

# ХРОНИКА

УДК 622.331

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТОРФЯНЫХ МАШИН (К 100-ЛЕТИЮ ТвГТУ И КАФЕДРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ)

Л.В. КОПЕНКИНА, канд. техн. наук

Тверской государственной технической университет,  
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: lvkopenkina@mail.ru

© Копенкина Л.В., 2022

В статье рассматривается процесс проектирования торфяных машин, необходимый на современном этапе при модернизации имеющейся техники или создании новой и являющийся главным и определяющим направлением в обучении и научных исследованиях кафедры технологических машин и оборудования Тверского государственного технического университета, отмечающих 100-летие в 2022 году. Описывается применение прикладных компьютерных программ с обобщением и использованием накопленных экспериментальных данных при проектировании торфяных машин в ходе учебного процесса. Показаны достоинства применения прикладных компьютерных программ в решении задач расчета и проектирования торфяных машин, в частности профилирования поверхности.

*Ключевые слова:* торф, торфяная залежь, машина, проектирование, профилирование, корреляционная функция, прикладная компьютерная программа.

**DOI: 10.46573/2658-5030-2022-2-91-99**

### ВВЕДЕНИЕ

Проектирование торфяных машин – необходимый процесс при модернизации существующей техники или создании новой на современном этапе и в перспективе. Он является определяющим направлением в обучении и научных исследованиях кафедры технологических машин и оборудования (ТМО) Тверского государственного технического университета (ТвГТУ), отмечающих в 2022 году 100 лет с момента основания.

Актуальным данное направление остается и сегодня, поскольку соответствует новым стандартам образования. Новизна методов проектирования торфяных машин заключается в обобщении научных исследований и значительного количества имеющихся экспериментальных данных по отдельным группам торфяных машин, применении математических моделей и методов, разработке алгоритмического решения, прикладных компьютерных программ с целью получения оптимальных параметров. Одним из последних исследований является изучение влияния величины продольной базы профилировщика-планировщика на степень выравнивания поверхности торфяной карты с помощью компьютерного моделирования. В качестве модели процесса обработки поверхности залежи планировщиком была использована имитационная модель, реализованная в виде компьютерной программы.

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТОРФЯНЫХ МАШИН И ИСТОРИЯ КАФЕДРЫ ТМО**

В истории торфяного дела был накоплен большой экспериментальный и теоретический опыт создания торфяной техники, необходимый для разработки прикладных компьютерных программ по проектированию эффективной торфяной техники.

На этапе становления отечественной торфяной промышленности для обеспечения торфяным сырьем электростанций использовалась торфяная техника, созданная русскими изобретателями, и техника иностранного производства. Для создания торфяных предприятий и поставок торфа в большом объеме нужны были специалисты и работоспособная техника.

Начальные этапы формирования научной дисциплины по торфяным машинам и их проектированию связаны с созданием кафедры «Торфяная механика» на торфяном отделении инженерного факультета сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева в 1922 году, а затем в Московской горной академии (1927–1930), Московском торфяном институте (МТИ) (с 1930 года). Ее первыми заведующими стали М.И. Сарматов и И.Г. Блох.

В МТИ под руководством И.Г. Блоха в 1930-е годы на кафедре торфяной механики (позднее – кафедре торфяных машин) была создана лаборатория торфяных машин, включающая более 10 лабораторных установок (пневматическую, ковшовую, перерабатывающую, фрезерную, скребковый конвейер, приборы для изучения тяговых усилий, крутящих моментов при фрезеровании), которые использовались в обучении и научно-исследовательских работах по изучению процессов механизации добычи торфа, проектированию рабочих органов торфяных машин. Преподаватели кафедры торфяных машин МТИ в 1930–1950-е годы (И.А. Рогов, Б.Н. Озеров, В.Н. Никонов, М.С. Бирюков, С.Г. Солопов, М.В. Мурашов) были авторами изобретений в области механизации торфяного производства, работали в конструкторско-экспериментальном отделе научно-исследовательского института торфяной промышленности (Инсторфа).

В первых учебниках по торфяным машинам [1–4] описаны машины для добычи и сушки машиноформованного и фрезерного торфа, осушения и подготовки поверхности торфяной залежи к разработке. В учебниках также представлен систематизированный материал по расчету применяемых конструкций и деталей торфяных машин, изложены теоретические основы процессов взаимодействия отдельных рабочих органов машин с торфяной залежью и продуктами ее переработки, расчет отдельных рабочих органов.

Изложенный материал по конструированию и расчету торфяных машин был сравнительно невелик по объему. Необходимые для выполнения расчетов числовые значения констант и коэффициентов в большинстве случаев были приведены со ссылками на опыт смежных отраслей машиностроения – сельскохозяйственной, транспортной.

В эти годы учение о торфяных машинах только начинало формироваться. Конструктивные формы многих торфяных машин нуждались в совершенствовании. Наиболее сложным и важным являлось исследование режимов работы торфяных машин, нахождение законов, общих для определенных групп машин. Следствием развития учения о торфяных машинах стало создание методики проектирования этих машин на основе исследований.

Малый объем литературного материала по расчету торфяных машин обусловлен недостаточной развитостью в то время вопросов теории и расчета торфяных машин. Эти вопросы могли получить соответствующее развитие в ходе выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию новых и

совершенствованию существующих машин и технологий торфяного производства как на кафедре торфяных машин, так и во Всесоюзном научно-исследовательском институте торфяной промышленности (ВНИИТП) и его Калининском филиале.

После переезда МТИ в Калинин в 1958–1960 годах на кафедре торфяных машин Калининского торфяного института были построены новые учебно-экспериментальные установки (пневматическая, фрезерная, транспортная, измерительная) с учетом достижений в торфяной технике.

Большую роль в развитии теории, расчета и проектирования торфяных машин сыграло издание учебника для вузов «Торфяные машины» [5] преподавателями и сотрудниками кафедры ТМО. Устройство, принцип действия и расчеты машин излагались как теоретические основы процессов взаимодействия наиболее широко применяемых рабочих органов с торфяной залежью и торфом.

В 1970-х годах преподаватели и сотрудники кафедры ТМО проводили научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую работу в области механизации трудоемких производственных процессов добычи торфа для топлива и сельского хозяйства. В конструкторском бюро, созданном при кафедре ТМО, были разработаны следующие машины и устройства: машины глубокого дренирования МГД-6Н, фрезер с проходными ножами, установка для отбора проб фрезерного торфа из движущихся железнодорожных вагонов, станок для изготовления пластмассовых труб мостов-переездов на фрезерных полях. Сотрудниками кафедры в 1974–1978 годах в лаборатории и мастерских института было изготовлено несколько малогабаритных моделей машин с шагающими движителями различных конструкций, а также была проведена проверка принципа их действия.

В 1972, 1981 годах в свет вышли учебные пособия «Торфяные машины и комплексы» [6, 7], в которых был расширен круг вопросов, связанных с расчетом торфоперерабатывающих машин, использованы материалы научных исследований, дано новое индексирование торфяных машин.

В 1999–2006 годах был издан новый учебник «Торфяные машины и оборудование» в трех частях [8]. В нем рассматривались вопросы теории, расчета и конструирования торфяных машин в соответствии с традицией, сложившейся при создании первого вузовского учебника по торфяным машинам. В новом учебнике изложены вопросы теории взаимодействия рабочих органов машин с торфяной залежью, расчета ходовых, экскавирующих, перерабатывающих, пневматических устройств, устойчивости и проходимости торфяных машин по торфяной залежи, отражены изменения в теории и расчете торфяных машин, которые произошли со времени издания первого учебника по торфяным машинам, использованы материалы исследований, выполненных сотрудниками ВНИИТП и доцентами кафедры торфяных машин и комплексов В.М. Шпыневым, Л.Ф. Коровицыным, Б.Ф. Зюзиным, Б.Б. Воронковым.

К 2000-м годам в торфяной промышленности было накоплено значительное количество экспериментального материала в области теории и расчета торфяных машин, получила развитие компьютерная техника. Это позволило заложить научные основы и создать методы проектирования параметров ходовых и фрезерующих устройств торфяных машин (уравновешивание гусеничных машин, размеры жесткого цилиндрического колеса, геометрические параметры ножа фрезы, силовой и энергетический расчет фрезы), в которых учитываются режимы и условия работы, достичь их оптимальных значений с помощью компьютерного эксперимента [9].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В 2000-е годы под руководством профессора В.Ф. Сеницына на кафедре ТМО были разработаны прикладные компьютерные программы, решающие ряд задач проектирования торфяных машин [10–13]. Для создания таких программ необходимы знания особенностей работы торфяной техники. Особенности торфяных машин обусловлены спецификой технологических процессов добычи торфа: неровностью поверхности торфяной залежи в условиях повышенной влажности; неоднородной деформируемостью; наличием пней, скрытых и выступающих на поверхности торфяной залежи; разнообразием структурно-механических свойств торфа; сезонностью торфяного производства. Конструкции торфяных машин должны иметь высокую проходимость, маневренность, небольшие удельные давления на грунт, повышенную прочность, износостойкость, простоту сборки и взаимозаменяемость деталей, предохранительные устройства, предупреждающие поломку деталей рабочих органов и т. п.

При подготовке торфяных залежей к разработке выполняется планировка поверхности торфяных карт, влияющая на технологические показатели добычи фрезерного торфа, равномерность хода, нагрузку трансмиссии, проходимость торфяных машин. Планировка выполняется шнековым профилировщиком-планировщиком МТП-53. Установлено, что планирующая (выравнивающая) способность профилировщика-планировщика, являющаяся его важнейшим качеством, зависит от величины продольной базы машины. Определение оптимального значения базы путем натурального эксперимента требует больших затрат труда и средств, поэтому мы использовали компьютерный эксперимент. Для корректного решения задачи учитывалась вариабельность осадок опорных колес.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Задача проектирования параметров планировщика заключается в достижении оптимальных значений выравнивающей способности  $O_T$  – отношения стандарта ординаты профиля после его обработки  $\sigma_y$  к стандарту ординаты исходного профиля  $\sigma_F$ . С целью описания рельефа поверхности были проведены работы по выявлению характеристик профиля поверхности торфяных полей.

Исследования показали, что ординату продольного профиля карты можно считать стационарной нормально распределенной случайной функцией расстояния. Характеристиками профиля являются математическое ожидание ординаты профиля  $m_y$ , дисперсия ординаты  $D_y$  и корреляционная функция  $k_y(l)$ . Фактически характеристикой профиля является корреляционная функция, так как математическое ожидание характеризует только положение средней линии профиля, а дисперсия  $D_y$  равна значению корреляционной функции  $k_y(l)$  при  $l = 0$ .

Корреляционная функция продольных профилей торфяных полей аппроксимируется затухающей косинусоидой:

$$k_y(l) = D_y e^{-W_1 l} \cos W_0 l, \quad (1)$$

где  $D_y$  – дисперсия ординаты профиля;  $W_1$  – коэффициент затухания,  $1/m$ ;  $l$  – аргумент, м;  $W_0$  – круговая частота колебаний корреляционной функции,  $1/m$ .

При этом стандарт ординаты профиля (среднее квадратическое отклонение) изменяется в пределах от 0,015 до 0,065 м (при среднем значении около 0,025 м).

Значения коэффициента затухания  $W_1$  изменяются в пределах от 0,041 до 0,91 1/м. Круговая частота колебаний корреляционной функции  $W_0$  тоже варьируется в пределах от 0,19 до 0,83 1/м.

Корреляционный анализ данных показал, что математическое ожидание круговой частоты колебаний корреляционной функции  $W_0$  равно 0,507, а математическое ожидание коэффициента затухания  $W_1$  равно 0,188. При этом между величинами  $W_1$  и  $W_0$  имеется достаточно тесная корреляционная зависимость (коэффициент корреляции  $r = 0,93$ ), которая представляется уравнением

$$W_1 = -0,054 + 0,477 W_0 . \quad (2)$$

Для такой зависимости есть определенные основания. При прочих равных условиях большей частоте  $W_0$  соответствует более быстрое изменение значения корреляционной функции с изменением аргумента. Более быстрое изменение значения корреляционной функции в общем случае связано с ее более быстрым затуханием, в нашем случае – с большим  $W_1$ .

Таким образом, согласно уравнению (2), значение  $W_1$  может быть определено через значение  $W_0$ . Следовательно, в некоторых случаях можно полагать, что корреляционная функция продольных профилей карт (см. формулу (1)) фактически определяется двумя параметрами – дисперсией ординаты профиля  $D_y$  (или стандартом ординаты профиля  $\sigma_y$ ) и частотой колебания корреляционной функции  $W_0$ .

Степень рассеивания глубины фрезерования характеризуется коэффициентом вариации  $\nu$  – отношением стандарта глубины фрезерования  $\sigma_c$  к математическому ожиданию глубины фрезерования  $M_c$ .

Показатель выравнивающей способности  $O_T$  определили с помощью набора компьютерных программ MODFUNK2 и MODFRES4, разработанных на кафедре ТМО [11]. Алгоритм имитационной модели реализуется компьютерной программой MODFRES4 с использованием числовых характеристик, вычисляемых программой MODFUNK2, как исходных данных. Программа MODFUNK2 моделирует ординаты продольного профиля карты с применением корреляционной функции, имеющей вид затухающей косинусоиды.

Варьируя значения параметров планировщика при помощи программы MODFRES4, оценивают результаты обработки поверхности залежи с заданными свойствами.

В программе MODFRES4 были произведены расчеты с изменением продольной базы фрезера В и расстояния от заднего катка до фрезы А. По результатам расчетов была построена зависимость выравнивающей способности  $O_T$  от положения фрезы А/В при средних значениях  $W_1$  и  $W_0$  (рис. 1).

Данная зависимость показала, что с увеличением расстояния между фрезой и задним катком выравнивающая способность улучшается.

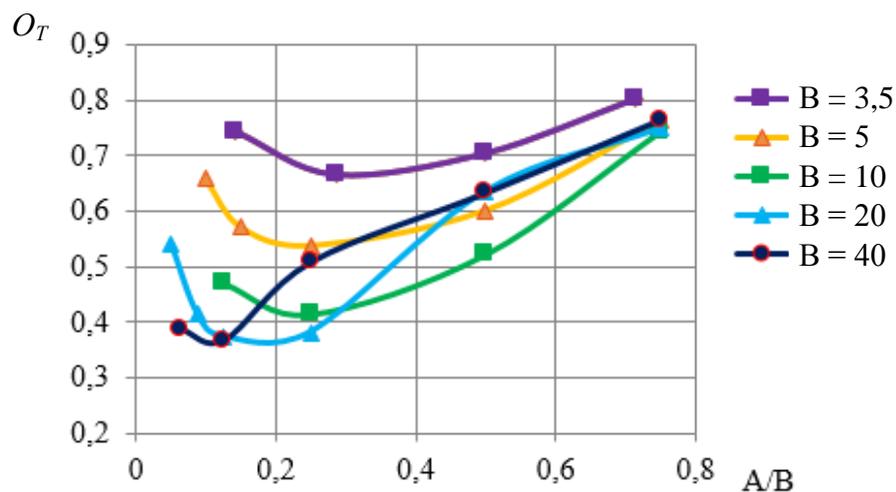


Рис. 1. Зависимость выравнивающей способности  $O_T$  от положения фрезы  $A/B$  при средних значениях  $W_1$  и  $W_0$

Была определена зависимость минимальной выравнивающей способности  $O_{Tmin}$  от базы  $B$  при средних значениях  $W_1$  и  $W_0$  (рис. 2).

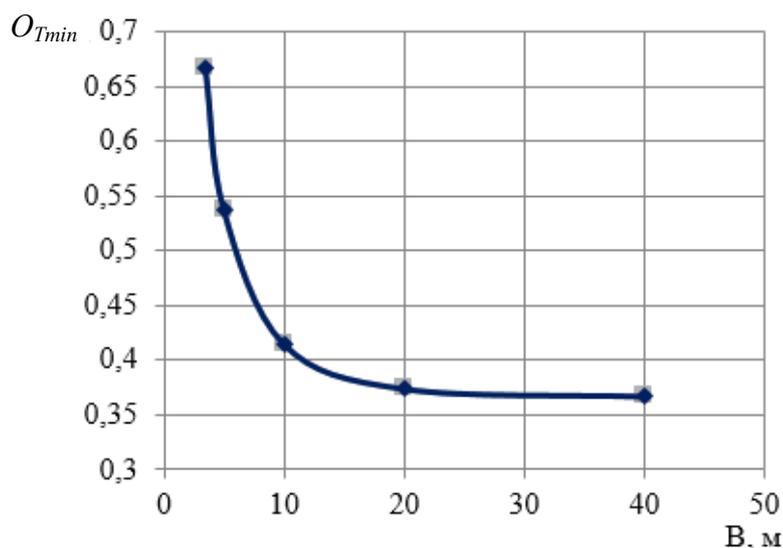


Рис. 2. Зависимость минимальной выравнивающей способности  $O_{Tmin}$  от базы  $B$  при средних значениях  $W_1$  и  $W_0$

Были подобраны базы с оптимальными для работ параметрами при средних значениях  $W_1$  и  $W_0$ .

Для определения предельной оптимальной продольной базы фрезера  $B$  установлена величина  $V_C$  – степень приближения к идеальному выравниванию поверхности.

Зависимость положения фрезы  $A/B$  от базы  $B$  и степени приближения к идеальному выравниванию  $V_C$  от базы  $B$  при средних значениях  $W_1$  и  $W_0$  показана на рис. 3.

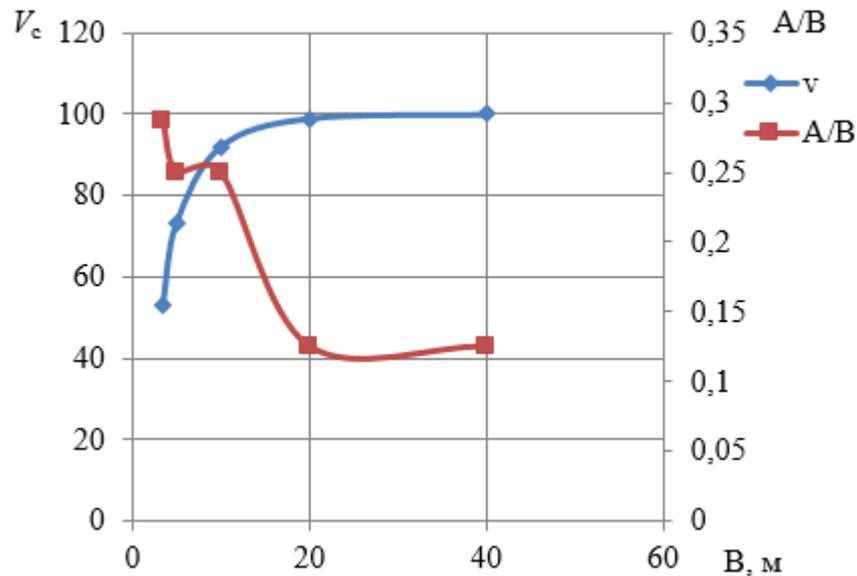


Рис. 3. Зависимость положения фрезы A/B от базы B и степени приближения к идеальному выравниванию  $V_c$  от базы B при средних значениях  $W_1$  и  $W_0$

Исследования показали, что выравнивающая способность планировщика повышается с увеличением до 6...10 м его продольной базы, оптимальное значение которой определяется при проектировании.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные методы компьютерного моделирования являются новым этапом в развитии проектирования торфяных машин.

Методы силового и энергетического расчета фрезы с учетом пульсации нагрузки в процессе фрезерования могут быть использованы при решении задач динамики приводов фрезерующих машин. Обоснование баланса мощности фрезы используется при экспериментальных и теоретических исследованиях энергетики фрезерования.

Результаты исследований и новые методы проектирования позволят уменьшить габариты и массу ходовых устройств, снизить краевые давления под гусеницами, энергоёмкость фрезерования и амплитуду пульсации нагрузки на фрезу, повысить копирующее и планирующее действие фрезеров на залежь и увеличить цикловые сборы. Прикладные программы, реализующие разработанные методы проектирования параметров торфяных машин, используются в учебном процессе.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Блох И.Г. Торфяные машины, их теория и расчет. Часть 1. Ходовые устройства торфяных машин. М.: Московский торфяной институт. 1939. 106 с.
2. Никонов В.Н. Торфяные машины и механизмы: учебник для техникумов. М.: ГОНТИ НКТП СССР. 1938. 200 с.
3. Блох И.Г., Мурашов М.В., Горинштейн Л.Л. Руководство к работам в лаборатории торфяных машин. М.: Московский торфяной институт. 1947. 64 с.
4. Солопов С.Г. Расчеты и конструкции торфяных машин. М. – Л.: Госэнергоиздат. 1948. 110 с.
5. Солопов С.Г., Мурашов М.В., Миркин М.А. Торфяные машины: учебник. М.: Высшая школа. 1962. 354 с.

6. Солопов С.Г., Горцакалян Л.О., Самсонов Л.Н. Торфяные машины и комплексы: учебное пособие. М.: Недра. 1973. 392 с.
7. Солопов С.Г., Горцакалян Л.О., Самсонов Л.Н., Цветков В.И. Торфяные машины и комплексы: учебное пособие. М.: Недра. 1981. 416 с.
8. Самсонов Л.Н., Сеницын В.Ф. Торфяные машины и комплексы. Ч. II. Эскавация торфа из залежи: учебник для вузов. Тверь: ТГТУ. 1999. 188 с.
9. Сеницын В.Ф. Научные основы проектирования параметров ходовых и фрезерующих устройств торфяных машин. Дисс... докт. техн. наук. Тверь. 1999. 38 с.
10. Сеницын В.Ф. Автоматизированный расчет и проектирование торфяных машин: учебное пособие. Тверь: ТГТУ. 2002. 116 с.
11. Сеницын В.Ф., Копенкина Л.В. Математические модели теории вероятностей в задачах исследования и проектирования торфяных машин: монография. Тверь: ТвГТУ. 2017. 172 с.
12. Сеницын В.Ф., Копенкина Л.В. Автоматизированное проектирование: монография. Тверь: ТвГТУ. 2018. 176 с.
13. Сеницын В.Ф., Копенкина Л.В. Компьютерные технологии в проектировании. Лабораторный практикум. Тверь: ТвГТУ. 2020. 112 с.

**Для цитирования:** Копенкина Л.В. Проектирование торфяных машин (к 100-летию ТвГТУ и кафедры технологических машин и оборудования) // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2022. № 2 (14). С. 91–99.

**DESIGN OF PEAT MACHINES  
(TO THE 100 ANNIVERSARIES OF TSTU AND THE DEPARTMENT  
OF TECHNOLOGICAL MACHINES AND EQUIPMENT)**

L.V. KOPENKINA, Cand. Sc.

Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver,  
Russian Federation, e-mail: lvkopenkina@mail.ru

The article discusses the design process of peat machines, which is necessary for the modernization or creation of new equipment at the present stage and in the future of its development, which is the main and defining direction in the training and research of the Department of Technological Machines and Equipment (TMO) of the Tver State Technical University, celebrating 100 years since their foundation. The use of applied computer programs with the generalization and use of accumulated experimental data in the design of peat machines in the educational process for the formation of a competitive specialist is described. The advantages of using applied computer programs for solving problems of calculating and designing peat machines, in particular for surface profiling.

*Keywords:* peat, peat deposit, machine, design, profiling, correlation function, applied computer program.

**REFERENCES**

1. Bloch I.G. Torfyanyye mashiny, ikh teoriya i raschet. Chast 1. Khodovyye ustroystva torfyanykh mashin. [Peat machines, their theory and calculation. Part 1. Running devices of peat machines]. Moscow: Moskovskiy torfyanoy institute. 1939. 106 p.

2. Nikonov V.N. Torfyanyye mashiny i mekhanizmy: uchebnik dlya tekhnikumov [Peat machines and mechanisms: a textbook for technical schools]. Moscow: GONTI NKTP SSSR. 1938. 200 p.
3. Blokh I.G., Murashov M.V., Gorinshtein L.L. Rukovodstvo k rabotam v laboratorii torfyanykh mashin. [Guide to work in the laboratory of peat machines]. Moscow: Moskovskiy torfyanoy institut, 1947. 64 p.
4. Solopov S.G. Raschety i konstruksii torfyanykh mashin [Calculations and designs of peat machines]. Moscow – Leningrad: Gosenergoizdat. 1948. 110 p.
5. Solopov S.G., Murashov M.V., Mirkin M.A. Torfyanyye mashiny: uchebnik [Peat machines: a textbook]. Moscow: Vysshaya shkola. 1962. 354 p.
6. Solopov S.G., Gortsakalyan L.O., Samsonov L.N. Torfyanyye mashiny i kompleksy: uchebnoye posobiye [Peat machines and complexes: a tutorial]. Moscow: Nedra. 1973. 392 p.
7. Solopov S.G., Gortsakalyan L.O., Samsonov L.N., Zvetkov V.I. Torfyanyye mashiny i kompleksy: uchebnoye posobiye [Peat machines and complexes: textbook]. Moscow: Nedra. 1981. 416 p.
8. Samsonov L.N., Sinitsyn V.F. Torfyanyye mashiny i kompleksy. Ch. II. Ekskavatsiya torfa iz zalezhi: uchebnik dlya vuzov [Peat machines and complexes. Part II. Excavation of peat from a deposit: a textbook for universities]. Tver: TGTU. 1999. 188 p.
9. Sinitsyn V.F. Scientific bases for designing the parameters of running and milling devices of peat machines: Doc. Diss. (Engineering). Tver. 1999. 38 p.
10. Sinitsyn V.F. Avtomatizirovannyi raschet i proyektirovaniye torfyanykh mashin: uchebnoye posobiye [Automated calculation and design of peat machines: a tutorial]. Tver: TGTU. 2002. 116 p.
11. Sinitsyn V.F., Kopenkina L.V. Matematicheskiye modeli teorii veroyatnostey v zadachakh issledovaniya i proyektirovaniya torfyanykh mashin: monografiya [Mathematical models of probability theory in the problems of research and design of peat machines: monograph]. Tver: TvGTU. 2017. 172 p.
12. Sinitsyn V.F., Kopenkina L.V. Avtomatizirovannoye proyektirovaniye: monografiya [Computer-aided design: monograph]. Tver: TvGTU. 2018. 176 p.
13. Sinitsyn V.F., Kopenkina L.V. Kompyuternyye tekhnologii v proyektirovanii. Laboratornyy praktikum [Computer technologies in design. Laboratory practice]. Tver: TvGTU. 2020. 112 p.

Поступила в редакцию/received: 12.01.2022; после рецензирования/revised: 17.01.2022;  
принята/accepted: 24.01.2022