментальных измерений;

в) сравнить результаты расчетов и сделать вывод об их идентичности и допустимости использования ПО *HEC-RAS* при расчетах открытой сети в Республике Беларусь.

Объект исследования – открытый канал мелиоративной системы.

Типы форм поперечного сечения канала:

1 тип – трапецидальное с параметрами: заложение откоса $m = 2$, ширина по дну $b = 1$ м, продольный уклон дна $i = 0,0003$;

2 тип – деформированное (приближенное к параболе); форма принята аналогичной поперечному сечению канала «Я-6» мелиоративной системы «Путь к коммунизму» Пинского р-на Брестской обл.

Данные по сечению канала «Я-6» получены в июне 2022 г. путем нивелирования. В расчетах приняты следующие расходы воды: 0,1; 0,5; 1; 5 и 10 м³/с. В данном диапазоне расходов воды работает множество открытых каналов мелиоративной сети как в меженный период, так и в весенний и летне-осенний. В формуле (6) w , R , i – параметры русла, которые определяются экспериментально или задаются. Коэффициент шероховатости принят как для канала с креплением откосов, выполненным путем посева трав, равный $n = 0,033$, – это константа для всего периметра русел типов 1 и 2. Площадь поперечного сечения для типа 2 определена путем разбивки на элементарные геометрические фигуры (треугольник, трапеция) для соответствующей глубины; в дальнейшем площади фигур суммировались.

Коэффициент Шези (C) – фактор, учитывающий сопротивления всех видов трения по длине потока и влияющий на пропускную способность водотока. Сейчас существует более 200 формул по расчету коэффициента Шези, полученных эмпирическим или эмпирико-аналитическим способом. Все формулы по определению коэффициента Шези можно разделить на 4 группы, где в каждой последовательно учитываются:

1) такие характеристик поперечного сечения, как гидравлический радиус R , глубина h и коэффициент шероховатости n , $C = f(n, R, h)$;

2) только гидравлический уклон водотока, $C = f(i)$;

3) выступ гряд, выступ шероховатости и характеристики шероховатости, $C = f(d, h_r/L_r, \Delta)$;

4) относительная ширина потока, $C = f(B/h)$.

Формулы расчета коэффициента Шези из первой группы учитывают поперечное сечение потока через гидравлический радиус, а коэффициент шероховатости используется как показатель, более полно характеризующий поперечное сечение. Стоит заметить, что гидравлический радиус R полностью не отображает морфометрию живого сечения потока, так как при одном и том же значении R могут принимать разные формы русла (трапецидальная, полигональная, параболическая и др.). В расчете используем формулы для C из первой группы, так как они широко применяются в практических расчетах и учитывают поперечную форму канала через R .

Формула Н. Н. Павловского для определения коэффициента Шези приведена как основная для гидравлического расчета [4, 10, 11]:

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^y, \text{ м}^{0,5}/\text{с}, \quad (7)$$

где n – коэффициент шероховатости;

y – показатель степени, определяется по формуле:

$$y = 2,5 \cdot \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{R} \cdot (\sqrt{n} - 0,1). \quad (8)$$

Н. Н. Павловский не рекомендует использовать формулу (7) для значений при $R > 3$. Далее по тексту будут применяться те же обозначения, что и в формуле (6).

Формула И. И. Агроскина и Д. В. Штеренлихта [12]:

$$C = \frac{1}{n} + (25,5 - 300 \cdot n) \cdot \lg R, \text{ м}^{0,5}/\text{с}. \quad (9)$$

Г. В. Железняков на основании данных Н. Н. Павловского получил логарифмическую формулу для определения C без ограничений по n и R [13]:

$$C = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{1}{n} - \frac{\sqrt{g}}{0,13} \cdot (1 - \lg R) \right] + \sqrt{\frac{1}{4} \cdot \left[\frac{1}{n} - \frac{\sqrt{g}}{0,13} \cdot (1 - \lg R) \right]^2 + \frac{\sqrt{g}}{0,13} \cdot \left(\frac{1}{n} + \sqrt{g} \cdot \lg R \right)}, \text{ м}^{0,5}/\text{с}, \quad (10)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с².

В расчеты также включены формулы Р. Маннинга (11) и Гангилие – Куттера (12):

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6}, \text{ м}^{0,5}/\text{с}, \quad (11)$$

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n}}{1 + 23 \cdot \frac{n}{\sqrt{R}}}, \text{ м}^{0,5}/\text{с}. \quad (12)$$

Расчет значений средней скорости v и глубины потока h выполнялся в электронной та-

блице *Microsoft Excel* по формуле расходной характеристики K :

$$K = w \cdot C \cdot \sqrt{R}. \quad (13)$$

Средняя скорость определена по формуле:

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot i}, \text{ м/с}. \quad (14)$$

В соответствии с руководством [9] выполнен отдельный расчет для каждого типа русла. Результаты расчета сведены в табл. 1. Значения v и h для графы 13 взяты из итоговой таблицы *HEC-RAS*.

Таблица 1. Значения C , v и h в зависимости от расчетной формулы

Расход, м ³ /с	Коэффициент Шези C , м ^{0,5} /с по формуле:					Расчетные показатели: v – скорость потока, м/с; h – глубина потока, м	Значение v и h в расчетах по формуле:					
	Н. Н. Павловского	И. И. Агроскина и Д. В. Штеренлихта	Г. В. Железнякова	Р. Маннинга	Гангилие – Куттера		Н. Н. Павловского	И. И. Агроскина и Д. В. Штеренлихта	Г. В. Железнякова	Р. Маннинга	Гангилие – Куттера	HEC-RAS
Тип 1												
0,1	19,84	19,30	21,86	23,47	20,54	v	0,17	0,16	0,18	0,19	0,17	0,20
						h	0,36	0,36	0,34	0,32	0,34	0,31
0,5	23,77	23,77	25,05	26,13	24,56	v	0,27	0,27	0,28	0,29	0,28	0,31
						h	0,74	0,74	0,72	0,71	0,73	0,68
1	25,62	25,70	26,51	27,33	26,32	v	0,33	0,33	0,34	0,35	0,34	0,37
						h	1,00	1,00	0,98	0,98	1,00	0,95
5	30,20	30,20	30,22	30,23	30,22	v	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,54
						h	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,93
10	32,19	32,22	31,90	31,56	31,88	v	0,63	0,63	0,62	0,62	0,62	0,64
						h	2,58	2,58	2,59	2,60	2,60	2,55
Тип 2												
0,1	19,43	18,80	21,42	23,17	20,21	v	0,16	0,16	0,17	0,18	0,16	0,18
						h	0,31	0,31	0,29	0,28	0,30	0,30
0,5	24,06	24,08	25,21	26,24	24,80	v	0,28	0,28	0,29	0,30	0,28	0,30
						h	0,65	0,65	0,63	0,62	0,64	0,63
1	26,34	26,37	27,06	27,72	26,89	v	0,36	0,36	0,36	0,37	0,36	0,39
						h	0,91	0,9	0,89	0,88	0,90	0,87
5	31,50	31,45	31,28	31,09	31,22	v	0,59	0,59	0,59	0,58	0,59	0,64
						h	1,89	1,89	1,89	1,90	1,87	1,92
10	33,40	33,29	32,92	32,40	32,85	v	0,70	0,70	0,70	0,69	0,69	0,77
						h	2,74	2,74	2,77	2,80	2,77	2,70

По результатам расчета (графы 8–13) построены зависимости $v = f(Q)$ и $h = f(Q)$ для русел 1-го и 2-го типов.

На рис. 2 показана зависимость $v = f(Q)$: значения v распределены по одной зависимости с небольшим отклонением между собой.

Минимальные значения v имеет формула (9) для расхода от 0,1 по 1 м³/с и формулы (10), (11) и (12) – расход 10 м³/с. Для расхода 5 м³/с все формулы показали одинаковое значение v (0,52 м/с). Максимальное значение v получено в *HEC-RAS* для всего диапазона расходов.

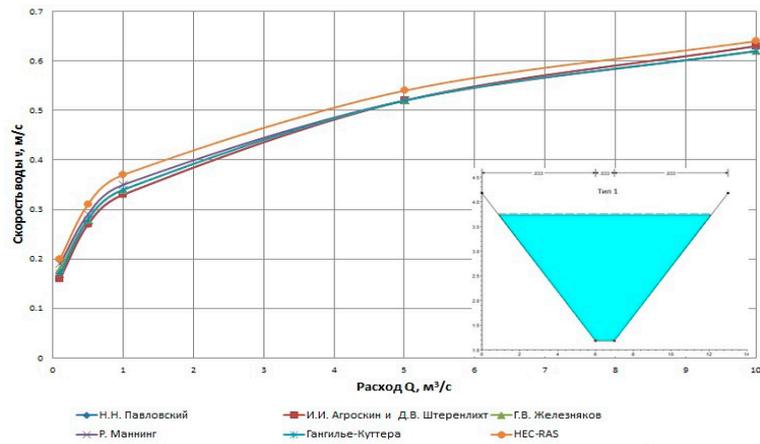


Рис. 2. Зависимость скорости потока от расчетной формулы C (русло 1-го типа)

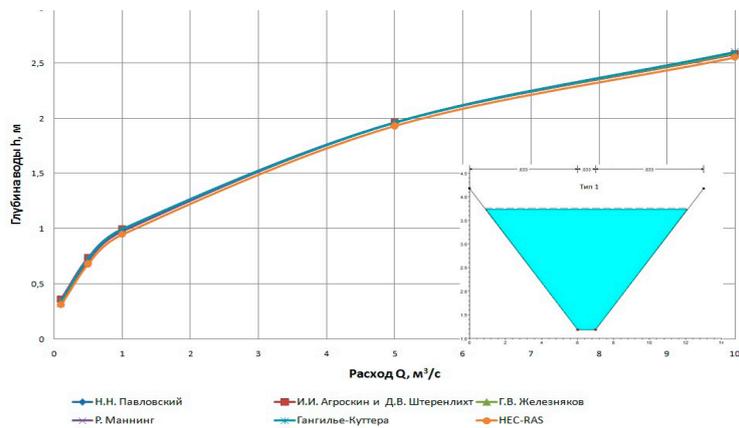


Рис. 3. Зависимость глубины потока от расчетной формулы C (русло 1-го типа)

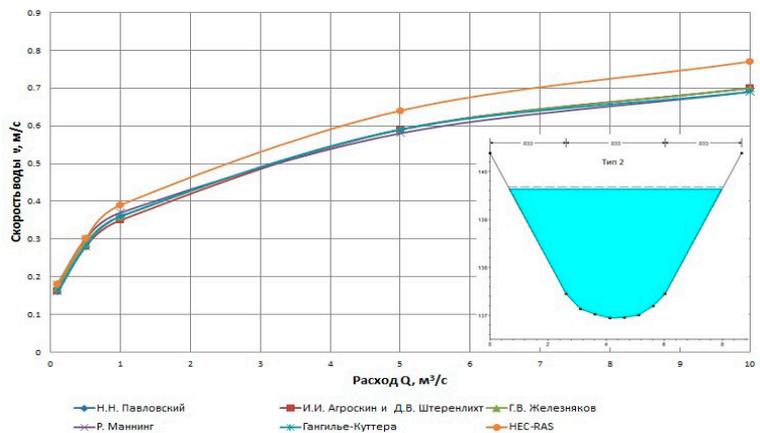


Рис. 4. Зависимость скорости потока от расчетной формулы C (русло 2-го типа)

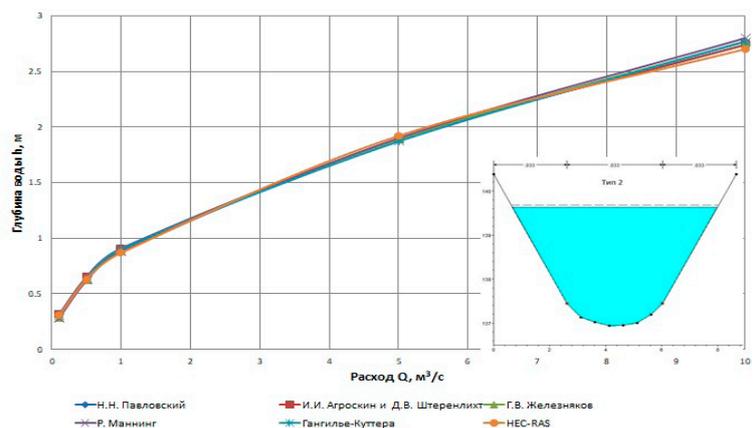


Рис. 5. Зависимость глубины потока от расчетной формулы C (русло 2-го типа)

Сопоставление данных (рис. 3) показывает, что между значениями h есть небольшое отклонение. Минимальные значения h получены для всего диапазона расходов в *HEC-RAS*.

Максимальные значения h для расхода от 0,1; 0,5; 1 м³/с по формулам (7) и (9) для расхода показали 10 м³/с по формулам (11) и (12). Для расхода в 5 м³/с у формул (7), (9), (10), (11) и (12) одинаковое значение h (1,96 м).

На рис. 4 функция $v = f(Q)$ показывает, что значения v распределены по одной зависимости с небольшим отклонением между собой. Минимальные значения v имеют формулы (7), (9) и (12) для расхода от 0,1 по 0,5 м³/с; формулы (11) и (12) – для расхода 10 м³/с; формула (11) – для рас-

хода 5 м³/с. Максимальное значение v получено в *HEC-RAS* для всего диапазона расходов.

Значения функции $h = f(Q)$ (рис. 5) распределены по одной зависимости с небольшим отклонением между собой. Минимальные значения h разбросаны как по диапазону Q , так и по C . Максимальные значения h в диапазоне расхода от 0,1 по 1 м³/с получены по формулам (7) и (9), для 5 м³/с – в *HEC-RAS* и для 10 м³/с – по формуле (11).

Определение количественного отклонения значений v и h выполнено путем вычисления разницы между эталонным значением и расчетным. За эталонное значение приняты значения *HEC-RAS*. Результаты сведены в табл. 2.

Таблица 2. Количественное отклонение v и h от значений *HEC-RAS*

Расход, м ³ /с	Расчетная формула						Отклонение от эталонного значения		Отклонение от эталонного значения, %	
	Н. Н. Павловского	И. И. Агроскина и Д. В. Штеренлихта	Г. В. Железнякова	Р. Маннинга	Гангиле – Куттера	<i>HEC-RAS</i>	min	max	min	max
Тип 1. V , м/с										
0,1	0,17	0,16	0,18	0,19	0,17	0,20	0,01	0,04	5	20
0,5	0,27	0,27	0,28	0,29	0,28	0,31	0,02	0,04	6	13
1	0,33	0,33	0,34	0,35	0,34	0,37	0,02	0,04	5	11
5	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,54	0,02	0,02	4	4
10	0,63	0,63	0,62	0,62	0,62	0,64	0,01	0,02	2	3
Тип 1. H , м										
0,1	0,36	0,36	0,34	0,32	0,34	0,31	0,01	0,05	3	16
0,5	0,74	0,74	0,72	0,71	0,73	0,68	0,03	0,06	4	9
1	1	1	0,98	0,98	1	0,95	0,03	0,05	3	5
5	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,93	0,03	0,03	2	2
10	2,58	2,58	2,59	2,6	2,6	2,55	0,03	0,05	1	2
Тип 2. V , м/с										
0,1	0,16	0,16	0,17	0,18	0,16	0,18	0,01	0,02	6	11
0,5	0,28	0,28	0,29	0,3	0,28	0,3	0,01	0,02	3	7
1	0,36	0,35	0,36	0,37	0,36	0,39	0,02	0,04	5	10
5	0,59	0,59	0,59	0,58	0,59	0,64	0,05	0,06	8	9
10	0,7	0,7	0,7	0,69	0,69	0,77	0,07	0,08	9	10
Тип 2. H , м										
0,1	0,31	0,31	0,29	0,29	0,3	0,3	0,01	0,02	3	7
0,5	0,65	0,65	0,63	0,62	0,64	0,63	0,01	0,02	2	3
1	0,91	0,9	0,89	0,88	0,9	0,87	0,01	0,04	1	5
5	1,89	1,89	1,89	1,89	1,9	1,92	0,02	0,05	1	3
10	2,74	2,74	2,77	2,8	2,77	2,7	0,04	0,1	1	4

Анализ табл. 2 для русла 1-го типа показывает: значения скорости воды отклоняются в диапазоне от 0,01 до 0,04 м/с (от 2 до 20 %); глубина воды от 0,01 до 0,06 м (от 1 до 16 %). Русло 2-го типа: значения скорости изменяются от 0,01 до 0,08 м/с (от 3 до 11 %); глубина воды от 0,01 до 0,10 м (от 1 до 7 %). Отклонение результата расчета от эталонных для русла типа 1 имеет тренд к уменьшению с увеличением

Заключение

1. Сравнение результатов гидравлического расчета открытых русел трапецеидальной формы (тип 1) в технологии *HEC-RAS* и по формулам Шези – Павловского показало, что результаты близки. Отклонения значений, полученных в *HEC-RAS* от формул (7), (9), (10), (11) и (12), уменьшаются с увеличением расхода: для скорости воды с 20 до 3 % и для глубины потока с 16 до 2 %. Наибольшее отклонение находится в диапазоне расхода от 0,1 до 1 м³/с, для скорости воды – с 20 до 11 % и для глубины воды с 16 до 5 %; наименьшее отклонение – в диапазоне расхода от 1 до 10 м³/с, для скорости воды с 5 до 2 % и для глубины воды с 3 до 1%.

2. Результаты гидравлического расчета открытых русел криволинейной формы (тип 2) в *HEC-RAS* также имеют приемлемые отклонения. Разброс отклонений находится в диапазоне от 3 до 11 % для скорости потока и от 1 до 7 % для глубины потока. Отклонения не имеют такой явной зависимости от расхода, как для трапецеидальной формы русла, и распределены приблизительно одинаково: как для расхода 0,1 м³/с, так и для 10 м³/с соответственно, 11 и 10 % – для скорости воды, от 7 до 4 % – для ее глубины. Минимальные значения для скорости потока – от 3 до 9 %, для глубины потока – от 1 до 3 %.

3. Гидравлический расчет открытой сети в ПО *HEC-RAS* для любых форм русел – это аль-

тернативный эффективный вариант, который позволяет быстро и точно получить расчетные данные как в табличной форме, так и в графическом виде для каждого заданного сечения. Данный программный продукт можно рекомендовать к использованию в учебных заведениях, проектных и научно-исследовательских организациях.

4. Формула Р. Маннинга (11) проста по выражению. В расчетах она показала, что ее расчетные значения находятся в приемлемых значениях, не выделяются на фоне остальных результатов.

5. Громоздкие по выражению формулы (7) и (10) для определения коэффициента Шези имеют небольшие расхождения значений между собой. Они существенно не влияют на результат расчета как для трапецеидального русла, так и для деформированного – по сравнению с простыми по выражению формулами (11) и (12). Необходимо учитывать, что в реальных условиях всегда имеются отклонения параметров канала между проектными и фактическими, так как в геодезических работах по выносу параметров канала в натуру и его устройство экскаватором имеются погрешности.

Таким образом, применение формул (7) и (10) в гидравлических расчетах не всегда оправдывается, поскольку они усложняют расчет.

Библиографический список

1. Макарэвіч, А. А. Рэкі і каналы / А. А. Макарэвіч // Беларус. энцыкл. : у 18 т. – Мінск, 2004. – Т. 18, кн. 2. – С. 45.
2. Карнаухов, В. Н. Эрозионно-аккумулятивные процессы на открытой сети мелиоративных систем : монография / В. Н. Карнаухов. – Минск : Беларус. навука, 2013. – 347 с.
3. О республиканской программе «Сохранение и использование мелиоративных земель на 2000–2005 годы» [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь,

20 янв. 2000 г., № 76 // ЭТАЛОН. Законодательство Респ. Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2022.

4. Мелиоративные системы и сооружения. Нормы проектирования. = Меліарацыйныя сістэмы і збудаванне. Нормы праектавання : ТКП 45-3.04-8-2005 (02250). – Введ. 01.11.05. – Минск : Стройтехнорм, 2006. – 105 с.

5. Агроскин, И. И. Гидравлический расчет каналов : учеб. пособие / И. И. Агроскин. – Москва : Госэнергоиздат, 1958. – 80 с.

6. Михневич, Э. И. Новые способы гидравлического расчета каналов / Э. И. Михневич // Мелиорация. – 2016. – № 3 (77). – С. 7–12.

7. Литт, Б. Я. Линейка Пояркова для гидравлического расчета каналов / Б. Я. Литт. – Ташкент : Госиздат УзССР, 1955. – 32 с.

8. US Army [Electronic resource] : USACE predictive software improving flood fights at home and abroad. – Mode of access: https://www.army.mil/article/261124/usace_predictive_software_improving_flood_fights_at_home_and_abroad. – Data of access: 11.11.2022.

9. Brunner, Gary W. HEC-RAS River Analysis System : Hydraulic Reference Manual / US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. – Davis, 2016. – 143 p.

10. Маслов, Б. С. Мелиорация и водное хозяйство / Б. С. Маслов // Справочник : [в 3 т.] / Под ред. Б. С. Маслова. – Москва : Агропромиздат, 1985. – Т. 3. Осушение. – 447 с.

11. Штеренлихт, Д. В. Гидравлика : учебник / Д. В. Штеренлихт; ред. Н. М. Щербакова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Колос, 2008. – 655 с.

12. Агроскин, И. И. Уточненная формула для коэффициента Шези / И. И. Агроскин, Д. В. Штеренлихт // Гидротехника и мелиорация. – 1965. – № 9. – С. 32–35.

13. Железняков, Г. В. Теория гидрометрии : монография / Г. В. Железняков. – Изд. 2, перераб. и доп. – Л. : Гидрометеиздат, 1976. – 344 с.

14. Шкутов, Э. Н. Оценка возможности проведения подпочвенного увлажнения на площадях осушительных систем южной и центральной части Беларуси / Э. Н. Шкутов, В. П. Иванов, А. И. Ракицкий // Мелиорация. – 2017. – № 2 (80). – С. 10–22.

Поступила 14 ноября 2022 г.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УПРАВЛЕНИЯ ОРОШЕНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ВОДНОГО БАЛАНСА

И. А. Романов, ассистент

*Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
г. Горки, Беларусь*

Аннотация

Выполнена оценка затрат на управление эксплуатационным режимом орошения с помощью водобалансовых расчетов. Приведен краткий литературный обзор существующих методов управления режимом орошения. Отмечено, что наиболее точным методом контроля влажности почвы является термостатно-весовой метод, однако данный метод отличается высокой трудоемкостью. В качестве производственного метода управления режимом орошения предлагается использовать метод водного баланса почвы. Сравнение эксплуатационных затрат на установление сроков полива сельскохозяйственных культур с помощью водобалансовых расчетов по предложенному нами алгоритму и с применением термостатно-весового способа показало ежегодную экономию 1780 руб. в расчете на 100 га.

Ключевые слова: водный баланс, орошение, датчики влажности почвы, водобалансовый расчет, дождевальная техника.

Abstract

I. A. Romanov

ECONOMIC EVALUATION OF IRRIGATION MANAGEMENT USING THE WATER BALANCE METHOD

An assessment of the costs of managing the operational regime of irrigation using water balance calculations was made. A brief literature review of the existing methods of irrigation regime control is given. It is noted that the most accurate method of controlling soil moisture is the thermostatic-weight method, however, this method is highly labor-intensive. It is proposed to use the method of soil water balance as a production method for controlling the irrigation regime. Comparison of operating costs of determining for the timing of irrigation of agricultural crops using water balance calculations according to the algorithm proposed by us and using the thermostatic-weight method showed an annual saving of 1780 rubles per 100 ha.

Keywords: water balance, irrigation, soil moisture sensors, water balance calculation, sprinkling equipment.

Введение

Оросительные мелиорации для влаголюбивых овощных и кормовых культур, возделываемых на территории Беларуси, являются важным фактором интенсификации и повышения эффективности земледелия и животноводства. В зоне рискованного земледелия, подверженного периодическим засухам, особенно важно создание благоприятного водного режима для сельскохозяйственных растений посредством орошения.

Эффективность орошения в производственных условиях зависит от качества управления каждым поливом, определяемого точностью установления сроков его начала и завершения.

Способы назначения сроков и норм полива можно разделить на три группы: инструментальные, расчетные и органолептические [1–4].

Инструментальный способ назначения поливов требует применения специализирован-

ных приборов для определения наступления срока пополнения почвенных влагозапасов. Индикатором, указывающим на необходимость проведения полива, в таких случаях служит степень влагонасыщения почвы или растения.

При назначении сроков поливов по состоянию почвы используют прямые и косвенные методы для измерения текущего содержания влаги в почве. К прямым относятся термогравиметрические, химические, экстракционные и пикнометрические способы [5]. Они позволяют непосредственно измерять количество влаги, содержащейся в почве.

Наиболее применяемым прямым методом измерения влажности почвы служит термостатно-весовой метод. Его суть заключается в отборе образцов почвы с требуемой глубины с помощью почвенного бура и помещении образцов в бюксы с последующим взвешиванием. После взвешивания бюксы отправляются в

сушильный шкаф, где высушиваются на протяжении, как правило, не менее 8 часов при температуре 105 °С. Затем бюксы извлекаются из сушильного шкафа, охлаждаются и опять взвешиваются. Искомое количество влаги определяется как разница между массой влажной и сухой почвы [6].

Косвенные методы ориентированы на контроль за каким-либо свойством почвы, коррелирующим с ее влажностью. Например, приборы и датчики для косвенного определения влажности почвы используют связь влажности почвы с ее водным потенциалом, температурой, скоростью проникновения электромагнитных или нейтронных излучений, электрической проводимостью и т. п. [7]. В орошаемом земледелии часто применяются тензиометры, пористые сенсоры, FDR-сенсоры и другие приборы [8]. Однако косвенные методы менее точны и требуют предварительной калибровки – в этом

Методика проведения исследований

В соответствии с результатами наших исследований расчет эксплуатационного режима орошения рекомендуется вести посуточно, то есть с шагом в одни сутки. Это позволяет избежать больших ошибок, свойственных для периодов переувлажнения почвы в связи с обильными атмосферными осадками, выпадающими в течение вегетации, что характерно для Беларуси [11].

Уравнение водного баланса расчетного слоя почвы для территорий с глубоким залеганием грунтовых вод имеет вид [9]:

$$W_{Ki} = W_{Hi} + P_i + m_i - \varphi E_{mi} - C_i \quad (1)$$

где W_{Ki} – влагозапасы расчетного слоя почвы на конец i -х суток, мм;

W_{Hi} – влагозапасы расчетного слоя почвы на начало i -х суток, мм;

P_i – осадки за i -е сутки, мм;

m_i – поливная норма (нетто), если в i -е сутки выполнен полив начальной позиции, мм;

φ – коэффициент, учитывающий зависимость водопотребления растений от увлажненности почвы в i -е расчетные сутки;

E_{mi} – максимальное водопотребление орошаемой культуры (суммарное испарение) за

закладывается их основной недостаток. Предварительная калибровка состоит в построении калибровочной кривой по данным о влажности почвы, полученной прямым методом измерения влажности. Это обуславливает довольно высокую стоимость и низкую масштабируемость использования такой методики.

Расчетные способы управления эксплуатационным режимом орошения получили наиболее широкое распространение. Именно на основе контроля за элементами водного баланса почвы разрабатываются технологии управления водным режимом растений при орошении в производственных условиях [1, 2].

В данной статье выполнена сравнительная количественная оценка затрат на управление режимом орошения в производственных условиях на основе термостатно-весового метода и водобалансовых расчетов по предложенному нами алгоритму [9, 10].

i -е расчетные сутки (при содержании влаги в расчетном слое почвы на уровне наименьшей влагоемкости), мм;

C_i – величина сбросов излишков осадков и поливных вод в i -е сутки за пределы расчетного слоя в периоды переувлажнений.

Согласно уравнению (1) управление водным режимом требует два вида исходной информации: постоянную (единовременную) и переменную (суточную). К условно постоянной информации (единовременной) относятся начальные влагозапасы первой позиции полива орошаемого участка, наименьшая влагоемкость почвы, тип (гранулометрический состав) почвы, биотермические коэффициенты и поливная норма. Переменная (суточная) информация – это максимальная суточная температура воздуха и атмосферные осадки. Затраты на получение данной информации зависят в большой степени от требуемой точности расчета, площади орошения и финансовых возможностей предприятия, обеспечивающего организацию и управление орошением.

Результаты исследований и их обсуждение

Для уменьшения затрат на организацию и управление режимом орошения мы пред-

лагаем использовать три варианта получения исходной информации.

Вариант 1. *Минимум эксплуатационных затрат. Высокая погрешность.*

Данный вариант не предусматривает специальных средств и оборудования для сбора исходной информации. Постоянная информация при этом варианте управления принимается по справочной литературе [12]. Переменная информация берется из открытых интернет-источников государственной метеорологической сети [12].

Названный вариант получения исходной информации актуально применять в случаях, когда у хозяйства есть небольшие орошаемые площади, полив которых можно завершить за 1–2 дня и погрешность в определении сроков полива существенно не повлияет на режим орошения и его эффективность.

Вариант 2. *Средний уровень эксплуатационных затрат. Средняя погрешность.*

При таком уровне организации управления режимом орошения требуются регулярные метеонаблюдения за атмосферными осадками и максимальной суточной температурой воздуха вблизи орошаемого участка. Водно-физические свойства почвы при этом устанавливаются в полевых условиях один раз в сезон: перед началом водобалансового расчета.

Вариант 3. *Высокий уровень эксплуатационных затрат. Максимальная точность.*

Этот вариант получения исходной информации рекомендуется применять при значительных площадях с орошением и пестром гранулометрическом составе почв, а также при проведении научных исследований. Всю необходимую исходную информацию получают непосредственно на орошаемом массиве.

Для экономической оценки управления водным режимом сравним затраты на инструментальный (базовый вариант) и расчетный способы (новый вариант) управления режимом орошения. Согласно предложенной методике [13] мы оценим затраты на планирование орошения при базовом и новом вариантах.

В качестве базового варианта управления режимом орошения мы определяли сроки начала полива путем измерения влажности почвы термостатно-весовым методом, который остается эталонным. Он применяется для калибровки датчиков влажности почвы и контроля за динамикой влажности почвы [1].

Для качественного управления режимом орошения при определении сроков полива термостатно-весовым способом рекомендуется отбирать пробы почвы через каждые 5–10 дней в зависимости от погодных условий [3, 14–16]. С учетом того, что поливы могут быть нужны уже в мае, за период май – август может потребоваться от 12 до 25 выездов на орошаемое поле для определения влажности почвы.

Количество точек измерений будет зависеть от пестроты гранулометрического состава почвы, рельефа местности, орошаемых культур и длины межполивного интервала [5].

При проектировании оросительных систем тип используемой дождевальной техники зависит от площади орошаемого массива. В Беларуси наиболее распространены широкозахватные дождевальные машины кругового типа и дождевальные машины барабанного типа. Широкозахватные машины кругового типа могут иметь различную площадь орошения: так, дождевальная машина фирмы *Reinke*, применяемая в КСУП «Брилево» Гомельского р-на, с одной позиции орошает 98 га. В КСУП «Светлогорская овощная фабрика» используется дождевальная машина «Фрегат» с площадью орошения 47 га и две машины фирмы *Reinke* с площадью орошения 192 га [17]. В ОАО «Фирма “Кадино”» эксплуатируется широкозахватная дождевальная машина фирмы *T-L* с площадью орошения 56 га.

Дождевальные машины барабанного типа представлены различными моделями, как зарубежными *Beinlich Monsun, Nettuno, Bauer, Irriland*, так и отечественными УД-2500, ПДМ-3000. В основном сезонная нагрузка на дождевальную машину барабанного типа не превышает 40 га [14, 18].

Таким образом, сезонная производительность дождевальной техники может изменяться в достаточно широком диапазоне в зависимости от культуры, типа почвы, погодно-климатических условий (оросительной нормы) и конкретных производственных ограничений.

Для упрощения расчетов выполним экономическую оценку качественного управления поливом для площади в 100 га на примере оросительного комплекса в ОАО «Фирма “Кадино”» Могилевской обл.

При качественном инструментальном управлении режимом орошения на каждые

10 га требуется не менее трех точек измерений влажности почвы [2, 3], и тогда исходные данные для расчетов будут следующими:

- размер орошаемой площади – 100 га;
- удаленность от базы организации – 5 км;
- количество выездов за май – август для отбора проб образцов почвы – 19;
- количество точек отбора образцов – 30.

Время отбора образцов почвы через каждые 10 см до глубины 50 см с одной позиции (точки), с учетом перемещений на следующую позицию (точку), составит в среднем 20 минут согласно хронометражу. Удаленность от автоматизированной метеостанции менее 5 км. В данном варианте будем считать, что все необходимое оборудование (табл. 1) в организации имеется и стоимость его приобретения не учитывается, однако учтём, что срок службы оборудования составляет 10 лет, а величину амортизации рассчитаем линейным способом.

В новом варианте мы используем разработанный нами алгоритм для расчета с высо-

ким уровнем вложений; он гарантирует максимальную точность управления поливом. В этом случае начальные влагозапасы определяются термостатно-весовым методом, метеоданные принимаются по ближайшей метеостанции (расстояние менее 5 км). В расчетах учтем, что для внесения суточных метеоданных в расчет водного баланса по предложенному нами алгоритму расчета и на определение сроков полива потребуется в среднем 15 минут. Выезд на объект предполагается на УАЗ 3741, расход топлива для данного автомобиля по техническому паспорту составляет 11,2 л на 100 км. Оплату заработной платы работника, определяющего сроки поливов, будем принимать исходя из ненормированного рабочего дня с почасовой оплатой. Из справочной литературы известно, что средняя стоимость 1 часа работы в сельском хозяйстве по итогам первого квартала 2022 г. составляла 6,3 руб. Рассмотренные варианты отражены в табл. 2.

Таблица 1. Используемое оборудование при определении влажности почвы термостатно-весовым методом

Наименование	шт.	Цена, руб. (на 01.06.2022)
Шкаф сушильный ШС-80-01-СПУ	1	1400
Бюксы алюминиевые с крышкой 30 x 40	450	1650
Бур почвенный АМ-26	1	1000
Весы лабораторные ВК-600	1	1400
Ящик для инструментов Deko DKTB30	1	80
Ноутбук ASUS E510MA-BR698	1	1075
Итого	–	6605

Таблица 2. Техничко-экономические показатели управления режимом орошения

Показатели	Ед. изм.	Варианты	
		Базовый	Новый
Срок службы оборудования	лет	10	10
Стоимость оборудования	руб.	6605	6605
Годовая норма амортизации	руб.	660,5	660,5
Оплата труда работника	руб./час	6,3	6,3
Затраты на однократное определение влагозапасов в почве термостатно-весовым методом на 100 га			
Затраты времени на отбор почвенных проб в одной контрольной точке (слой 0–50 см)	мин	20	20
Количество точек на 100 га	шт.	30	30
Затраты времени для отбора проб	час	10	10
Оплата электроэнергии (работа сушильного шкафа)	руб.	2,8	2,8
Затраты времени на взвешивание бюксов	час	6	6
Стоимость определения влажности	руб.	103,6	

Окончание табл. 2

Затраты за оросительный период (май – август, 100 га)			
Количество выездов	шт.	19	1
Расстояние до объекта	км	5	5
Затраты на топливо	руб.	52,35	2,76
Общая стоимость измерений влажности почвы инструментальным способом	руб.	1968,40	103,6
Затраты времени на расчет сроков полива	час	9,5	30,75
Оплата труда работника за обработку данных	руб.	59,85	193,73
Размер ежегодных затрат	руб.	2741,10	960,6
Экономия средств	руб.	–	1780,50

Проанализировав табл. 2, можно сделать вывод, что предложенный нами вариант управления режимом орошения позволяет ежегодно экономить 1780 руб. (в

Заключение

Затраты на получение исходной информации для управления режимом орошения в производственных условиях с помощью водобалансовых расчетов в значительной степени зависят от планируемой эффективности орошения, диктующей задаваемую точность расчета. Для уменьшения затрат на организацию и управление режимом орошения мы предлагаем использовать три варианта получения исходной информации:

1 вариант – получение постоянной и переменной исходной информации из открытых источников (затрат нет, низкая точность расчета);

2 вариант – получение постоянной информации на орошаемом объекте, а перемен-

расчете на 100 га). При использовании базового варианта управления режимом орошения потребуются штатная единица инженера-гидротехника на весь оросительный период.

ной – из открытых источников (средний уровень затрат, средняя точность);

3 вариант – получение постоянной и переменной информации на орошаемом объекте (максимальный уровень затрат, высокая точность расчета и максимальная эффективность орошения).

Сравнение эксплуатационных затрат на установление сроков полива сельскохозяйственных культур с помощью водобалансовых расчетов по предложенному нами алгоритму и с использованием термостатно-весового способа показало ежегодную экономию 1780 руб. в расчете на 100 га.

Библиографический список

1. Тищенко, А. П. Оперативное управление режимами орошения сельскохозяйственных культур по инструментальному методу / А. П. Тищенко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 1. – С. 17–23.
2. Афанасик, Г. И. Методические указания по определению водно-физических почвогрунтов мелиорируемых земель / Г. И. Афанасик, К. П. Лундин. – Минск : БелНИИМивХ, 1973. – 82 с.
3. Голченко, М. Г. Методические рекомендации по оперативному планированию режимов дождевания сельскохозяйственных культур на минеральных почвах Белорусской ССР / М. Г. Голченко, В. И. Вихров, О. А. Шавлинский. – Горки : Белсельхозакадемия, 1986. – 44 с.
4. Evett, S. R. Soil Water and Monitoring Technology / S. R. Evett // Irrigation of Agricultural Crops : in 2 ch. / American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, R. J. Lascano and R. E. Sojka (ed.). – 2nd ed., ch. 2. – Madison, WI, 2007. – P. 25–84. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr30.2ed.c2>
5. Берлинер, М. А. Измерение влажности / М. А. Берлинер. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва : Энергия, 1973. – 400 с.
6. Лысогоров, С. Д. Практикум по орошаемому земледелию / С. Д. Лысогоров, В. А. Ушкаренко. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 128 с.

7. Шадских, В. А. Выращивание сельскохозяйственных культур по заданной программе / В. А. Шадских, В. Е. Кижаяева // Вестн. Саратов. гос. агроун-та им. Н. И. Вавилова. – 2008. – № 8. – С. 46–49.
8. Панкова, Т. А. Определение влажности почвы для регулирования режима орошения сельскохозяйственных культур в условиях Саратовского Заволжья / Т. А. Панкова, А. Н. Руковичникова // Научн. жизнь. – 2013. – № 4. – С. 17–23.
9. Лихацевич, А. П. Управление режимом орошения сельскохозяйственных культур в условиях Беларуси / А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина, И. А. Романов // Мелиорация. – 2019. – № 2 (88). – С. 18–25.
10. Рекомендации по управлению дождеванием в производственных условиях, обеспечивающему за счет оперативности и повышения качества полива условия для получения максимальной прибыли от орошения сельскохозяйственных культур / А. С. Анженков, А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина [и др.] ; Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию; РУП «Институт мелиорации». – Минск : Институт мелиорации, 2020. – 40 с.
11. Лихацевич, А. П. Оценка влияния продолжительности расчетного интервала на точность водобалансового расчета при неустойчивых погодных условиях / А. П. Лихацевич, И. А. Романов // Мелиорация. – 2017. – № 2 (80). – С. 5–9.
12. Фактическая погода за последний срок наблюдения [Электронный ресурс] / Респ. центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей сред». – Режим доступа: <https://belgidromet.by/>. – Дата доступа: 03.09.2022.
13. Методика определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рацпредложений [Электронный ресурс] / АО «Информационная компания «Кодекс». – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/600208>. – Дата доступа: 12.09.2022.
14. Желязко, В. И. Применение мобильной барабанно-шланговой дождевальной установки *Bauer Rainstar T-61* в условиях Могилевской области : рекомендации / В. И. Желязко, В. М. Лукашевич. – Горки : УО «БГСХА», 2014. – 24 с.
15. Набздоров, С. В. Влияние пищевого режима, влаго- и теплообеспеченности вегетационных периодов на водопотребление сахарной свеклы / С. В. Набздоров // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2020. – № 4. – С. 135–142.
16. Дрозд, Д. А. Водопотребление и режим орошения сортов клевера лугового различных групп спелости / Д. А. Дрозд, Ю. В. Алехина // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2021. – № 3. – С. 201–206.
17. Латушкина, Г. В. Оценка эффективности орошения овощных культур в условиях Беларуси / Г. В. Латушкина, А. П. Лихацевич, А. С. Анженков // Мелиорация. – 2019. – № 4 (90). – С. 26–31.
18. Лихацевич, А. Орошение овощных культур в условиях Белоруссии / А. Лихацевич, Г. Латушкина // Овощеводство и теплич. хоз-во. – 2016. – № 5. – С. 46–47.

Поступила 21 ноября 2022 г.

ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЯ ВОДНОГО РЕЖИМА В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УРОЖАЙНОСТИ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

А. П. Лихацевич¹, доктор технических наук
Г. В. Латушкина¹, кандидат технических наук
А. А. Левкевич¹, младший научный сотрудник
А. В. Малышко², заведующий отделом минерального питания
М. Н. Титова², младший научный сотрудник

¹РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

²РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле», г. Несвиж, Беларусь

Аннотация

Проанализированы различные варианты представления показателя водного режима растений в математической модели урожайности сельскохозяйственных культур. Показано, что лучшим для условий Беларуси является использование в качестве данного показателя месячных сумм атмосферных осадков. Результаты анализа распределения урожайностей сахарной свеклы по 10-летним данным Щучинского госсортоучастка (сахарная свекла NZ-тип) подтвердили достаточно высокую точность математического моделирования. Коэффициент детерминации при сравнении измеренных и рассчитанных урожаев даже без учета атмосферных осадков составил 0,87. Учет водного фактора (атмосферных осадков) повысил данный коэффициент до 0,91. Моделирование связи урожайности сахарной свеклы с двумя урожаеформирующими факторами (пищевой режим и влага) позволило установить оптимальное распределение атмосферных осадков в течение вегетационного периода (май – сентябрь) с общей суммой за этот период 410 мм. По данным метеостанции «Щучин», наибольшее влияние на урожайность сахарной свеклы оказывают атмосферные осадки, выпадающие в начале вегетации (май – июнь).

Ключевые слова: математическое моделирование, факторы среды обитания растений, пищевой режим, увлажнение почвы, урожайность.

Abstract

**A. P. Likhachevich, G. V. Latushkina, A. A. Levkevich,
A. V. Malysenko, M. N. Titova**

SELECTION OF THE WATER REGIME INDICATOR IN THE MATHEMATICAL MODEL OF SUGAR BEET YIELD

Various variants of the representation of the indicator of the water regime of plants in the mathematical model of crop productivity have been analyzed. It is shown that it is most appropriate for the conditions of Belarus to use monthly precipitation amounts as this indicator. The results of checking the mathematical model of sugar beet yield according to the 10-year data of the Shchuchinsky State Export site (sugar beet of NZ-type) confirmed a sufficiently high accuracy of mathematical modeling. The coefficient of determination when comparing the measured and calculated yields, even without taking into account precipitation, was 0,87. Taking into account the water factor (precipitation) increased this coefficient to 0,91. Modeling the relationship of sugar beet yields with two crop-forming factors (food and moisture) allowed us to establish the optimal distribution of precipitation during the growing season (May - September) with a total amount of 410 mm for this period. According to the Shchuchin weather station, it was found that precipitation falling at the beginning of the growing season (May – June) has the greatest impact on the yield of sugar beet.

Keywords: mathematical modeling, factors of plant habitat, food regime, soil humidification, crop.

Введение

В Беларуси и за рубежом опубликовано много работ с математическим представлением результатов аграрных опытов, направленных на установление взаимосвязи между урожайностью и урожаеформирующими факторами [1–5]. Из-за отсутствия единой методики обработки опытных данных формы предлагаемых эмпирических зависимостей

выбирались в виде полиномов совершенно произвольно и зависели в основном от предпочтений их авторов. Полученные с помощью программ *Excel* такие эмпирические формулы иногда неправомерно назывались «математическими моделями», хотя обобщающих выводов, кроме подтверждения наличия взаимосвязи между рассматриваемыми

показателями, по ним сделать весьма сложно. Согласимся, что эти полиномы «...при любом коэффициенте детерминации не являются действительными моделями урожайности, поскольку не имеют физического смысла, а представляют собой лишь формальное сглаживание данных конкретного эксперимента» [6].

В качестве теоретической основы моделирования урожая сельскохозяйственных культур нами предложена универсальная методика обработки данных агрономических опытов, основанная на физическом принципе баланса причинно-следственных взаимодействий в замкнутой физической системе. На основе использования данного фундаментального принципа и известных абсолютных законов земледелия (равнозначности и незаменимости, минимума, совокупного действия факторов окружающей среды) нами разработана математическая модель урожайности сельскохозяйственной культуры, которая в простейшей интерпретации имеет форму параболы [7]:

$$\frac{Y}{Y_{\max}} = \prod_{i=1}^n \left[1 - a_i \left(\frac{f_{\text{opt}_i} - f_i}{f_{\text{opt}_i} - f_{\text{min/max}_i}} \right)^2 \right], \quad (1)$$

где Y – фактический урожай культуры;

Y_{\max} – максимальный урожай культуры, достижимый только при оптимальных значениях всех учитываемых факторов среды;

Π – знак последовательного произведения функций (от $i = 1$ до $i = n$);

n – число учитываемых в расчете факторов, влияющих на урожай;

f_{opt_i} – оптимальная величина i -го фактора;

Моделирование урожаев сельскохозяйственных культур

Согласно результатам многолетних исследований в Беларуси по биологической эффективности воздействия на урожай на первом месте находится уровень питания, на втором – почвенная влага, на третьем – тепло [7]. Модель (1) допускает учет влияния на урожайность любого числа независимых факторов. Вместе с тем расчеты показали, что даже снижение числа учитываемых урожайформирующих факторов с трех (питательный режим, влага, тепло) до двух (питательный режим, влага) снижает точность расчета по (1) несущественно [7]. Поэтому считаем допустимым

a_i – коэффициент, характеризующий степень влияния i -го урожайформирующего фактора на урожай;

f_i – фактическая величина i -го фактора;

$f_{\text{min/max}_i}$ – условный минимум (или максимум) i -го фактора, при котором формирования урожая не происходит.

Формула (1) является математической моделью урожая в области его возрастания в диапазоне $(0,3-1,0)Y_{\max}$ [7]. Урожайность является функцией урожайформирующих факторов (f_i), которые не могут быть меньше/больше $f_{\text{min/max}_i}$. Ограничения области применения данной формулы объясняются упрощением до формы параболы более сложной математической модели урожайности сельскохозяйственных культур, соответствующей фактическому распределению урожаев в критических условиях. В области $Y < 0,3Y_{\max}$ модель (1) просто не работает.

Для использования предложенной формулы в практических расчетах достаточно знать три опорные характеристики модели урожайности: максимальную урожайность (Y_{\max}), оптимальные (f_{opt_i}) и минимальные или максимальные значения i -го урожайформирующего фактора ($f_{\text{min/max}_i}$).

Исходные положения, использованные нами при теоретических построениях, не связаны с какими-либо ограничениями. Поэтому математическая модель урожая, представленная в виде криволинейной функции (1), справедлива в указанной области применения для любой сельскохозяйственной культуры в любых условиях ее возделывания, в том числе и для сахарной свеклы в условиях Беларуси.

рассмотрение на первом этапе только двухфакторного эксперимента с сахарной свеклой, при котором, согласно (1), будет обоснована следующая форма математической модели урожайности:

$$\frac{Y}{Y_{2(\max)}} = \left[1 - a_F \left(\frac{F_{\text{opt}} - F}{F_{\text{opt}} - F_{\text{min}}} \right)^2 \right] \times \left[1 - a_S \left(\frac{S_{\text{opt}} - S}{S_{\text{opt}} - S_{\text{min(max)}}} \right)^2 \right], \quad (2)$$

где $Y_{2(\max)}$ – максимум урожая, полученный при учете 2 урожаеформирующих факторов среды обитания растений;

F, S – показатели, характеризующие соответственно пищевой и водный режимы сельскохозяйственной культуры;

a_F, a_S – безразмерные коэффициенты, характеризующие соответственно степень влияния пищевого режима и влаги на урожай;

$F_{\text{opt}}, S_{\text{opt}}$ – оптимальные количества пищевого и водного факторов, при которых достигается максимум урожая;

$F_{\text{min}}, S_{\text{min/max}}$ – граничные показатели, при которых урожай не формируется.

Опорные показатели модели урожайности ($Y_{2(\max)}, a_F, a_S, F_{\text{opt}}, S_{\text{opt}}, F_{\text{min}}, S_{\text{min/max}}$) определяются методом подбора с использованием данных (Y, F, S) за многолетний период. Метод подбора опорных показателей математической модели урожая состоит в повторении вычислений по формуле (2) при разных опорных показателях до минимизации средних квадратичных отклонений урожаев, вычисленных по (2), от урожаев, измеренных в поле, и реализуется по схеме:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (Y_i - Y_{\text{изм.}i})^2}{n-1}} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где δ – среднее квадратичное отклонение урожаев, вычисленных по формуле (2), от урожаев, измеренных в поле за n -летие;

Y_i – урожай, вычисленный по формуле (2) для условий i -го года;

Показатели водного режима растений

Показатели водного режима растений в научной литературе существенно различаются. Например, В. А. Сиников в качестве основного показателя выбрал водопотребление растений. В результате анализа зависимостей урожайности от влагообеспеченности он получил расчетную зависимость [10]:

$$Y = Y_{\max} \left[1 - \left(\frac{E_{\max} - E}{E_{\max} - E_{\text{кр}}} \right)^2 \right], \quad (4)$$

где $E, E_{\max}, E_{\text{кр}}$ – водопотребление, соответствующее текущей (фактической), максимальной и нулевой урожайности.

$Y_{\text{изм.}i}$ – фактический урожай, полученный в поле в условиях i -го года;

i – порядковый номер года в многолетии;

n – количество лет в расчетном ряду.

Анализ многочисленных публикаций показал, что выбор показателей, необходимых для наполнения цифровой информацией вышеприведенной математической модели урожая (2), не является тривиальной задачей. Так, исследователи, работавшие с разными культурами (огурцы, сладкий перец, баклажаны, рассадный лук, озимая тритикале, ячмень), предлагали в качестве показателя пищевого режима различные варианты. Например, использовалась доза внесения только азотных удобрений [4, 5, 8, 9]; расчеты велись и по суммарной дозе вносимых макроудобрений (NPK) [1–3]. Также успешно применялась суммарная доза питательных веществ, как содержащихся в почве, так и вносимых с минеральными удобрениями [9].

Оказалось, что при соблюдении ограничений по схеме опыта и его продолжительности можно вести расчет урожайности с использованием каждого из вышепредложенных показателей пищевого режима. Главное условие состоит в том, чтобы полевой агрономический опыт, имеющий целью установление зависимости урожая культуры от урожаеформирующих факторов, включал не менее 4 вариантов уровней питания с продолжительностью исследований не менее 4 лет. Только в этом случае при обработке полученных результатов можно корректно и эффективно использовать математическое моделирование [7].

В своих расчетах В. А. Сиников подтвердил справедливость формулы (4) ссылкой на результаты полевых исследований, выполненных в Киргизии и на Северном Кавказе и включавших около 200 экспериментальных точек с разными культурами. Коэффициент корреляции превысил 0,8.

В условиях орошения неоднократно предлагалось использовать в качестве показателя водного режима предполивную влажность почвы [1–5]. Н. Н. Семенов, анализируя результаты полевых опытов, оперировал в качестве такого показателя продуктивными влаго-

запасами почвы [11]. В наших исследованиях в качестве показателя водного режима растений использовалась сумма атмосферных осадков, выпадающих за активный период вегетации [7]. При этом мы ссылались на исследование, автор которого отмечал определяющее влияние температуры воздуха и атмосферных осадков на формирование урожая основных зерновых культур [12].

Рассмотрим данный вопрос с позиции водного баланса сельскохозяйственного поля. Обратимся к водному балансу почвы:

$$W_K = W_H + \alpha S - E + G, \quad (5)$$

где W_K – почвенные влагозапасы в корнеобитаемом слое почвы в конце расчетного интервала;

W_H – почвенные влагозапасы в корнеобитаемом слое почвы в начале расчетного интервала;

α – коэффициент, учитывающий использование растениями выпадающих атмосферных осадков (потери на поверхностный и внутрипочвенный стоки за расчетный интервал);

E – суммарное испарение (эвапотранспирация) возделываемой культуры (потребление почвенной влаги из корнеобитаемого слоя почвы на транспирацию и эвапорацию за расчетный интервал);

G – подпитка корнеобитаемого слоя почвы влагой из нижележащих почвенных слоев за расчетный интервал.

Если учесть, что на автоморфных почвах подпиткой (G) можно пренебречь, водный баланс растений можно записать в более простой форме:

$$E = \Delta W + \alpha S, \quad (6)$$

где ΔW – изменение влагозапасов в корнеобитаемом слое почвы за расчетный интервал времени:

$$\Delta W = W_H - W_K. \quad (7)$$

Если расчетный интервал достаточно продолжителен, в условиях Беларуси будет соблюдено приближительное равенство:

$$W_H \approx W_K. \quad (8)$$

Следовательно,

$$E \approx \alpha S. \quad (9)$$

С учетом (8) и (9) из формулы В. А. Синикова (3) получим выражение, в котором фигурируют только атмосферные осадки:

$$Y \approx Y_{\max} \left[1 - \left(\frac{S_{\text{opt}} - S}{S_{\text{opt}} - S_{\text{min/max}}} \right)^2 \right]. \quad (10)$$

Таким образом, можем отметить, что каждый из составных элементов водного режима растений (5) может быть показателем в математической модели урожайности сельскохозяйственной культуры. Все зависит от условий конкретного опыта. Например, в орошаемом земледелии вполне приемлемо использование для этой цели предполивной влажности почвы, что показано выше. Но для сельскохозяйственных культур, возделываемых в Беларуси, наиболее удобно в качестве показателя водного режима растений принять атмосферные осадки. Если рассматривать водный баланс (5) с позиций причинно-следственных связей, то именно атмосферные осадки формируют как режим почвенных влагозапасов, так и режим водопотребления растений. Кроме того, достоинство данного показателя заключается в простоте его измерения и доступности получения соответствующей информации.

Оценка математической модели урожайности сахарной свеклы с использованием данных Щучинского ГСУ и метеостанции «Щучин»

В базу данных включены суммы атмосферных осадков за месяцы вегетации по метеостанции «Щучин» (табл. 1). Для реализации математической модели урожайности сахарной свеклы (гибрид NZ-тип) использованы данные Щучинского госсортоучастка (ГСУ) (табл. 2). Его выбор основан на близости размещения метеостанции «Щучин» от Щучинского ГСУ, что повышает достоверность базы данных относительно участка возделывания сахарной свеклы.

Обеспеченность растений питанием характеризуется суммарным уровнем питания растений, включающим элементы, содержащиеся в почве и вносимые с удобрениями. Такой выбор обусловлен отсутствием различий в дозах вносимых удобрений под сахарную свеклу по годам (табл. 2).

Таблица 1. Атмосферные осадки по данным метеостанции «Щучин»

№ п/п	Год	Урожай, т/га	N _п P _п K _п + NPK, кг д. в./га	Сумма атмосферных осадков за месяц, мм					Сумма атмосферных осадков за периоды, мм				
				V	VI	VII	VIII	IX	V-VI	V-VII	V-VIII	V-IX	
1	2011	88,5	4428	65,2	56,0	135,1	54,5	45,3	121,2	256,3	310,8	356,1	
2	2012	86,5	4368	51,8	96,0	72,3	80,3	14,2	147,8	220,1	300,4	314,6	
3	2013	77	4341	85,9	129,1	56,8	49,7	99,8	215,0	271,8	321,5	421,3	
4	2014	67,9	4140	97,4	25,6	57,0	125,0	49,0	123,0	180,0	305,0	354,0	
5	2015	64,2	4140	61,0	25,0	91,0	2,0	48,0	86,0	177,0	179,0	227,0	
6	2016	67,6	4140	29,0	29,0	115,0	46,0	17,0	58,0	173,0	219,0	236,0	
7	2017	66,6	4140	25,0	96,0	114,0	59,0	76,0	121,0	235,0	294,0	370,0	
8	2018	77,4	4227	15,0	47,0	206,0	49,0	58,0	62,0	268,0	317,0	375,0	
9	2019	59,3	4053	48,0	39,0	65,0	118,0	57,0	87,0	152,0	270,0	327,0	
10	2020	57,2	4053	80,4	107,3	43,4	80,1	20,0	187,7	231,1	311,2	331,2	
Среднее за 2011–2020 гг.				56	65	96	66	48	121	216	283	331	

Таблица 2. Характеристика почвы Щучинского госсортоучастка по обеспеченности сахарной свеклы питанием

№ п/п	Год	Урожай т/га	Агрохимические показатели почвы				Содержание в почве					Внесено					N _п P _п K _п + NPK кг д. в./га
			pH	Гумус (ОВ)	P ₂ O ₅	K ₂ O	N _п	P _п	K _п	N _п P _п K _п	N	P	K	NPK			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1	2011	88,5	5,2	1,49	428	223	2235	1284	669	4188	60	60	120	240	4428		
2	2012	86,5	5,2	1,45	428	223	2175	1284	669	4128	60	60	120	240	4368		
3	2013	77,0	5,2	1,45	428	214	2175	1284	642	4101	60	60	120	240	4341		
4	2014	67,9	5,1	1,35	415	210	2025	1245	630	3900	60	60	120	240	4140		
5	2015	64,2	5,1	1,35	415	210	2025	1245	630	3900	60	60	120	240	4140		
6	2016	67,6	5,1	1,35	415	210	2025	1245	630	3900	60	60	120	240	4140		
7	2017	66,6	5,1	1,35	415	210	2025	1245	630	3900	60	60	120	240	4140		
8	2018	77,4	5,2	1,50	435	224	2250	1305	672	4227	60	60	120	240	4467		
9	2019	59,3	5,1	1,28	425	206	1920	1275	618	3813	60	60	120	240	4053		
10	2020	57,2	5,1	1,28	425	206	1920	1275	618	3813	60	60	120	240	4053		
Среднее		71,2	5,14	1,39	423	214	2078	1269	640,8	3987	60	60	120	240	4227		

Установленные на участке возделывания сахарной свеклы значения содержания в почве гумуса (N_p , %), фосфора (P_p , мг/кг) и калия (K_p , мг/кг) по стандартной методике в РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле» (г. Несвиж) переведены в размерность содержания действующих веществ на одном гектаре ($N_p P_p K_p$, кг д. в./га). Для оценки влияния на урожайность сахарной свеклы только содержания питательных элементов в почве и доз вносимых удобрений использован упрощенный вариант математической модели урожайности сахарной свеклы:

$$\frac{Y}{Y_{2(\max)}} = \left[1 - \left(\frac{F_{opt} - F}{F_{opt} - F_{min}} \right)^2 \right]. \quad (11)$$

Путем многократного повторения вычислений подобраны опорные показатели элементарной модели (11) до выполнения условия (3) (табл. 3), и по ним рассчитана урожайность сахарной свеклы по суммарному содержанию питательных элементов в почве ($N_p P_p K_p$) и до-

зам вносимых удобрений (NPK) для каждого года (табл. 4).

Таблица 3. **Опорные показатели элементарной модели урожайности (11)**

Опорные показатели модели	Значения опорных показателей
Y_{max} , т/га	89,0
$(N_p P_p K_p + NPK)_{opt}$, кг д. в./га	4700
$(N_p P_p K_p + NPK)_{min}$, кг д. в./га	3600
δ , т/га	3,835
R^2	0,873

На рис. 1 приведено сопоставление измеренных в поле и вычисленных по упрощенной схеме (11) урожайностей сахарной свеклы.

Как свидетельствуют данные Щучинского ГСУ, уровень питания сахарной свеклы (NZ-тип) приблизительно на 87 % определяет ее урожайность при среднеквадратичном отклонении (ошибке) расчета $\delta = 3,84$ т/га и соответствующем коэффициенте детерминации $R^2 = 0,873$ (табл. 4, рис. 1).

Таблица 4. **Расчет урожайностей сахарной свеклы по опорным показателям модели (11)**

№ п/п	Год	Урожай Y , т/га	В почве $N_p P_p K_p$	Внесено NPK	Всего $N_p P_p K_p + NPK$	Расчет Y по (11)	$\Delta Y_i = Y_i - Y_{изм.}$	$(\Delta Y_i)^2$
1	2011	88,5	4188	240	4428	83,6	-4,94	24,4
2	2012	86,5	4128	240	4368	80,9	-5,61	31,4
3	2013	77	4101	240	4341	79,5	2,52	6,4
4	2014	67,9	3900	240	4140	65,9	-1,97	3,9
5	2015	64,2	3900	240	4140	65,9	1,73	3,0
6	2016	67,6	3900	240	4140	65,9	-1,67	2,8
7	2017	66,6	3900	240	4140	65,9	-0,67	0,4
8	2018	77,4	4227	240	4467	85,0	7,61	57,9
9	2019	59,3	3813	240	4053	58,2	-1,09	1,2
10	2020	57,2	3813	240	4053	58,2	1,01	1,0
	Среднее	71,2	3987	240	4227	Сумма	-3,07	132,4
				Среднеквадратичное отклонение δ , т/га				3,84
				В % от средней урожайности 2011–2020 гг.: δ , %				5,4

Таблица 5. **Опорные показатели модели (2) по данным Щучинского ГСУ и метеостанции «Щучин»**

Показатели	Периоды учета атмосферных осадков				
	V	V–VI	V–VII	V–VIII	V–IX
Y_{max} , т/га	92	92	92	92	92
Дозы (opt), кг д. в./га	4700	4700	4700	4700	4700
Дозы (min), кг д. в./га	3600	3600	3600	3600	3600
Осадки (opt), мм	60	140	260	350	410
Осадки (max), мм	200	450	700	900	1100
δ , т/га	2,94	2,14	3,54	3,28	3,69
R^2	0,918	0,963	0,894	0,906	0,883

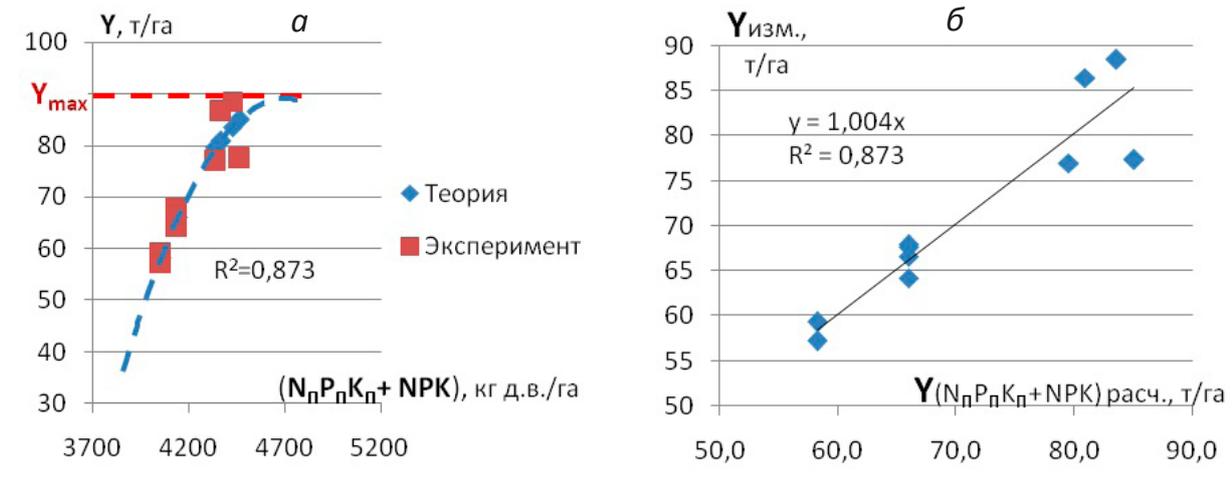


Рис. 1. Результаты расчета урожайности сахарной свеклы по упрощенной схеме (11):
 а – зависимость от суммарного питания;
 б – сопоставление расчетных и измеренных урожайностей

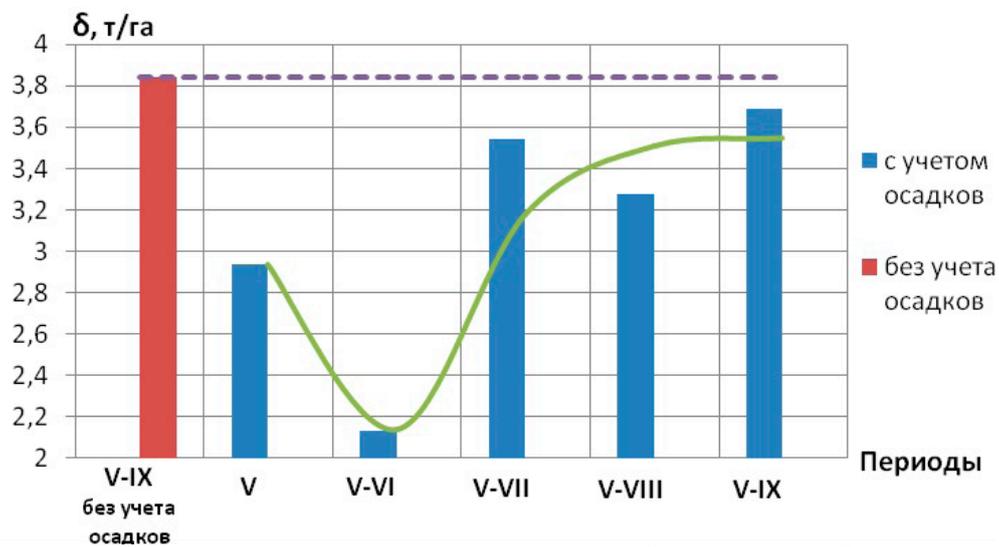


Рис. 2. Среднеквадратичные отклонения расчета урожайности сахарной свеклы по (2) при совместном учете уровня питания и атмосферных осадков за фиксированные периоды

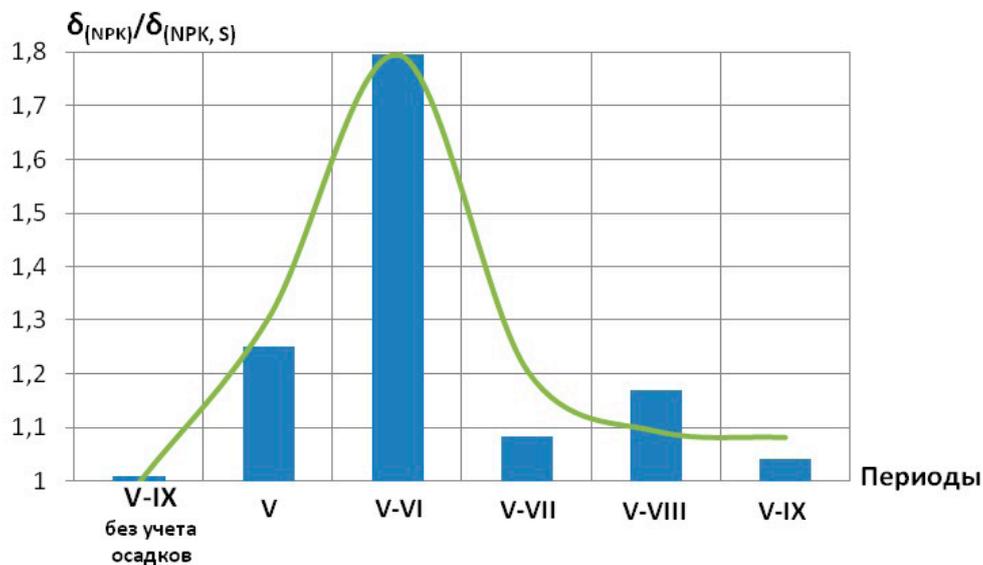


Рис. 3. Повышение точности расчета урожайности сахарной свеклы при совместном учете уровня питания и атмосферных осадков

Таблица 6. Реализация математической модели урожайности сахарной свеклы (2) по данным Щучинского ГСУ при совместном учете уровня питания и атмосферных осадков

№ п/п	Год	Y, т/га	Всего N _г , P _г , K _г + + NPK	Сумма осадков за месяцы, мм									V			V-VI			V-VII			V-VIII			V-IX		
				V	V-VI	V-VII	V-VIII	V-IX	Y _i	ΔY _i	(ΔY _i) ²	Y _i	ΔY _i	(ΔY _i) ²	Y _i	ΔY _i	(ΔY _i) ²	Y _i	ΔY _i	(ΔY _i) ²	Y _i	ΔY _i	(ΔY _i) ²				
1	2	3	6	7	8	9	10	11	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26			
1	2011	88,5	4428	65,2	121,2	256,3	310,8	356,1	356,1	86,3	-2,2	5	86,1	-2,4	6	86,4	-2,1	5	85,9	-2,6	7	85,8	-2,7	7			
2	2012	86,5	4368	51,8	147,8	220,1	300,4	314,6	314,6	83,3	-3,2	10,0	83,6	-2,9	8,6	82,9	-3,6	13	82,9	-3,6	13	82,0	-4,5	20			
3	2013	77,0	4341	85,9	215,0	271,8	321,5	421,3	421,3	79,4	2,4	6	77,4	0,4	0,2	82,1	5,1	26	82,0	5,0	24,8	82,2	5,2	27			
4	2014	67,9	4140	97,4	123,0	180,0	305,0	354,0	354,0	63,3	-4,6	21,2	68,0	0,1	0,0	65,9	-2,0	4,0	67,7	-0,2	0,0	67,7	-0,2	0,0			
5	2015	64,2	4140	61,0	86,0	177,0	179,0	227,0	227,0	68,2	4,0	15,6	66,1	1,9	4	65,7	1,5	2,3	61,6	-2,6	6,9	63,4	-0,8	0,7			
6	2016	67,6	4140	29,0	58,0	173,0	219,0	236,0	236,0	64,8	-2,8	7,8	63,4	-4,2	17,7	65,5	-2,1	4	64,3	-3,3	11,0	63,8	-3,8	14,3			
7	2017	66,6	4140	25,0	121,0	235,0	294,0	370,0	370,0	63,9	-2,7	7,3	67,9	1,3	1,7	67,9	1,3	1,8	67,4	0,8	0,7	67,9	1,3	1,8			
8	2018	77,4	4467	15,0	35,0	166,0	215,0	270,0	270,0	78,8	1,4	2	77,8	0,4	0,2	83,9	6,5	42	82,6	5,2	27	84,3	6,9	47			
9	2019	59,3	4053	48,0	87,0	152,0	270,0	327,0	327,0	59,7	0,4	0,2	58,4	-0,9	0,8	56,5	-2,8	7,6	58,9	-0,4	0	59,3	0,0	0			
10	2020	57,2	4053	80,4	187,7	231,1	311,2	331,2	331,2	58,9	1,7	2,9	58,7	1,5	2,4	59,9	2,7	7	59,9	2,7	7	59,4	2,2	5			
Среднее		71,2	-	-	-	-	-	-	-	Сумма	-5,7	78	-	-4,9	41	-	4,6	113	-	1,0	97	-	3,6	122			
		-	-	Среднеквадратичное отклонение δ, т/га									2,94	-	2,14	-	-	3,54	-	-	3,28	-	-	3,69			
		-	-	В % от средней урожайности 2011–2020 гг.: δ, %									4,1	-	3,0	-	-	5,0	-	-	4,6	-	-	5,2			

Таблица 7. Сравнение оптимального и фактического распределений сумм атмосферных осадков по месяцам вегетации сахарной свеклы

Участок	Атмосферные осадки	Распределение по месяцам, мм									Сумма, мм
		V	VI	VII	VIII	IX					
Щучинский ГСУ	Оптимальные	60	80	120	90	60	410				
	Средние за 2011–2020 гг.	56	65	96	66	48	331				
	Недостаток средних до оптимума	4	15	24	24	12	79				

Следующим этапом проверки работоспособности математической модели урожайности сахарной свеклы (2) является совместный учет уровня питания и атмосферных осадков. В табл. 5 приведены опорные показатели модели (2), связывающей урожайность сахарной свеклы с содержанием питательных элементов в почве, дозами вносимых удобрений (данные Щучинского ГСУ) и атмосферными осадками, выпавшими в период вегетации сахарной свеклы при $a_F = 1$ и $a_S = 1$.

На рис. 2 приведена диаграмма, которая показывает снижение среднеквадратичных отклонений расчета по периодам учета атмосферных осадков.

Результаты расчета по установленным опорным показателям модели (2) приведены в табл. 6.

Повышение точности расчета урожайности сахарной свеклы при совместном учете уровня питания и атмосферных осадков можно количественно определить, разделив среднеквадратичные отклонения, полученные по формуле (11), на среднеквадратичные отклонения расчета, вычисленные по формуле (2) при $a_F = 1$ и $a_S = 1$. На рис. 3 приведены гра-

фики, характеризующие повышение точности модели (2) по отношению к модели (11).

Из данных табл. 5 можно получить оптимальное помесечное распределение атмосферных осадков для сахарной свеклы в Щучинском ГСУ. В табл. 7 представлено сравнение оптимального и фактического распределений сумм атмосферных осадков по месяцам вегетации сахарной свеклы, возделываемой на Щучинском ГСУ.

Как видим, в среднем за многолетие в Щучине наблюдался дефицит влаги, снижающий урожайность сахарной свеклы.

Из полученных данных следует еще один вывод, который связан с особенностями формулы (2): с увеличением числа урожаеформирующих факторов, учитываемых моделью, максимальная урожайность (Y_{max}) возрастает (табл. 3, 5). Кроме того, заметим, что увеличение числа урожаеформирующих факторов, учитываемых моделью, практически не влияет на величину других опорных показателей математической модели урожая сахарной свеклы – оптимального уровня питания (NPK_{opt}) и его минимума (NPK_{min}).

Выводы

1. Результаты расчетов урожайностей по данным Щучинского госсортоучастка подтверждают достаточно высокую точность предложенной математической модели урожайности сахарной свеклы. Коэффициент детерминации (R^2) при сравнении измеренных и рассчитанных урожаев без учета атмосферных осадков составляет 0,873.

2. По данным метеостанции Щучин, наибольшее влияние на урожайность сахарной свеклы оказывают атмосферные осадки, выпадающие в начале вегетации (май – июнь). Учет водного факта повышает достоверность математической модели урожайности сахарной свеклы с $R^2 = 0,87$ до $R^2 = 0,91$. При этом

возрастает величина максимальной (потенциально достижимой) урожайности (Y_{max}) испытываемого гибрида сахарной свеклы (с 89 до 92 т/га) и снижается среднеквадратичное отклонение с $\delta = 3,8$ до $\delta = 3,3$ т/га.

3. Моделирование связи урожайности сахарной свеклы с двумя урожаеформирующими факторами (пищевой режим и влага) позволило установить оптимальное распределение атмосферных осадков в течение вегетационного периода (май – сентябрь) с общей суммой за этот период 410 мм. Расчеты показали, что в среднем за десятилетие в Щучине наблюдался дефицит влаги, снижающий урожайность сахарной свеклы.

Библиографический список

1. Акулинина, М. А. Капельное орошение огурца в сухостепной зоне светло-каштановых почв Нижнего Поволжья : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.02 / М. А. Акулинина ; Волгоград. комплекс. отд. ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова» Рос. с.-х. акад. – Волгоград, 2010. – 23 с.

2. Овчинников, А. С. Урожайность сладкого перца при капельном орошении / А. С. Овчинников, О. В. Бочарникова, Т. В. Пантюшина // Мелиорация и вод. хоз-во. – 2007. – № 2. – С. 45–47.
3. Давыдов, И. А. Дифференцированный режим орошения и водопотребления баклажана в условиях Волго-Донского междуречья : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.02 / И. А. Давыдов ; ФГОУ ВПО «Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия». – Волгоград, 2009. – 23 с.
4. Шенцева, Е. В. Совершенствование агротехники выращивания баклажан при капельном орошении с использованием тоннельных укрытий для получения ранней продукции : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01, 06.01.02 / Е. В. Шенцева ; Волгоград. фил. ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова» Рос. с.-х. акад. – Саратов, 2012. – 23 с.
5. Богданенко, М. П. Технология возделывания рассадного лука при капельном орошении в Нижнем Поволжье : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01, 06.01.02 / М. П. Богданенко ; Волгоград. ф-л ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова» Рос. с.-х. акад. – Саратов, 2012. – 24 с.
6. Вахонин, Н. К. Моделирование урожаев в системе точного земледелия / Н. К. Вахонин // Мелиорация. – 2015. – № 1 (73). – С. 131–136.
7. Лихацевич, А. П. Математическая модель урожая сельскохозяйственных культур / А. П. Лихацевич. // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, № 3. – С. 304–318. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-3-304-318>
8. Лихацевич, А. П. Использование обобщенной математической модели для анализа результатов многофакторных агрономических опытов // Мелиорация и вод. хоз-во. – 2018. – № 1. – С. 19–23; № 2. – С. 31–35.
9. Лихацевич, А. П. Модель влияния регулируемых факторов окружающей среды на урожай сельскохозяйственных культур / А. П. Лихацевич // Мелиорация переувлажн. земель. – 2004. – № 2 (52). – С. 123–143.
10. Сиников, В. А. Результаты анализа некоторых зависимостей урожайности от влагообеспеченности / В. А. Сиников // Обоснование норм водопотребности в орошаемом земледелии : тез. докл. Всесоюз. науч.-практ. конф. ; Днепрпетров. управление мелиорации. – Днепрпетровск, 1989. – С. 49–53.
11. Семененко, Н. Н. Торфяно-болотные почвы Полесья: трансформация и пути эффективного использования / Н. Н. Семененко. – Минск : Беларус. навука, 2015. – 282 с.
12. Дмитренко, В. П. Оценка влияния температуры воздуха и осадков на формирование урожая основных зерновых культур : метод. пособие / В. П. Дмитренко. – Л. : Гидрометеоиздат, 1976. – 49 с.

Поступила 13 декабря 2022 г.

● НАШИ ЮБИЛЯРЫ ●



ТАМАРА ГРИГОРЬЕВНА СВИРИДОВИЧ (к 70-летию)

Тамара Григорьевна Свиридович родилась 27 октября 1952 г. в Ворошиловградской (ныне – Луганской) обл. в г. Краснодон. В 1972 г. окончила Ворошиловградский политехнический техникум сельского хозяйства по специальности «Гидромелиорация», а в 1981 г. – гидромелиоративный факультет Белорусской сельскохозяйственной академии, где получила специальность инженера-гидротехника.

С 1972 г. Тамара Григорьевна плодотворно трудится в Институте мелиорации: вначале техником, затем старшим техником, инженером в лаборатории эксплуатации мелиоративных систем; с 1984 г. – младшим, затем старшим научным сотрудником в лаборатории механизации эксплуатационных работ. В 1999 г., после защиты диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук (тема – «Технология укрепления русловой части каналов армированными коврами»), она становится ведущим научным сотрудником научно-организационной группы, с 2001 г. – ученым секретарем института.

За период работы в нашем институте Т. Г. Свиридович опубликовала около 90 научных работ, в том числе 7 рекомендаций, пособий по вопросам разработки новых энергосберегающих технологий крепления откосов каналов, плотин и дамб биологическими способами: гидропосевом трав и непроросшими травяными коврами. Получила 3 авторских свидетельства на изобретения и 2 патента Республики Беларусь.

Тамара Григорьевна принимает активное участие в общественной жизни института; продолжительное время являлась руководителем профсоюзной организации РУП «Институт мелиорации».

Награждена серебряными медалями ВДНХ СССР, Почетными грамотами Минского горкома профсоюза работников агропромышленного комплекса, Республиканского комитета профсоюза работников Национальной академии наук Беларуси, дипломами ВДНХ БССР, Почетными грамотами института. В 2017 г. Т. Г. Свиридович объявлена благодарностью Председателя Президиума НАН Беларуси.

Тамара Григорьевна как ученый секретарь осуществляет важнейшую функцию коммуникации с вышестоящими научными организациями, контролирует своевременность выполнения профильных работ и заведует аспирантурой института, внося свой вклад в его стабильную и успешную работу.

Коллектив РУП «Институт мелиорации» искренне поздравляет Тамару Григорьевну с юбилеем, желает ей крепкого здоровья, благополучия, бодрости и осуществления всех планов.

• ЧТОБЫ ПОМНИЛИ •



ПАМЯТИ ПЕТРА КОНСТАНТИНОВИЧА ЧЕРНИКА

Ушел из жизни талантливый ученый и практик Петр Константинович Черник, чьи труды в области мелиорации и гидротехнического строительства внесли весомый вклад в развитие мелиоративной отрасли как Республики Беларусь, так и республик Советского Союза.

В годы своей работы в Институте мелиорации Петр Константинович успешно разрабатывал конструкции, методы расчета динамики урожайности сельскохозяйственных культур и технологии строительства гидромелиоративных сооружений в сложных инженерно-геологических условиях. Он опубликовал 135 научных работ, в том числе 16 рекомендаций, руководств, нормативных документов, им также получены авторские свидетельства на изобретения и патенты Республики Беларусь (всего 10). Основные направления научной деятельности П. К. Черника связаны с разработкой конструкций, методов расчета и технологий строительства гидротехнических сооружений в сложных инженерно-геологических условиях, методов расчета показателей агрофизических свойств органогенных почв, технологий силосования многолетних трав и методов расчета параметров для управления этим процессом. Петр Константинович принимал активное участие в проектировании сложных гидротехнических объектов республиканского значения, разработке нормативных документов для мелиоративного и водохозяйственного строительства. Много внимания уделял формированию научных кадров: им подготовлено 8 кандидатов наук. Вклад П. К. Черника в развитие мелиоративной науки отмечен множеством престижных наград, он удостоен высокого звания «Заслуженный мелиоратор Республики Беларусь».

За 10 лет работы в РУП «Белгипроводхоз» П. К. Черник стал специалистом высокого профессионального уровня. Его подход к решению сложных, неординарных вопросов, касающихся прочностных характеристик грунтов, отличается смелостью, основанной на высочайшем профессионализме, получившем признание далеко за пределами Беларуси. Например, во время посещения Нидерландов специалисты мелиоративных организаций Республики Беларусь узнали, что и в этой стране строительство сооружений на слабых основаниях (торфах) ведется с использованием рекомендаций и теоретическо-расчетной базы, разработанной П. К. Черником.

Коллеги помнят Петра Константиновича как специалиста высочайшего профессионального уровня и человека, обладавшего редким даром находить общий язык с людьми самых разных профессий и возрастов, снискавшего заслуженное уважение коллег и учеников.

Уход из жизни Петра Константиновича Черника – невосполнимая утрата для мелиоративной отрасли. Коллектив Института мелиорации глубоко скорбит в связи с кончиной Петра Константиновича и навсегда сохранит добрую память об этом замечательном человеке. Мы выражаем глубочайшие соболезнования его родным и близким.



НИКОЛАЙ КУЗЬМИЧ СЕРГИЕВСКИЙ (к 120-летию)

Николай Кузьмич Сергиевский родился 15 декабря 1902 г. в Черниговской обл. (г. Мена). В 1925 г. окончил агрономический факультет Черниговского сельскохозяйственного института, получив специальность агронома.

Трудовую деятельность начал сразу по окончании института агрономом Агропрома (Прилукский р-н Черниговской обл.). В 1926–1928 гг. служил в Красной Армии в Первом кавалерийском полку в г. Проскуров. В 1928–1938 гг. работал специалистом по культуре болот на опытных болотных полях Украинского НИИ гидротехники, учился в аспирантуре Всесоюзного НИИ болотного хозяйства (1938–1941), был директором Минской болотной станции (1944–1945). В течение 1945–1973 гг. работал младшим, старшим научным сотрудником БелНИИ мелиорации и водного хозяйства в отделе луговодства.

В 1966 г. Николай Кузьмич защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук по теме «Основные приемы агротехники лугопастбищных трав, возделываемых на семена на торфяных почвах».

Опубликовал 36 научных работ, в том числе 2 монографии по вопросам агротехники создания высокоурожайных лугов. Его работа «Семеноводство луговых трав на торфяно-болотных почвах» (1963, в соавторстве с А. Ф. Даниловичем) получила высокую оценку как белорусских, так и зарубежных специалистов.

Награжден Почетными грамотами Белорусского научно-исследовательского института мелиорации и водного хозяйства, дипломами и медалями ВДНХ СССР и БССР.



**ИВАН ВАСИЛЬЕВИЧ
ФИЛИППОВИЧ
(к 100-летию)**

Иван Васильевич Филиппович родился 27 декабря 1922 г. в дер. Оземля Бобруйского р-на Могилевской обл. В девятнадцатилетнем возрасте стал участником Великой Отечественной войны. Как артиллерист участвовал в боях на Карельском перешейке, под Ленинградом, на территории Белорусской ССР, Литвы, Восточной Пруссии, Польши, Германии, Чехословакии. В 1947 г., после демобилизации из рядов Советской Армии, поступил в Белорусский политехнический институт на специальность «Гидротехническое строительство». После окончания вуза в 1952 г. как сталинский стипендиат (лучший студент) был оставлен при кафедре «Гидравлика», где стал работать в должности ассистента.

В 1953 г. поступил в аспирантуру БПИ (специальность «Гидротехническое строительство»), которую окончил в 1956 г. С 1956 г. по 1992 г. проработал в институте, пройдя путь от старшего преподавателя до кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрами. Зарекомендовал себя как высококвалифицированный, харизматичный преподаватель, истинный воспитатель студентов. Из его аспирантов шестеро успешно защитились и двое подготовили диссертационные работы к защите. Помимо преподавания, доцент И. В. Филиппович проводил большую научно-исследовательскую работу, результаты которой опубликованы в 134 научных работах (из них 111 – печатные). Автор 5 изобретений, которые были представлены на ВДНХ СССР и удостоены серебряной медали. Он руководил разработками, по которым были построены гребной слалом на Заславском водохранилище, водосбросы на водохранилищах «Морочь», «Лань», «Птичь». Под его научным руководством также осуществлены защита намываемой территории под застройку от затопления в Бобруйске и проходка метрополитена под р. Свислочь, разработаны рекомендации по повышению надежности строящихся дамб шламоохранилищ ПО «Беларуськалий». При строительстве указанных гидротехнических сооружений экономическая эффективность от внедрения рекомендаций И. В. Филипповича составила более 10 млн советских рублей.

Награжден орденами Красной Звезды, Отечественной войны I-й степени, Знаком Почета, 11 медалями как участник войны, среди которых Ивану Васильевичу была особенно дорога медаль «За отвагу». Награждался также Грамотой Верховного Совета БССР.

Скромный в быту, требовательный к себе и студентам, обладавший высочайшей квалификацией в области гидротехнического и гидромелиоративного строительства, дисциплинированный и исполнительный, Иван Васильевич Филиппович останется в нашей памяти ярким примером честности, правдивости, открытости, порядочности, верности своему делу, семье и коллегам. Мы гордимся, что работали с ним, учились у него, и благодарны судьбе за то, что многие годы продолжаем дело его жизни.

*Д. Г. Ливанский, декан факультета энергетического строительства БНТУ,
И. В. Качанов, заведующий кафедрой БНТУ*



ВЛАДИМИР НИКИФОРОВИЧ ТИТОВ (к 80-летию)

Владимир Никифорович Титов родился 27 октября 1942 г. в дер. Клюкино Семеновского р-на Горьковской обл.

В 1961–1964 гг. служил в рядах Советской Армии. В 1969 г. с отличием окончил Московский гидромелиоративный институт по специальности «Гидротехническое строительство речных сооружений и гидроэлектростанций» и был направлен на работу в Белорусский НИИ мелиорации и водного хозяйства (ныне – РУП «Институт мелиорации»). Здесь он проработал 47 лет: вначале старшим инженером, затем младшим, старшим, ведущим научным сотрудником лаборатории механизации эксплуатационных работ и лаборатории эксплуатации мелиоративных систем.

Кандидат технических наук (1983), доцент (2009 г.).

Из широкого спектра исследований, проведенных В. Н. Титовым по вопросам технологии и механизации мелиоративного строительства, основные связаны с обеспечением строительства закрытого дренажа на осушаемых землях, в частности в зимних условиях.

Научно-исследовательские работы, в которых участвовал Владимир Никифорович, выполнялись в тесном контакте с Всероссийским научно-исследовательским институтом гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Северным НИИ гидротехники и мелиорации, заводом «ВНИИЗЕМАШ», заводом пластиковых труб «Водполимер», Литовским научно-исследовательским институтом гидротехники и мелиорации. Титов координировал совместную работу по заданиям ГКНТ, связанным с созданием и внедрением технологических процессов и организацией строительства закрытого дренажа из керамических и пластмассовых труб в зоне осушения. Виктор Никифорович также активно занимался разработкой технологий эксплуатации открытой сети мелиоративных систем и организацией их технического обслуживания. Его технологии по окашиванию каналов, удалению древесно-кустарниковой растительности с откосов и берм, очистке русел от наносов и нежелательной водной растительности, ремонту гидротехнических сооружений широко внедрялись в Беларуси и в объединениях Главнечерноземводстроя (Россия).

Автор 102 научных публикаций, в том числе 11 рекомендаций и методических указаний, 4 технологических карт. Новизна и актуальность разработок В. Н. Титова подтверждена 9 авторскими свидетельствами и патентами по вопросам механизации и организации производства гидромелиоративных работ.

Многие годы В. Н. Титов был членом ученого совета РУП «Институт мелиорации».

Его труд отмечен медалями ВДНХ СССР, Почетными грамотами института, Минводхоза БССР, Департамента по мелиорации и водному хозяйству Минсельхозпрода Беларуси, управления «Главнечерноземводстрой» (Россия), Национальной Академии наук Беларуси, Академии аграрных наук Беларуси, РУП «Научно-практический центр Беларуси по земледелию».

Светлая память о Владимире Никифоровиче Титове как известном ученом, высококвалифицированном специалисте, порядочном и доброжелательном человеке будет жить в сердцах коллег.



АЛЕКСАНДР СТЕПАНОВИЧ СУДАС (к 75-летию)

Александр Степанович Судас родился 13 ноября 1947 г. в дер. Гулевичи Калинковичского р-на Гомельской обл. В 1969 г. окончил метеорологический факультет Ленинградского гидрометеорологического института, получив специальность инженера-метеоролога, а в 1986 г. повысил свою квалификацию: прошел обучение на курсах слушателей спецфакультета Московского физико-технического института по специальности «Автоматизация проектирования».

В 1969–1971 гг. служил в рядах Советской Армии, затем работал инженером-гидрологом на Мозырской гидрометеорологической станции (1971–1973 гг.).

В 1973–1994 гг. Александр Степанович работал в Полесском отделе пойменного луговодства БелНИИ мелиорации и луговодства старшим инженером, младшим, старшим, ведущим научным сотрудником, заведующим лабораторией радиоэкологии мелиорированных водосборов.

В 1983 г. успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Расчет и регулирование водно-теплого режима в среде обитания растений на мелиорируемых торфяных почвах».

А. С. Судас был участником ликвидации последствий техногенной катастрофы на Чернобыльской АЭС, которая резко изменила направление его научной работы и жизненные планы как исследователя. Если до аварии он занимался оценкой влияния осушительных мелиораций на микроклимат, гидрологический режим рек и биоценозы, вопросами использования мелиоративных систем на пойменных землях длительного затопления, то после аварии 1986 г., помимо активного участия в научно-исследовательских работах по проблемам преодоления последствий загрязнения радионуклидами территории Полесья, Александр Степанович стал изучать как закономерности миграций радионуклидных загрязнений в почвах, грунтовых и поверхностных водах, агробиоценозах, так и средства защиты сельскохозяйственной продукции и населения от радиоактивного загрязнения, занимался разработкой дезактивационных мероприятий на мелиорированных землях. В 1995 г. перешел на работу в Министерство по чрезвычайным ситуациям и защите населения от последствий катастрофы на ЧАЭС.

А. С. Судасом опубликовано свыше 70 научных работ, в том числе 6 рекомендаций и пособий. Он автор и соавтор следующих публикаций: «Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях: нормативно-правовая база» (2004); «Рекомендации по определению требуемого водного режима для минимизации накопления радионуклидов многолетними травами» (2004); «Агропромышленный комплекс Столинского района Брестской области: состояние, проблемы, перспективы»; разработанного в рамках международного проекта Sage практического пособия по радиационной защите для населения, проживающего на территориях с долговременным радиоактивным загрязнением (2006).

За высококвалифицированную работу неоднократно награждался Почетной грамотой Института мелиорации и луговодства.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. В журнале печатаются оригинальные материалы, не опубликованные ранее в других печатных изданиях.

2. Статья должна быть направлена в редакцию журнала «Мелиорация» в соответствии с **Порядком представления рукописей статей** (см.: <https://niimel.by>, сайт РУП «Институт мелиорации», Журнал «Мелиорация»).

3. Статья должна быть написана на русском языке, а аннотация – на русском и английском языках.

4. Объем статьи должен составлять не менее 0,35 авторского листа (14 тыс. печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.), но не более 0,5 авторского листа (20 тыс. печатных знаков), включая текст, иллюстрации, таблицы, библиографический список.

5. Представляемые материалы должны иметь следующую структуру:

индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК);

аннотацию на указанных языках (500 знаков);

ключевые слова на русском и английском языках;

введение;

основную часть, где излагается методика исследования, обсуждаются полученные результаты, представляются графики и рисунки;

заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;

библиографический список.

6. В разделе «Введение» должен быть дан краткий обзор литературы по исследуемой проблеме, указаны не решенные ранее вопросы, сформулирована и обоснована цель работы.

7. В Основной части статьи должны содержаться: описание объекта/-ов и метода/-ов исследования, подробное освещение содержания исследований, проведенных автором/-ами. Полученные результаты должны быть обсуждены с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными.

8. В разделе «Заключение» должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

9. Библиографический список оформляется в соответствии с приказом ВАК Республики Беларусь от 08.09.2016 №206, располагается в конце статьи, источники нумеруются согласно порядку цитирования и заключаются в квадратные скобки (например: [1], [2]). Обязательно указывается общее количество страниц в книге или номера страниц в статье от ее начала до окончания. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

10. Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте.

11. Тексты статей набираются кеглем 12, шрифт – Calibri, междустрочный интервал – 1,2, отступ – 1. Обязательно прилагаются распечатанные на бумажных листах 2 экземпляра статьи, подписанные авторами.

12. Электронный вариант следует набирать в *Microsoft Word*, формулы – в формульном редакторе *Office*. Вставку символов выполнять через меню «Вставка\Символ». Выключку вверх и вниз (H2, H1) выполнять через меню «Формат\Шрифт\Верхний индекс», «Формат\Шрифт\Нижний индекс». Латинские буквы набираются курсивом. Греческие буквы и другие математические знаки следует брать из гарнитуры *Symbol*. Математические формулы (lim, sum, ln, sin, Re, Im и т. д.) и цифры набираются прямым начертанием.

13. Рисунки представляются в виде отдельных файлов в формате TIFF или JPEG 300—600 точек на дюйм. Текст на рисунках должен быть набран гарнитурой *Arial*, курсив. Размер кегля соизмерим с размером рисунка (желательно кегль 8). Площадь простых рисунков не должна превышать 100–150 см², размер сложных – не более 130–160 см².

14. Размерность всех величин, используемых в статьях, должна соответствовать Международной системе единиц измерения (СИ).

15. Редакция оставляет за собой право сокращать текст и вносить в него редакционные правки.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Журнал «Мелиорация» представляет результаты научных исследований, опытно-технологических, опытно-конструкторских работ, проводимых по актуальным проблемам современной мелиорации, рекультивации, охраны и сельскохозяйственного использования мелиорированных земель, мелиоративного образования, политики мелиоративного обустройства, экологии в Республике Беларусь и странах СНГ, а также публикует иные разнообразные материалы по указанным направлениям.

Приглашаем опытных и начинающих ученых, разработчиков, инженеров, производителей мелиоративного оборудования и систем управления, а также практиков стать нашими авторами. Мы уверены, что публикуемые статьи помогут специалистам быть в курсе технологических решений в сфере мелиорации и сопутствующих процессов.

Мы готовы публиковать рекламу продукции соответствующих предприятий.

В том случае, когда присланный в редакцию материал не соответствует тематике журнала, мы стараемся рекомендовать автору более подходящие по профилю издания и по возможности оказываем посильную координационную помощь в публикации.

При подготовке статьи следует соблюдать технические требования, предъявляемые нашей редакцией к оформлению материалов. С ними можно ознакомиться на сайте niimel.by: раздел «Журнал "Мелиорация"» – блок «Авторам» – Правила для авторов.

С уважением,

редакция журнала «Мелиорация»

Тел.: 8 (017) 363-49-03
Факс: 8 (017) 392-64-96
e-mail: info@niimel.by,
niimel@mail.ru

