

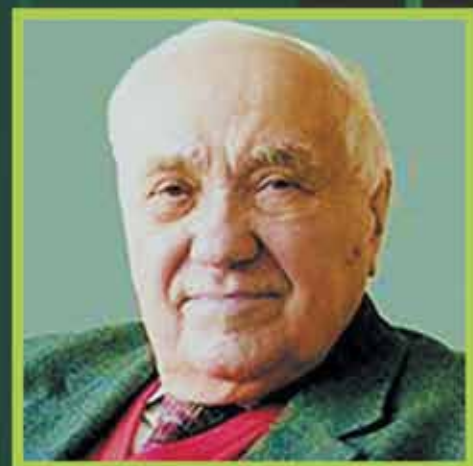
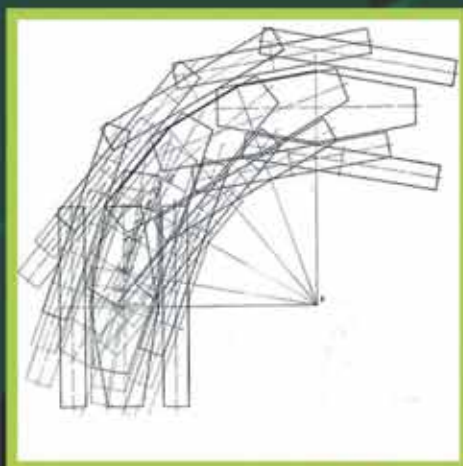
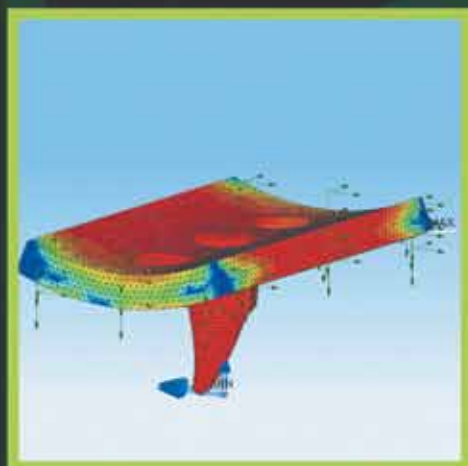
Научный журнал

Восточно-Европейского института торфяного дела
Тверского государственного технического университета



№26 (79) 2022

ТРУДЫ ИНСТОРФА



Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Восточно-Европейский институт торфяного дела
Тверского государственного технического университета

ТРУДЫ ИНСТОРФА

Научный журнал

Издается с апреля 1922 года
Выходит два раза в год

№ 26 (79)
июль–декабрь 2022 г.

Тверь
2022

УДК 622.331(05)
ББК 26.343.4я5

Труды Инсторфа: научный журнал. № 26 (79)
(июль–декабрь 2022 г.). Тверь: ТвГТУ, 2022. 56 с.

Учредитель и издатель: ФГБОУ ВО «Тверской
государственный технический университет»

Главный редактор
проф., д. ф.-м. н.
Андрей Викторович Твардовский

Научный редактор
акад. НАНБ, д. т. н. И.И. Лиштван

Редакционный совет:
проф., д. э. н. Г.А. Александров;
проф., д. т. н. А.Н. Васильев;
проф., д. т. н. В.И. Горячев; проф., д. т. н. Н.В. Гревцев;
чл.-корр. РАН, д. с-х. н. Л.И. Инишева;
проф., д. т. н. Б.Ф. Зюзин (*зам. научного редактора*);
проф., д. т. н. А.В. Кондратьев;
проф., д. х. н. Ю.Ю. Косивцов;
проф., д. т. н. В.И. Косов; д. б. н. О.Л. Кузнецов;
д. г. н. Б.В. Курзо;
проф., д. б. н. Е.Д. Лапшина;
проф., д. т. н. Б.И. Масленников;
проф., д. т. н. А.В. Михайлов;
проф., д. т. н. В.А. Миронов;
проф., д. т. н. Б.В. Палюх; д. т. н. В.Г. Селеннов;
проф., д. т. н. В.Ф. Синицин; д. б. н. А.А. Сирин;
проф., д. х. н. М.Г. Сульман; д. б. н. Т.К. Юрковская;
доц., д. т. н. А.Л. Яблонев

Редакционная коллегия:
проф., д. т. н. С.Н. Гамаюнов;
проф., д. т. н. Ю.Н. Женихов;
доц., д. т. н. О.С. Мисников;
доц., д. г. н. В.В. Панов (*зам. главного редактора*);
доц., д. т. н. К.В. Фомин

Секретарь редакционной коллегии
к. т. н. А.Е. Тимофеев

Технический редактор к. т. н. В.В. Кузовлев

Свидетельство о регистрации
Эл № ФС 77-41964 выдано 9.09.2010 г.
Роскомнадзор

Редактор О.В. Чеховская

Корректор Т.С. Самборская

Технический редактор А.Ю. Соколова

E-mail: instorf@gmail.com

Тел. редакции: 8 (422) 78-93-91

ISSN 2224-1523

© Тверской государственный
технический университет, 2022

© Коллектив авторов, 2022

© Макет ООО «Издательство «Триада», 2022

Содержание

Панов В.В.

Фациальные признаки целостности
торфяного тела..... 3

Горячёв В.И.

Яблонев А.Л.

Щербакова Д.М.

Конструкторско-технологическое
обоснование производства тепличного
грунта и гумусового концентрата
механическим обезвоживанием
торфяного сырья..... 14

Фомин К.В.

Крылов К.С.

Морозихина И.К.

Оценка прочности режущих элементов
машины послойно-поверхностного
фрезерования МТФ-14 с помощью
метода конечных элементов 19

Петров А.А.

Зюзин Б.Ф.

Поворотливость шагающих
болотоходных машин на неосушенной
торфяной залежи и устройства
для автоматического управления
их поворотом 26

Крылов К.С.

Фомин К.В.

Харламов В.Е.

Морозихина И.К.

Основные этапы развития
образовательной и научной
деятельности кафедры механизации
природообустройства и ремонта машин
(к 100-летию Тверского
государственного технического
университета) 45

Мисников О.С.

Зюзин Б.Ф.

Копенкина Л.В.

И.И. Лиштван – лидер научной школы
в области природопользования
(к 90-летию со дня рождения) 51

УДК 551.312:622.331

Панов В.В.

Панов Владимир Владимирович, д. г. н., проф. кафедры «Горное дело, природообустройство и инженерная экология» Тверского государственного технического университета. 170023, Тверь, ул. Академическая, 12, vspanov61@gmail.com

Panov V.V.

Panov Vladimir V., Dr. Sc., Prof. of the Department «Mining, Environmental Management and Engineering Ecology» of Tver State Technical University. vspanov61@gmail.com

ФАЦИАЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ ЦЕЛОСТНОСТИ ТОРФЯНОГО ТЕЛА

Аннотация. Фациальные признаки торфа в виде остатков видов растений указывают на существование условной оси симметрии между дном и поверхностью торфяной залежи. По мере роста торфяника ось симметрии смещается вверх. Распределение остатков растений соответствует алгоритму изменения в виде цикла. Эта цикличность подчеркивает целостность торфяного тела.

Ключевые слова: торф, торфяник, рост торфяника, ботанический состав торфа.

FACIES FEATURES OF THE PEAT BODY AS A WHOLE

Annotation. Facies features of peat in the form of fragments of plant species indicate the existence of a conditional axis of symmetry between the bottom and the surface of the peat deposit. As the peatlands grows, the axis of symmetry shifts upwards. The distribution of plant fragments corresponds to the algorithm of change in the form of a cycle. This cyclicity emphasizes the integrity of the peat body.

Keywords: peat, peatlands, peatlands growth, botanical composition of peat.

Фа́ция торфа

В геологии принято считать, что стратиграфический горизонт – это слой отложений одного возраста, части которого неоднородные по составу определяются как фации. Объединение фаций разного возраста и близкого состава в один слой определяется как петрографический горизонт.

В общей геологии редко можно встретить расчленение торфяных отложений на отдельные стратиграфические горизонты. Как правило, на геологических разрезах торфяной слой показывается как единое современное образование. Вместе с тем, на стратиграфических разрезах, принятых в практике геологоразведочных работ на торф, слои торфа – это петрографические горизонты, объединяющие разновременные фации торфа в один слой. Таким образом, в практике слой одного вида торфа, по классификации МТИ (Московский торфяной институт), по сути, является петрографическим горизонтом.

Если торфяные отложения рассматривать как единовременное образование, то геологический разрез торфяных отложений – это совокупность петрографических фаций одного возраста. Это соответствует геологической номенклатуре и практике. Согласиться с этим нельзя, учитывая опыт изучения болот за более чем столетний период.

В общегеологической практике построение «стратиграфических разрезов торфяных отложений» должно начинаться с выделения стратиграфических горизонтов, соответствующих фазам голоцена. Подобная практика принята в палеогеографии (палинологии, палеоботанике) голоцена, что позволяет выделять в торфяных отложениях стратиграфические горизонты – от предбореальной фазы до субатлантической. Таким образом, фациями торфяных отложений должны быть разнородные по составу части слоя торфа одного возраста, что соответствует сути общей геологической номенклатуры. Анализ палинологических данных торфяных отложений, как правило, позволяет подчеркнуть, что возраст слоя одного вида торфа в разных частях торфяных отложений чаще всего не соответствует его составу.

Здесь важно обозначить соответствие фации торфа понятиям «фаза питания болота» и «стадия развития болота». Это близкие понятия, но их формулирование в болотоведении различается по историческим особенностям и содержательному объему.

Стадия развития болота соответствует рельефу поверхности болота прежде всего в плане. Связь структуры водного потока с формой поверхности и экологическими требованиями видов растений определяет структуру растительного покрова. Если фазы по [1] определяются по трофности, то типы болотных массивов устанавливаются по стадиям [2] с соответствующим распределением растительных сообществ, неоднородности строения торфяной залежи и структуре водных потоков.

Данные положения условно можно взять за некоторый терминологический уровень – стадия развития болота поясняет представления о плановой или горизонтальной структуре торфяника, а фаза – о профильной или вертикальной. Следует отметить, что границы фаз развития торфяника могут соответствовать границам стратиграфических горизонтов или нет.

Фации торфа в плане болота соответствуют распределению растительных сообществ или их комплексов на поверхности торфяника и отражают стадии развития болот в зависимости от структуры их питания в плане. При оценке фаз развития болот фации указывают на профиле тенденции изменения прежде всего минерального питания от границ болота к центру и от дна к поверхности.

Поэтому стратиграфический горизонт содержит информацию о неоднородности растительности в плане при условии общих климатических условий. Вместе с тем стратиграфический горизонт указывает на эволюцию водно-минерального питания, что выражается в изменении количества остатков видов растений от подошвы горизонта к его кровле.

Климатические изменения в голоцене дают выделить границы стратиграфических горизонтов, которые могут совпадать, частично совпадать и не совпадать с границами между видами торфа по классификации МТИ. В этом случае следует вернуться к обстоятельствам и причинам появления классификации МТИ.

Границы в торфяных отложениях

В целом проблема преемственности-обновления природных геологических объектов основывается на представлении о границах, которые существуют реально и теми, которые являются результатом методических и методологических особенностей практической работы. Установление резких границ между слоями торфа зависит от наблюдения визу-

альной разницы, что не всегда определяется разницей в ботаническом составе торфа. Кроме того, если учитывать степень разложения торфа, то с ее предельным ростом установить исходный состав фитоценоза практически невозможно. Также в пробе торфа (слой 5–25 см) всегда присутствуют множество видов торфа [3]. Поэтому при исследовании палеоклиматических условий или определении видов торфа по методике МТИ [4], когда устанавливается номинальное название вида торфа, можно говорить лишь об условности его границ в виде линий. В данном случае рассматривается не правило классифицирования видов торфа, а их методическое отображение на разрезе торфяной залежи. Все редкие и переходные формы торфов по специально разработанным ключам объединялись в комплексные номинальные виды торфа.

Границы, которые являются слабо выраженными, необязательно имеют неопределенное положение, установленное посередине некоторой зоны. Если торфяное тело рассматривать в состоянии гидрогеомеханического равновесия, где изменение какой-либо части отражается на состоянии других частей тела, то к нерезким границам следует отнести временные, вторичные и прерывистые границы, возникающие в процессах саморегулирования роста торфяника. Кроме того, нередко в торфяной залежи наблюдаются вертикальные границы между слоями разных видов торфа. Таким образом, границы в торфяной залежи и на ее поверхности, установленные по ботаническим признакам, в реальности могут быть резкими, условно резкими и нерезкими, определяющимися как среднее.

Границы в торфяных отложениях в большей степени следует рассматривать как трехмерные или объемные, или как не целочисленные: среднее между точкой и линией, линией и плоскостью, плоскостью и объемом. Поэтому границы в торфяных отложениях при исследовании ее структуры не следует выделять только по одному, как правило, ботаническому признаку, а следует учитывать совокупность свойств торфа, некоторый объем которого подлечит разграничению. При этом ботанические признаки торфа остаются одними из наиболее определяющих его происхождение.

Стратиграфический участок

Одним из переломных достижений болотоведения конца 20-х гг. XX века является

предположение о горизонтальном изменении стратиграфического горизонта или его фациальном строении. До 20-х гг. XX века имел смысл выделения границ между фазами питания, совпадающими с принципиальной сменой растительных формаций. Условными границами между слоями в залежи служили изменения преобладающих остатков в торфе, как правило, одного-двух видов растений.

Торфяная залежь рассматривалась как целое и ее деление резкими границами имело смысл только на горизонтальные слои, отражающие «правильную» последовательную схему смен растительности и торфа, соответствующую фазам питания. Неоднородное строение торфяной залежи в горизонтальном направлении рассматривалось как нарушение по причинам местного характера. Эти неоднородности часто не отображались границами. Например, на фоне одного основного вида торфа могли нанести пиктограмму или символы других видов растений. Представления о резких границах стали формироваться при исследовании «аномалий» в «правильной» последовательности слоев торфа. Появились широкообсуждаемые проблемы – «черного и белого сфагнового торфа», «пограничного горизонта» и др. В конечном итоге основной причиной их появления стали считать климатические изменения в голоцене. Залежь стала делиться по фазам голоцена.

В последующем для изучения механизмов развития торфяной залежи сформировались условно два подхода. Первый развивался в системе Инсторфа (МТИ), второй в системе ЦТС (ЦТОС).

Во втором случае специалисты придерживались целостного взгляда на торфяное болото, или торфяник. Вид торфа определялся по количественному соотношению остатков растений, количество которых в торфяной залежи меняется в основном постепенно без резких границ. В случае смены фазы питания или внешнего воздействия указывались резкие границы. Поэтому для анализа механизмов развития торфяника был разработан метод изолиний, отображающий распределение отдельных свойств торфа во всем объеме торфяника. Не делалось попытки «жесткой» привязки вида торфа к его физическим и химическим свойствам. Залежь не делилась на отдельные участки.

Противоположного мнения придерживались специалисты Инсторфа. Главной целью

их работы было определение вида торфа и его свойств в виде некоторых констант, позволяющих перевести как оценку торфяной залежи, так и ее использование в строгую систему технологических параметров. Этот подход на протяжении нескольких десятилетий позволил создать единую методологическую и методическую основу исследования болот. Вершиной его развития стала методика расчета степени разложения торфа по процентному содержанию остатков отдельных видов растений в торфе. Однако расчеты производились по номинальным видам торфа, а не по всему их природному разнообразию. Это исследование подтвердило обоснованность генетических принципов классификации торфа МТИ, смысл которых заложен в специальных ключах-таблицах определения вида торфа.

В рамках подхода Инсторфа торфяное тело (месторождение торфа) с конца 20-х гг. XX в. представляется как единое в историческом аспекте тело (массив), но в котором выделяются отдельные части или стратиграфические участки. Каждый стратиграфический участок характеризуется закономерным сочетанием слоев торфа, виды которого определяются по остаткам характерных видов растений, указывающих на условия торфообразования или фациальные условия. Это позволило закономерно сократить «бесконечное» по методике ЦТС количество видов торфа, что значительно упростило разведку болот, добычу торфа и его использование, и сохранило возможность исследования единого механизма развития болот.

Каждый стратиграфический участок соответствовал определенному алгоритму сочетаний слоев торфа, что позволило разработать классификацию видов торфяной залежи МТИ. Каждый стратиграфический участок отделялся в профиле и в плане внешними границами. Важно отметить, что это не было сделано механистически. Выделение стратиграфических участков соответствует генетическим представлениям о развитии торфяных отложений. Отдельные части торфяника отмечали и ранее, выделяя строение окраек болота, его центральной части и промежуточной зоны склона между ними. С появлением классификации видов торфяной залежи представление о закономерном развитии торфяников стало более обоснованным.

Стратиграфический подход в исследовании торфяников включает в себя выделение

стратиграфических и петрографических горизонтов в объеме всего торфяника, а также их внутреннюю изменчивость по стратиграфическим участкам. Сочетание вертикальной и горизонтальной дифференциации торфяных отложений предопределило появление фациального подхода к их оценке, позволяющего сохранять связь каждого отдельного геологического (структурного) элемента торфяника с условиями его происхождения или генезиса.

Структура торфяного тела

Система геологических элементов торфяного тела позволяет представить его иерархическую структуру, объединяющую состояние, строение и состав торфяных отложений в структуре торфяника в плане и профиле. Традиционно определение структуры торфяного тела (болота, массива, месторождения) включает в себя его строение, состав и функционирование.

Важнейшими признаками структуры болот являются внутренние связи торфяника, объединяющие в целое: 1) рельеф его дна и гидрогеологические условия, 2) строение залежи и ее водно-физические и механические свойства, 3) процессы торфообразования и климатический режим, 4) неоднородность рельефа и гидрографию поверхности. Таким образом, структура торфяного тела отражает саморегулирование его ростом (закономерное торфонакопление), является результатом самоорганизации внутриболотных массо- и энергопотоков, отражает обратные связи торфяного тела с внешним прошедшим или текущим воздействием.

Соответственно иерархическому строению структуры болот иерархия распространяется на внутриболотные процессы, выражающиеся в самоорганизации мелких элементов торфяников в крупные. Например, сопоставимые по рангу элементы: на поверхности торфяника – это болотный биотоп, в залежи – фации или крупные включения, в торфе – различные формы структурной агрегации и аккумуляции воды.

При анализе строения и функционирования торфяных болот всегда возникает проблема определения иерархических рангов отдельных элементов. В каждом отдельном случае связи между составом и строением могут не совпадать. Например, в одном случае болотный соняк может иметь автономный высокий ранг как структурный элемент растительного пок-

рова, а в другом – низкий подчиненный или фоновый. Для выяснения ранга отдельного элемента болота или торфяных отложений следует учитывать не только состав, строение и его динамику, но и его положение в общей структуре. Внешняя форма любого элемента отражает характер его взаимосвязи и взаимодействия с окружающими элементами, соответствующий его рангу и целостности.

Развитие и динамика структуры торфяного тела

Мнение о том, что развитие внешних границ болот связано с внешними факторами, а эндогенные факторы развития торфяника, связанные с торфонакоплением, определяют его внутренние границы, следует дополнить. Закономерное торфонакопление отражает регуляционные механизмы устойчивости торфяника как целого, находящегося под непрерывным воздействием и его адекватной этому воздействию адаптации в виде перестройки структуры и формы торфяного тела. Вместе с тем исторически сложились разные подходы, по-своему акцентирующие понимание взаимосвязи формы и развития торфяных болот.

Фаза развития болота отражает закономерную последовательную смену растительных формаций в результате постепенного и неуклонного торфонакопления при нестабильности внешних условий как результат увеличения мощности и формы торфяного тела [1]. В дополнение фазы рассматриваются более подробно в соответствии с характером роста торфяника. Если на ранних стадиях развития болот саморазвитие элементов выражено в торфонакоплении, то в завершении развития внешние факторы стимулируют эрозию торфяника [5]. Однако автор опускает, что длительное торфонакопление – это соответствующая ему аккумуляция воды в торфянике, пределом накопления которой служит механическая устойчивость торфяных отложений. Это делает фактор эрозии внутренним, частью эндогенного развития болот.

В гидрологии болот фаза развития болота характеризуется соответствием форм поверхности и уровня воды в профиле, а также типом и балансом водного питания. В результате форма поверхности болотного массива формирует интенсивность стока воды с болота, а каждой скорости движения воды в деятельном слое соответствует своя растительная группировка или их комплекс [6]. Автор не рассмат-

ривает развитие формы болота независимо от торфонакопления, переводя акцент на связь динамики растительности с динамикой воды.

Концепция развития торфяников прежде всего определяется степенью влияния гидрогеологических условий района. Каждая стадия развития торфяника отражает водно-минеральное питание в плане и профиле торфяника как целое. В результате стадия определяется соответствием формы поверхности торфяника и окружающего его рельефа и гидрогеологических условий. Таким образом, строение торфяника зависит от однородности гидрологических условий, меняющихся под воздействием торфонакопления [7].

Активным фактором эндодинамических сукцессий является противоречие между растительным покровом и образуемой им почвой – обеднение почвенного профиля. Сукцессии являются результатом перераспределения воды при неравномерном росте торфяных отложений. Причина неравномерного роста – в отличии «плодородия» повышений и понижений минерального дна болота [8, 9]. Вывод о том, что торфяная залежь представляет собой закономерное напластование без связи современной растительности и торфяной залежи некорректен. Ошибочность этого утверждения, во-первых, в недопустимости рассматривать вертикальные связи отдельно от горизонтальных, а во-вторых, кроме связи ботанических и трофических признаков причиной сукцессий следует считать водно-физические и механические свойства торфяной залежи, обеспечивающие ее целостность. Саморегулирование растительного покрова не должно рассматриваться в условиях болот как самостоятельный факт. Показательно [10, 11], что смена растительного покрова рассматривается как функция изменения физических, гидрохимических и общетехнических свойств во всем торфяном теле в соответствии с его формой. Кроме того [12], современные растительные комплексы и болотные фации часто отражают прошлую гидродинамику торфяника, в них долго сохраняются реликтовые черты. Поэтому возможность диагностики строения залежи по растительности определяется развитием залежи без изменения гидрогеологических условий или развития «командных» частей болота. Таким образом, стадия развития болота – это отражение в рельефе или форме поверхности торфяника эволюции его гидродинамики.

Отдельным вопросом является период в развитии торфяников, когда на его поверхности возникают процессы деградации. Считается, что период эрозионного комплекса для болота является заключительным, далее оно разрушается [12]. Кроме того, заключительная дистрофная стадия развития болот соответствует прекращению торфонакопления по внутренним причинам [5].

С этим утверждением о заключительной стадии можно согласиться, только если рассматривать торфонакопление на каждом отдельном участке торфяника как независимый от остального торфяника процесс. Процессы деградации никогда не занимают значительную площадь болота. Обычно это центральная наиболее возвышенная часть болотного массива. Деградация и эрозия верхней части залежи торфа обычно сопровождается нарушением ее механической сплошности. Торфяная залежь перенасыщена водой и газами, создающими избыточное давление на вмещающие торфяные отложения. В этих частях торфяника торф теряет связность и становится бесструктурной массой, заполняющей понижения поверхности, охватывая нижележащий слой торфа мощностью до 2–3 м. После периода деградации наступает период естественной регенерации болота и продолжается процесс торфонакопления, а в залежи формируется линза сильно разложившегося торфа. Все эти процессы изменения целого отражены в ботаническом составе торфяной залежи, в ее фациальных признаках. Единственная принципиальная разница между ботаническим составом торфа и его фациальными признаками в том, что фациальные признаки отражают не только состав, но и закономерности в распределении остатков видов растений в залежи в целом. То есть фациальные признаки не принадлежат только отдельным фациям торфа.

Фациальные признаки торфяной залежи

Фациальные признаки торфа, как и торфяные фации, носят диагностический характер образования торфа и развития торфяной залежи как целого. Если в основе развития торфяной залежи лежит механическое уравнивание, то тенденции изменения количества остатков растений должны показывать закономерные изменения или некоторые признаки симметрии и ритма в развитии залежи. Поэтому если рассматривать тренды изменения остатков отдельных видов растений в разных

частях торфяных отложений, то формально эти закономерные изменения могут характеризовать целостность всего тела.

В целом влияние внешних и внутренних факторов развития торфяника в естественном состоянии адаптируется работой его гидрогеомеханической системы. В результате происходит уравнивание (регулирование) различных частей торфяного тела под воздействием совокупности гидростатического, гидродинамического и геомеханического процессов, протекающих в торфянике. Рассмотренные выше факторы развития болотных массивов необязательно интенсифицируют рост торфяника, но всегда отражают систему саморегулирования этого процесса. В результате границы в торфяном теле, которые связаны с его функциональными перестройками, должны быть пространственно нестабильными и симметричными. Нестабильность границ отражает их локальность и прерывистость, что связано с гидродинамикой, а их симметричность отражает гидростатический процесс, направляемый формой ложа и распределением меняющейся по мере роста торфяника его плотности как целого.

Учитывая вышеприведенные рассуждения, следует попробовать выяснить, можно ли, опираясь только на ботанический состав торфа, установить общие черты существования гидрогеомеханической системы торфяника. Это важно по причине широко используемого в практике ботанического описания торфяных залежей. Для примера выбираем простую по строению торфяную залежь с одним преобладающим видом торфа, но при этом будем обращать внимание на фациальные отличия отдельных частей торфяной залежи.

Для пояснения работы гидрогеомеханической системы торфяника выделим на профиле торфяника отдельные блоки по изменчивости формы его дна и поверхности. На рис. 1 показан профиль болота Мудровское (Лихославльский район, Тверская область) и выделены блоки торфяного тела, в каждом из которых сделан отбор керн торфяной залежи через 25 см.

Болото имеет форму, близкую к вытянутому слегка изогнутому овалу с понижением поверхности с востока на запад. Площадь болота около 900 га. Максимальная глубина торфяной залежи около 6 м. Глубина первичной впадины с озером до 13 м.

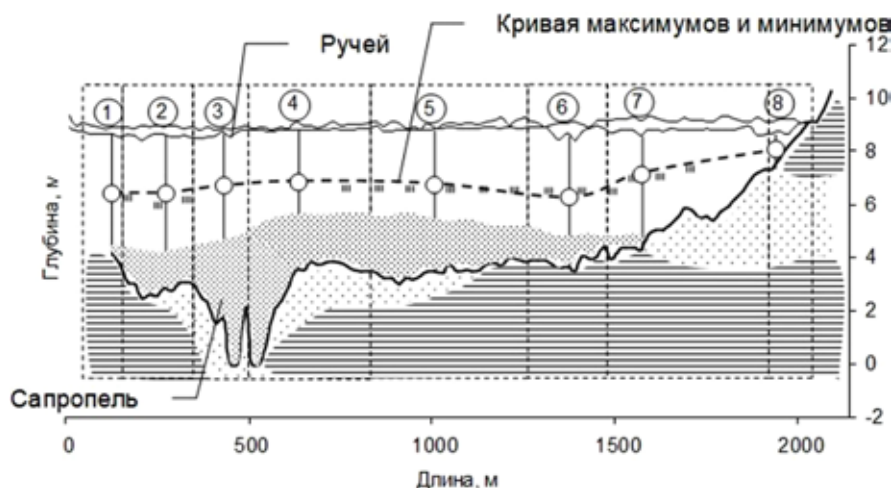


Рис. 1. Профиль болота Мудровское с границами блоков (пунктирные вертикальные линии); пункты отбора торфа под номерами 1–8

Fig. 1. Mudrovskoe mire profile with block boundaries (dotted vertical lines); peat sampling points numbered 1–8

Болото питается атмосферными, поверхностными и грунтовыми межпластовыми водами. Окружающие болото гряды преимущественно сложены моренным суглинком. По характеру залегания торфяное болото относится к виду сточных котловин и является истоком реки Кава бассейна реки Волги. В центре болота в наиболее глубокой части первичное озеро, из которого происходит совместный сброс воды по топи и местами выраженному ручью.

Торфяное болото относится к низинному типу, растительность которого в основном низинного типа лесная и лесо-топяная. Растительность центральной части вблизи озера местами имеет мезотрофный и даже олиго-мезотрофный характер. Торфяная залежь относится к низинному типу осокового вида. Местами с поверхности и над основанием отмечены соответственно древесный и древесно-осоковый, гипново-осоковый и гипновый, сфагновый виды торфа. В наиболее глубокой части болота отмечен сапропель, показывающий характерные сочетания остатков растений и показатель степени разложения торфа на границе сапропеля и торфа. Отметим наличие ручья, влияние которого выражается в периодическом избыточном дренировании поверхности, что приводит к частым выгораниям деятельного слоя. Прилагговая зона также нередко дренируется и выгорает с образованием прослоек угля практически по всей глубине залежи. Одновременно в половодье вода ручья способствует появлению фрагментов животных, водорослей и минеральных

частиц из расположенного выше по течению первичного озера с мощным слоем органического сапропеля.

Результаты распределения степени разложения торфа и остатков растений по глубине залежи представлены на рис. 2–9.

В пункте отбора № 1 выражена тенденция роста показателя степени разложения от гра-

| | R | Древесные | <i>C. lasiocarpa</i> | <i>C. appropinquata</i> | <i>C. limosa</i> | <i>C. caespitosa</i> | <i>C. rostrata</i> | <i>C. omskiana</i> | <i>Scheuchzeria</i> | <i>Pragmites com.</i> | <i>Menyanthes trif.</i> | <i>Equisetum</i> | Сфагновые мхи | Гипновые мхи | Водные виды | Животные |
|------|----|-----------|----------------------|-------------------------|------------------|----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|------------------|---------------|--------------|-------------|----------|
| 0.25 | 50 | 80 | 5 | | 5 | | | | 5 | 5 | 5 | 2 | 3 | | | |
| 0.5 | 50 | 20 | 15 | 15 | 15 | | | | 30 | 30 | 5 | | | | | |
| 0.75 | 35 | | 50 | 10 | 5 | | | | 20 | 10 | | | | 5 | | |
| 1 | 30 | | 50 | 10 | 5 | | | | 15 | 15 | | | | 5 | | |
| 1.25 | 30 | | 45 | 0 | 5 | | | | 20 | 20 | 5 | | | 5 | | |
| 1.5 | 25 | | 45 | 10 | 5 | | | | 20 | 10 | | | | 10 | | |
| 1.75 | 25 | | 45 | 10 | 5 | | | | 30 | 3 | 2 | | | 5 | | |
| 2 | 25 | | 35 | 10 | 5 | | | | 35 | 10 | | | | 5 | | |
| 2.25 | 15 | | 35 | 10 | 5 | | | | 30 | 10 | | | | 10 | | |
| 2.5 | 20 | | 20 | 10 | 10 | | | | 15 | 20 | 5 | | | 20 | | |
| 2.75 | 15 | | 20 | 10 | 5 | | 10 | | 15 | 5 | 5 | | | 30 | | |
| 3 | 15 | | 15 | 15 | | | | | 20 | 5 | 5 | | | 35 | 5 | |
| 3.25 | 15 | | 25 | | | | | | 15 | 5 | 10 | | | 40 | 5 | |
| 3.5 | 15 | | 5 | 5 | | | | | 5 | 5 | 10 | | | 70 | | |
| 3.75 | 15 | | 15 | 15 | | | | | 15 | 5 | 20 | | | 15 | 10 | 5 |

Рис. 2. Распределение остатков растений в торфе по глубине пункта отбора № 1 (рис. 1); общая глубина с сапропелем 4,5 м

Fig. 2. Distribution of plant fragments in peat by depth of sampling point No. 1 (Fig. 1); total depth with sapropel 4.5 m

ницы сапропеля к поверхности залежи. Параллельно степени увеличивается количество остатков осоки шершавоплодной. Остальные осоки показывают фоновые значения по всей глубине. Вместе с осоками очевиден тренд увеличения остатков тростника к поверхности.

| R | Древесные | | | | | | | | | | | Сфагновые мхи | Гипновые мхи | Водные виды | | |
|------|-----------|---------------|------------------|-----------|---------------|-------------|-------------|--------------|----------------|------------------|---------------|---------------|--------------|-------------|----|--|
| | Древесные | C. lasiocarpa | C. appropinquata | C. limosa | C. caespitosa | C. rostrata | C. omskiana | Scheuchzeria | Pragmites com. | Menyanthes trif. | Equisetum sp. | | | | | |
| 0.25 | 35 | 30 | | 20 | | 25 | | 20 | | 3 | | 2 | | | | |
| 0.5 | 50 | 25 | | 20 | | 25 | | 20 | | 5 | | 5 | | | | |
| 0.75 | 35 | 50 | 5 | 10 | | 15 | | | | 10 | 5 | | 3 | 2 | | |
| 1 | 20 | 5 | 55 | 10 | | 5 | | 5 | 10 | 10 | | | | 5 | | |
| 1.25 | 35 | 15 | 35 | 10 | | | | | 30 | 10 | | | | | | |
| 1.5 | 15 | | 40 | 10 | 5 | | | | 35 | 10 | | | | | | |
| 1.75 | 25 | | 45 | 10 | 5 | | | | 30 | 5 | | | 2 | 3 | | |
| 2 | 25 | | 25 | 15 | 10 | | | | 35 | 5 | 5 | | | 5 | | |
| 2.25 | 20 | 40 | | | | | | | 30 | 10 | 5 | | | 5 | 10 | |
| 2.5 | 25 | 25 | | | 5 | | | | 20 | 10 | 10 | | | 10 | 20 | |
| 2.75 | 25 | | 35 | 3 | 2 | | | | 20 | 10 | | | | 10 | 20 | |
| 3 | 20 | | 35 | 3 | 2 | | | | 20 | 5 | 5 | | 5 | 5 | 20 | |
| 3.25 | 20 | | 20 | 20 | | | | | 10 | 10 | 10 | | 5 | 5 | 20 | |
| 3.5 | 20 | | 30 | | | | | | 10 | | | | 30 | 20 | 10 | |
| 3.75 | 30 | | 35 | 15 | | | | | 30 | 5 | 10 | | | 5 | | |

Рис. 3. Распределение остатков растений в торфе по глубине пункта отбора № 2 (рис. 1); общая глубина с сапропелем 5,5 м

Fig. 3. Distribution of plant fragments in peat by depth of sampling point No. 2 (Fig. 1); total depth with sapropel 5.5 m

Изменение остатков гипновых мхов имеет обратный характер как и содержание остатков вахты. Содержание остатков шейхцерии имеет максимум в центральной части залежи. В целом следует отметить, что большинство остатков показывают очевидные тренды. Особенно ясно устанавливается средняя зона на глубине 1,75–2,25 м, отделяющая тенденции снижения содержания мхов и роста количества остатков осоки и древесных растений.

Пункт № 2 характеризуется менее выраженной тенденцией изменения показателя степени разложения и содержания осоки. На фоне других остатков выделяется зона слоя с повышенным содержанием в центре залежи остатков шейхцерии. Залежь условно делится на две части – нижнюю и верхнюю – относительно центральной на глубине 1,75–2,25 м.

В части залежи на рис. 3 аналогично выделяются три условных зоны. Часть остатков показывают фоновый характер их количества. Фоновый характер не является принадлежностью вида растений и в каждом отдельном случае их набор может меняться. В то же время тенденции содержания остатков доминирующих видов или их групп указывают на их диагностический характер, что находит отражение в устойчивой тенденции показателя степени разложения торфа.

На рис. 5 отмечается появление новой по характеру зоны – слой у поверхности из остатков низинного сфагнового мха. Вместе с

| R | Древесные | | | | | | | | | | | Сфагновые мхи | Гипновые мхи | Водные виды | Водоросли | Пухonos | Животные |
|------|---|---------------|------------------|-----------|---------------|-------------|-------------|--------------|----------------|------------------|-----------|---------------|--------------|-------------|-----------|---------|----------|
| | Древесные | C. lasiocarpa | C. appropinquata | C. limosa | C. caespitosa | C. rostrata | C. omskiana | Scheuchzeria | Pragmites com. | Menyanthes trif. | Equisetum | | | | | | |
| 0.25 | Отбор невозможен из-за низкой плотности торфа | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.5 | Отбор невозможен из-за низкой плотности торфа | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.75 | 35 | | 35 | 10 | | | | | 10 | 5 | | 10 | 30 | | | | |
| 1 | 35 | 5 | 20 | 20 | 5 | | | 15 | 10 | 10 | 5 | | 10 | | | | |
| 1.25 | 25 | 5 | 20 | 10 | | 10 | | 25 | 5 | 5 | 5 | | 5 | 10 | | | |
| 1.5 | 20 | | 20 | 10 | 5 | | 20 | 10 | | | 5 | | 20 | 10 | | | |
| 1.75 | 20 | | 20 | 10 | 10 | | 5 | | 10 | | | | 35 | | | 10 | |
| 2 | 20 | 15 | 10 | 5 | 10 | | 5 | 5 | | 5 | | | 35 | | | 10 | |
| 2.25 | 20 | 5 | | 5 | | | | 5 | 10 | | | | 75 | | | | |
| 2.5 | 25 | | 10 | 10 | 5 | | | 10 | 10 | 5 | 5 | 10 | 25 | 10 | | | |

Рис. 4. Распределение остатков растений в торфе по глубине пункта отбора № 3 (рис. 1); общая глубина с сапропелем 7,0 м

Fig. 4. Distribution of plant fragments in peat by depth of sampling point No. 3 (Fig. 1); total depth with sapropel 7.0 m

| R | Древесные | | | | | | | | | | | Сфагновые мхи | Гипновые мхи | Водные виды | Животные | | |
|------|---|---------------|------------------|-----------|---------------|-------------|-------------|--------------|----------------|------------------|---------------|---------------|--------------|-------------|----------|----|--|
| | Древесные | C. lasiocarpa | C. appropinquata | C. limosa | C. caespitosa | C. rostrata | C. omskiana | Scheuchzeria | Pragmites com. | Menyanthes trif. | Equisetum sp. | | | | | | |
| 0.25 | Отбор невозможен из-за низкой плотности торфа | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.5 | Отбор невозможен из-за низкой плотности торфа | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.75 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | 10 | |
| 1 | 25 | 5 | 20 | 15 | 5 | | | | 10 | 10 | 10 | | | | 15 | 10 | |
| 1.25 | 30 | 5 | 20 | 15 | 5 | | | | 10 | 10 | 10 | | | | 15 | 10 | |
| 1.5 | 20 | | 30 | 20 | | | 10 | 5 | | 5 | 20 | | | | 10 | 5 | |
| 1.75 | 20 | | 30 | 20 | 5 | | | 5 | | 15 | | | | | 20 | 5 | |
| 2 | 20 | | 20 | 10 | 5 | | | 10 | | 10 | 10 | | 5 | 20 | 10 | | |
| 2.25 | 15 | | 15 | 10 | | 5 | 10 | | 10 | 10 | 5 | | 10 | 25 | | | |

Рис. 5. Распределение остатков растений в торфе по глубине пункта отбора № 4 (рис. 1); общая глубина с сапропелем 5 м

Fig. 5. Distribution of plant fragments in peat by depth of sampling point No. 4 (Fig. 1); total depth with sapropel 5.0 m

тем центральная зона сохраняется на глубине 1,25–1,75 м, но виды, характеризующие ее и степень разложения, показывают симметричное уменьшение показателей относительно центральной зоны. Это осоки, гипновые мхи

| | R | Древесные | C. lasiocarpa | C. appropinquata | C. limosa | C. caespitosa | C. rostrata | C. omskiana | Scheuchzeria | Pragmites com. | Menyanthes trif. | Equisetum | Сфагновые мхи | Гипновые мхи | Водные виды | Животные |
|------|----|-----------|---------------|------------------|-----------|---------------|-------------|-------------|--------------|----------------|------------------|-----------|---------------|--------------|-------------|----------|
| 0.25 | 20 | | 5 | 5 | | | | | | | | | 85 | 5 | | |
| 0.5 | 20 | | 5 | 5 | | | | | | | | | 85 | | | |
| 0.75 | 20 | | 5 | 5 | | | | | | | 5 | | 30 | 10 | | |
| 1 | 25 | | 15 | 15 | | | | 10 | 20 | | | | 75 | | | |
| 1.25 | 25 | | | 10 | | | | 10 | | 5 | | | 75 | | | |
| 1.5 | 30 | 5 | 25 | 5 | 5 | | | 15 | 30 | | 5 | | 10 | | | |
| 1.75 | 20 | | 15 | 20 | | | | 30 | | 10 | 10 | | 10 | 5 | | |
| 2 | 20 | | 15 | 5 | | | | 10 | | | 10 | | 50 | 30 | | |
| 2.25 | 20 | | | 5 | 5 | | | 5 | | 5 | 10 | | 50 | 20 | | |
| 2.6 | 25 | | 5 | 5 | 5 | | | 5 | 10 | | | | 60 | 10 | | |

Рис. 6. Распределение остатков растений в торфе по глубине пункта отбора № 5 (рис. 1); общая глубина с сапропелем 5,25 м

Fig. 6. Distribution of plant fragments in peat by depth of sampling point No. 5 (Fig. 1); total depth with sapropel 5.25 m

| | R | Древесные | C. lasiocarpa | C. appropinquata | C. limosa | C. caespitosa | C. rostrata | C. omskiana | Scheuchzeria | Pragmites com. | Menyanthes trif. | Equisetum | Сфагновые мхи | Гипновые мхи | Водные виды | Животные |
|------|--|-----------|---------------|------------------|-----------|---------------|-------------|-------------|--------------|----------------|------------------|-----------|---------------|--------------|-------------|----------|
| 0.25 | Угольная прослойка (возможно травяно-моховой торф) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.5 | Угольная прослойка (возможно травяно-моховой торф) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.75 | 50 | 55 | | 10 | | 5 | | | | 15 | 10 | 5 | | | | |
| 1 | 30 | 10 | 20 | 10 | 5 | 10 | | | 25 | 5 | | 5 | 5 | 5 | | |
| 1.25 | 30 | 10 | 20 | 5 | 5 | 5 | | | 30 | | 10 | | 5 | 10 | | |
| 1.5 | 30 | 25 | 10 | 5 | 5 | | | | 30 | 10 | 3 | 2 | | 10 | | |
| 1.75 | 25 | | 35 | 10 | 5 | | | | 30 | 15 | 5 | | | | | |
| 2 | 25 | | 40 | 5 | 5 | | | | 35 | | | | | 10 | | |
| 2.25 | 30 | | 45 | 5 | 5 | | | | 35 | | | | | 10 | | |
| 2.5 | 25 | | 40 | | 10 | | | | 30 | 10 | | | | 10 | | |
| 2.75 | 25 | | 35 | | | | | | 25 | 20 | | | | 20 | | |
| 3 | 35 | 5 | 30 | 25 | | | | | 15 | 15 | | | | 10 | | |
| 3.25 | 20 | 5 | 20 | 10 | | | | | 30 | 10 | 5 | | | 20 | | |
| 3.5 | 15 | | 10 | 5 | | | | | 10 | 5 | | | | 70 | | |
| 3.75 | 35 | 5 | 10 | | 10 | | | | 10 | 30 | 10 | | 5 | 20 | | |

Рис. 7. Распределение остатков растений в торфе по глубине пункта отбора № 6 (рис. 1); общая глубина с сапропелем 4,7 м

Fig. 7. Distribution of plant fragments in peat by depth of sampling point No. 6 (Fig. 1); total depth with sapropel 4.7 m

и тростник. Отмечаются несколько меньше остатки фоновых видов. Данный пример позволяет предположить, что диагностические остатки видов растений меняют тенденцию, сохраняя свое значение.

В пункте № 5 распределение остатков сфагнового торфа совпадает с симметричными относительно центральной зоны аналогичными трендами других диагностических остатков растений. Эдификаторные свойства сфагновых мхов в растительном покрове подчеркивают перестройку всей системы торфонакопления, вписываются в существующие тренды и усиливают их.

Данный пример (рис. 7) имеет общие черты с данными пункта № 1, проявляя признаки симметрии относительно условной вертикальной оси симметрии. Оба блока относятся к лесным участкам болота относительно центральной топи.

В данном пункте № 7 болото приобретает еще более вид лесного участка. Эта тенденция прослеживается в торфяной залежи. Снижается роль сфагновых мхов. По сумме трендов изменения остатков растений можно предположить завершение некоторого цикла и в развитии данного блока торфяной залежи от-

| | R | Древесные | C. lasiocarpa | C. appropinquata | C. limosa | C. caespitosa | C. rostrata | C. omskiana | Scheuchzeria | Pragmites com. | Menyanthes trif. | Equisetum | Сфагновые мхи | Гипновые мхи | Водные виды | Животные |
|------|-------------------------|-----------|---------------|------------------|-----------|---------------|-------------|-------------|--------------|----------------|------------------|-----------|---------------|--------------|-------------|----------|
| 0.25 | 50 | 30 | 10 | 10 | | 10 | | | | | 25 | 5 | 5 | 5 | | |
| 0.5 | 50 | 35 | 10 | 20 | | | | | | | 20 | | 5 | 10 | | |
| 0.75 | 40 | 5 | 15 | 30 | 5 | 5 | | | | | 20 | | 5 | 15 | | |
| 1 | 30 | 5 | 45 | 10 | 5 | | | | 5 | 5 | | | 20 | 5 | | |
| 1.25 | 35 | 5 | 45 | | 5 | | | | 10 | 20 | | | 5 | 10 | | |
| 1.5 | 30 | | 55 | 5 | | | | | 15 | 15 | | | | | 10 | |
| 1.75 | 35 | 5 | 40 | 10 | 5 | | | | 15 | 15 | | | | | 5 | |
| 2 | 35 | | 30 | 5 | 5 | | | | 10 | 15 | 5 | | | | 30 | |
| 2.25 | 55 | 10 | | 20 | | | | | 50 | 10 | | | 5 | 5 | | |
| 2.5 | 55 | 10 | 15 | 15 | | | | | 50 | | | | | 10 | | |
| 2.75 | 20 | 5 | 35 | | | | | | 20 | 5 | | | 5 | 30 | | |
| 3 | Угли (осоково-гипновый) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.25 | Угли (осоково-гипновый) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.5 | ? | 20 | 10 | 10 | | | | | | | | | 55 | | 5 | |

Рис. 8. Распределение остатков растений в торфе по глубине пункта отбора № 7 (рис. 1); общая глубина с сапропелем 4,0 м

Fig. 8. Distribution of plant fragments in peat by depth of sampling point No. 7 (Fig. 1); total depth with sapropel 4.0 m

| R | Древесные | C. lasiocarpa | C. arthropiniquata | C. limosa | C. caespitosa | C. rostrata | C. omskiana | Scheuchzeria | Pragmites com. | Menyanthes trif. | Equisetum | Сфагновые мхи | Гипновые мхи | Водные виды | Животные | |
|------|--|------------------------|--------------------|-----------|---------------|-------------|-------------|--------------|----------------|------------------|-----------|---------------|--------------|-------------|----------|--|
| 0.25 | Уголь, много древесных и крупных травяных остатков | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.5 | 55 | Березовый торф | | | | | | | + | + | + | | | | | |
| 0.75 | 50 | Сосновый низинный торф | | | | | | | 10 | 10 | | | | | | |
| 1 | 50 | Березовый торф | | | | | | | 10 | | | | | | | |
| 1.25 | 55 | Ольховый торф | | | | | | | + | + | | | | | | |

Рис. 9. Распределение остатков растений в торфе по глубине пункта отбора № 8 (рис. 1)

Fig. 9. Distribution of plant fragments in peat by depth of sampling point No. 8 (Fig. 1)

носителем ее центральной зоны на глубине 1,0–2,0 м.

Окраина торфяника (рис. 9) всегда имеет выраженную степень самостоятельности, подтверждая тенденцию развития смежного блока.

Связь суммы трендов изменения количества остатков отдельных видов растений с блоковой структурой торфяника также подчеркивается. Можно предположить, что каждый блок характеризуется собственными режимами функционирования. Обоснованность и дробность блоковой структуры торфяных отложений требует специальной методики и в данной работе не рассматривается. Поэтому в данном примере представлены только общие приемы работы.

Все растительные остатки разделяются на три условные группы: *фоновые (молчащие), случайные и закономерные (диагностические и доминантные)*. Последние имеют выраженные тенденции в распределении количества остатков. По совокупности закономерных остатков хорошо видно, что практически всегда в их распределении наблюдается симметрия относительно центра залежи или ее обеих границ. Степень разложения торфа в залежи в целом распределена в соответствии с равнозначными значениями остатков травяных и моховых растений в торфе. В торфяной залежи существует некоторая ось или кривая симметрии, которая устанавливается по распределению «закономерных» остатков. Можно предположить, что эта кривая отражает момент в эволюции каждого блока торфяной залежи (на это указывает разница в прочности

залежи равной мощности – центральные части, зыбкие переувлажненные мезотрофные, сложены в верхней части сфагновым торфом), в течение которого залежь теряет сплошность. Например, в приведенном примере, что необязательно, небольшой слой шейхцериевого торфа (рис. 1) совпадает с кривой симметрии.

Для иллюстрации симметрии в распределении остатков в залежи приведена модель (рис. 10). Основу этой модели составляет изменение количества диагностических или доминирующих остатков в пределах любого сочетания типов торфа в залежи. Прямые линии (диагонали) от 0 до 100% являются трендами. В реальности изменения остатков будут больше похоже на экспонентные кривые, в идеальных условиях соединяющие 0 и 100%. Установим 4 основных полных цикла изменения количества остатков: 1) 0, 50, 100%; 2) 0, 50, 0%; 100, 50, 0%; 100, 50, 100%. В реальности может быть, например: 20, 25, 35, 20, 10%.

Модель предполагает рассматривать виды торфяной залежи как части одной полночленной схемы. Учитывая, что низинный тип залежи, приведенный в данной работе, не является заключительным. Далее следует появление переходной зоны (условно, это слой переходного торфа), в период существования которой происходит смена доминантов евтрофного типа на доминанты схожей морфологии олиготрофного типа.

В модели рассматриваются отдельные виды растений и их остатки, а в торфе насчитывают от одного-двух до десятков видов. Все они могут иметь собственные тенденции, но для нашей задачи важно установить некоторую ось симметрии как результата их суммарного или



Рис. 10. Модель изменения количества остатков видов растений в торфяной залежи

Fig. 10. Model of changes in the amount of plant species fragment in peat deposits

группового характера. Частные тенденции остатков показывают на особенности фациальных или экологических условий в деятельном слое болот. Например, на их устойчивость даже в случае смены минерализации вод или на их отсутствие или прерывание их существования при изменении водности.

Ось симметрии постепенно смещается вверх по мере роста залежи, сохраняя близкое к центру положение, но это необязательно. Так как симметричное распределение количества доминирующих остатков в торфяной залежи соответствует изменению физических свойств торфяной залежи в целом. Таким образом, торфяная залежь по мере своего роста постоянно находится в состоянии гидрогеомеханического равновесия, отраженного в характере фациальных признаков торфяной залежи. С позиции геоботанической оценки болота – экологические режимы на его поверхности соответствуют механическому равновесию торфяной залежи и скоординированному росту отдельных блоков торфяной залежи.

Важно отметить, что система подсчета количества остатков – искусственная и при уменьшении мощности слоев торфа с традиционной – 0,25 м до близких к годовому приросту торфа – 0,005 м даст более подробный ряд данных. Использование экспоненциальной кривой позволит в перспективе рассчитывать количество остатков в торфе отдельных видов растений, образовавшихся условно за 1 год.

Значение показателя степени разложения, как было показано в разработанной институтом «Геолторфразведка» методике [13], тесно связано с видами и группами растений и количеством их остатков в торфе. Вместе с тем степень разложения является связующим понятием между ботаническими и физическими свойствами, прежде всего с плотностью торфяной залежи [14]. Это позволяет подтвердить связь фациальных признаков торфяного тела с его целостностью, которую можно сформулировать так: фациальные признаки торфа в условном слое годового прироста торфяной залежи являются результатом ее гидрогеомеханического уравнивания, а это предполагает, что модель распределения остатков растений в торфе и процессы торфообразова-

ния являются функцией состояния торфяного тела.

Библиографический список

1. *Аболин Р.И.* Опыт эпигенетической классификации болот // *Болотоведение*. – 1914. № 3–4. – С. 231–285.
2. *Галкина Е.А.* К вопросу о географических (региональных) типах болотных массивов // *Природа болот и методы их исследования*. – Л.: Наука, 1967. – С. 6–11.
3. *Козловская Л.С., Медведева В.М., Пьявченко Н.И.* Динамика органического вещества в процессе торфообразования. – Л.: Наука, 1978. – 176 с.
4. *Тюремнов С.Н.* Торфяные месторождения и их разведка. – М., Л.: ГОСЭНЕРГОИЗДАТ, 1949.
5. *Лопатин В.Д.* Общие закономерности возникновения, развития и распространения микрокомплексного растительного покрова // *Вопросы экологии растений болот, болотных местообитаний и торфяных залежей*. – Петрозаводск, 1985. – С. 5–30.
6. *Иванов К.Е.* Водобмен в болотных ландшафтах. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 280 с.
7. *Тюремнов С.Н.* Торфяные месторождения. – М., Л.: ГОСТОПТЕХИЗДАТ, 1940. – 372 с.
8. *Прозоров Ю.С.* Закономерности развития, классификация и использование болотных биогеоценозов. – М.: Наука, 1985. – 210 с.
9. *Пьявченко Н.И.* Торфяные болота, их природное и хозяйственное значение. – М.: Наука, 1985. – 152 с.
10. *Кудряшов В.В.* Торфяник, как растущее тело. Статья 1 // *Вестник торфяного дела*. – 1929. – № 1. – С. 29–48.
11. *Кудряшов В.В.* Торфяник, как растущее тело. Статья 2 // *Вестник торфяного дела*. – 1929. – № 2. – С. 22–37.
12. *Богдановская-Гиеней И.Д.* О классификации болотных массивов // *Вестн. Ленин. ун-та*. – 1949. – № 7. – С. 55–61.
13. ГОСТ 28245-89 Торф. Методы определения ботанического состава и степени разложения. – М.: Стандартинформ, 2006. – 7 с.
14. *Лиштван И.И., Базин Е.Т., Косов В.И.* Физические свойства торфа и торфяных залежей. – Мн.: Наука и техника, 1985. – 249 с.

УДК 622.331.002.5:674.88

Горячёв В.И.

Горячёв Валентин Иванович, д. т. н., профессор кафедры технологии и автоматизации машиностроения Тверского государственного технического университета, 170023, Тверь, Маршала Конева, 12

Яблонев А.Л.

Яблонев Александр Львович, д. т. н., зав. кафедрой гидравлики, теплотехники и гидропривода Тверского государственного технического университета, 170023, Тверь, Академическая, 12, alvovich@mail.ru

Щербакова Д.М.

Щербакова Дарья Михайловна, старший преподаватель кафедры гидравлики, теплотехники и гидропривода ТвГТУ. dscherbakowa@yandex.ru

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛИЧНОГО ГРУНТА И ГУМУСОВОГО КОНЦЕНТРАТА МЕХАНИЧЕСКИМ ОБЕЗВОЖИВАНИЕМ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ

Аннотация. Основным исходным сырьем в современном производстве торфяной продукции является фрезерный торф. Однако его добыча и хранение имеют ряд серьезных недостатков, основные из которых – сезонность и зависимость естественной сушки фрезерной крошки в полевых условиях от атмосферных осадков, саморазогревание добытого фрезерного торфа в складских единицах в процессе хранения. Все это негативно влияет на физико-технические свойства исходного сырья и качество готовой продукции. Устранить проблемные недостатки предлагается применением механического обезвоживания торфяного сырья в заводских условиях. В основе такой переработки лежат процессы: экскавация, сепарация и дробление твердых конгломератов торфа, перемешивание торфомассы в смесителе и механическое отжатие торфомассы

Goryachev V.I.

Goryachev Valentin I., Dr. sc., Prof. of the Chair of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Tver State Technical University, 170023, Tver, Marshal Konev, 12

Yablonev A.L.

Yablonev Aleksandr L., Dr. sc., Prof., Head of the Chair of Hydraulics, Heat Engineering and Hydraulic Drive, Tver State Technical University. alvovich@mail.ru

Scherbakova D.M.

Scherbakova Darya M., Senior Lecturer of the Chair of Hydraulics, Heat Engineering and Hydraulic Drive, Tver State Technical University. dscherbakowa@yandex.ru

DESIGN AND TECHNOLOGICAL SUBSTANTIATION OF THE PRODUCTION OF GREENHOUSE SOIL AND HUMUS CONCENTRATE BY MECHANICAL DEHYDRATION OF PEAT RAW

Abstract. The main raw material in the modern production of peat products is milled peat. However, its extraction and storage have a number of serious drawbacks, the main of which are the seasonality and dependence of the natural drying of milling chips in the field on atmospheric precipitation, self-heating of the extracted milled peat in storage units during storage. All this negatively affects the physical and technical properties of the feedstock and the quality of the finished product. It is proposed to eliminate problematic shortcomings by using mechanical dehydration of peat raw materials in the factory. Such processing is based on the following processes: excavation, separation and crushing of solid peat conglomerates, mixing of peat mass in a mixer and mechanical squeezing of peat mass in a filter press with the release of a coarse fibrous fraction with a decomposition degree of not more than 12% and a hu-

в фильтр-прессе с выделением грубодисперсной волокнистой фракции степенью разложения не более 12% и гумусового концентрата с содержанием в сухом веществе 80–85% гумуса.

Ключевые слова: смеситель, фильтр-пресс, отстойник, торф, тепличный грунт, гумусовый концентрат, перемешивание, обезвоживание.

mus concentrate with a dry matter content of 80–85% humus.

Keywords: mixer, filter-press, sump, peat, greenhouse soil, humus concentrate, mixing, dehydration.

Устранить сильную зависимость добычи торфа от погодных условий и повысить качество выпускаемой торфяной продукции возможно применением методов искусственного обезвоживания в заводских условиях [1]. Среди известных методов наиболее перспективными являются способы, в основе которых лежат процессы фракционирования торфяного сырья гидроразмывом [2–5].

Технология фракционирования торфяного сырья гидроразмывом включает этапы (операции): экскавацию торфа-сырца, его транспортировку на склад завода, сепарацию торфа от древесных и других нетехнологических включений, дробление крупных торфяных кусков (расчесывание) и складирование торфа-сырца.

Со склада торфяное сырье подается в гидроразбиватель для получения гидромассы, которая затем подается в фильтрующие центрифуги для обезвоживания и фракционирования на два класса крупности с частицами смеси средневзвешенным диаметром до 1,0 мм и с частицами более 1,0 мм (крупноволокнистая часть торфа). Крупная фракция подается на механическое отжатие в фильтр-пресс, где обезвоживается до влажности 70–75%. Мелкая фракция, вышедшая из фильтрующей центрифуги, и фильтрат, полученный из фильтр-пресса, после сгущения в осадительной центрифуге (гидроциклоне) до гумусового концентрата с содержанием гумуса в сухом веществе 80–85% направляется в переработку на удобрение [6].

Технология предусматривает в дальнейшем искусственную сушку волокнистой массы торфа до влажности 50% и производство из нее кипованной торфяной продукции на экспорт.

При всех достоинствах к недостаткам технологии заводского фракционирования торфяного сырья гидроразмывом относятся дополнительное увлажнение сухой части торфа

в гидроразбивателе до влажности 95–97% (20–30 кг воды на 1 кг сухого вещества) и, как следствие, большие энергозатраты на циркуляцию суспензии в центрифугах.

Влажность тепличного грунта из мало-разложившегося торфа при выращивании овощной продукции в теплице (огурцы, перцы, томаты) поддерживается в оптимальном диапазоне 75–85%. Такой грунт можно производить отжатием торфа-сырца в фильтр-прессе. При этом для подготовки торфомассы к обезвоживанию целесообразно заимствовать оборудование и процессы из технологий производства субстратных торфоблоков или теплоизоляционных плит [7, 8].

В данной работе рассматривается вариант заводской переработки торфа-сырца верхового (переходного) типа степенью разложения до 30% с получением тепличного грунта и гумусового концентрата. В основе технологии приняты процессы: перемешивания торфомассы, ее отжатие в фильтр-прессе с выходом волокнистой массы и суспензии (фильтрата) с последующим сгущением твердых частиц осаждением в отстойнике.

Предполагаемая технология круглогодичного производства тепличного грунта и гумусового концентрата состоит из следующих операций (рис. 1).

После экскавации, транспортировки и подготовки на заводском складе [3–5] торф-сырец, аналогично производству субстратных торфоблоков или теплоизоляционных плит [7, 8], подается в лопастной двухвальным смеситель, где в результате перемешивания с водой влажность торфомассы достигает 92–94%. Из смесителя торфомасса дозатором ровным слоем непрерывно подается в фильтр-пресс типа ПЛР [9–12]. Из пресса в результате отжима выходит волокнистая масса ($d > 1,0$ мм) степенью разложения не более 12%, влажност-



Рис. 1. Технологический процесс производства из торфа тепличного грунта и гумусового концентрата: R – степень разложения; w – влажность; d – средневзвешенный диаметр частиц торфяной смеси

Fig. 1. Technological process of production of greenhouse soil and humus concentrate from peat: R – degree of decomposition; w – humidity; d – weighted average particle diameter of the peat mixture

тью 75–80% и суспензия со средневзвешенным диаметром смеси частиц торфа и гумуса до 1,0 мм. Суспензию направляют из пресса в отстойник на сгущение, в результате чего получают гумусовый концентрат влажностью 80–90% и содержанием гумуса в сухом веществе 80–85%. Воду в виде мути из отстойника частично возвращают в смеситель, а избыток сливают в канализацию.

Добычу и подачу торфа-сырца к перемешиванию осуществляют аналогично технологии фракционирования торфяного сырья гидро-размывом [3, 4], гумусовый концентрат и волокнистую массу торфа после расчесывания в волк-машине и известкования используют в качестве основных компонентов тепличного грунта и экологически чистого удобрения при выращивании овощей.

Изменение содержания воды и сухого вещества в 1 тонне торфа-сырца в процессе подготовки торфомассы к перемешиванию и ее отжатия в фильтр-прессе показано на рис. 2. В смеситель для получения торфомассы влажностью 93% из 1 тонны торфа-сырца влажност-

тью 90% добавляют 430 кг воды в виде мути из отстойника (возврат).

Подготовленная в смесителе торфомасса в количестве 1430 кг отжимается в фильтр-прессе. После отжатия получается осадок в виде плиток из крупных волокнистых частиц средневзвешенным диаметром $d > 1,0$ мм в количестве 300 кг (75 кг сухого вещества и 225 кг воды) и суспензия с содержанием смеси твердых торфяных частиц диаметром $d \leq 1,0$ мм в количестве 1130 кг (25 кг сухого вещества и 1105 кг воды). Волокнистая масса торфа после расчесывания и известкования используется для производства тепличного грунта и другой торфяной продукции (кипованный торф на экспорт, питательные субстраты, подстилка, фильтры и др.).

Суспензия (фильтрат) с содержанием сухого вещества 3% (преимущественно в виде гумусовых частиц) подвергается сгущению осаждением твердых частиц под действием сил гравитации в отстойнике до средней влажности 87%. Эта масса представляет собой гумусовый концентрат, который используется для про-

| Исходные компоненты | | | |
|---|---|--|--|
| Торф-сырец $R = 25\%$; $w = 90\%$ | | Вода (возврат из отстойника) | |
| с.в. – 100 кг | $W = 900$ кг | $W = 430$ кг | |
| Приготовление торфомассы влажностью 93% перемешиванием | | | |
| с.в. – 100 кг | | $W = 1330$ кг | |
| Обезвоживание торфомассы отжатием в фильтр-прессе | | | |
| Волокнистая масса – $w = 75\%$ | | Суспензия (фильтрат) – $w = 97\%$ | |
| с.в. – 75 кг | $W = 225$ кг | с.в. – 25 кг | $W = 1105$ кг |
| Сгущение суспензии в отстойнике | | | |
| Волокнистая масса торфа $w = 75\%$ и $R \leq 6\%$ на приготовление тепличного грунта и другой торфяной продукции (торф на экспорт, питательные субстратные смеси, фильтраты, подстилки и др.) | Гумусовый концентрат | | |
| | $w = 87\%$; с.в. – 75 кг $W = 167$ кг | Вода в виде мути в канализацию $W = 508$ кг | Вода на приготовление торфомассы $W = 430$ кг |

Рис. 2. Изменение баланса содержания воды (W) и сухого вещества (с.в.) 1 тонны торфа-сырца ($R = 25\%$, $w = 90\%$) отжатием в фильтр-прессе: R – степень разложения; w – влажность

Fig. 2. Change in the balance of water content (W) and dry matter (d.m.) of 1 ton raw peat ($R = 25\%$, $w = 90\%$) by squeezing in a filter-press: R – degree of decomposition; w – humidity

изводства торфогумусового бактериального удобрения «Супергумус» [12].

Если принять содержание гумусовых частиц ($d \leq 0,25$ мм) в торфомассе в смесителе равным $q = 25$ кг и предположить, что частицы распределены равномерно в жидкой фазе, то можно рассчитать концентрацию гумуса в отстойнике после сгущения и в волокнистой массе отжатого торфа:

- концентрация гумуса (C) в жидкой фазе торфомассы в смесителе перед отжатием:

$$C = qw = 251330 = 0,019 \text{ кг гумуса/кг воды};$$

- количество гумуса в волокнистой массе торфа (q_e):

$$q_e = C \cdot W_e = 0,019 \cdot 225 = 4,23 \text{ кг},$$

или в процентах:

$$q'_e = (q_e / 75) \cdot 100 = (4,23 / 75) \cdot 100 = 5,6\%;$$

- содержание гумуса q_k в концентрате сухого вещества после сгущения в отстойнике:

$$q_k = q - q_e = 25 - 4,23 = 20,77 \text{ кг},$$

или в процентах:

$$q'_k = (q_k / q) \cdot 100 = (20,77 / 25) \cdot 100 = 83\%.$$

Таким образом, в результате отжатия в фильтр-прессе торфомассы влажностью 93%, приготовленной перемешиванием торфа-сырца степенью разложения 25%, можно получить два качественных продукта: гумусовый кон-

центрат с содержанием гумуса в сухом веществе 83% и волокнистую массу малоразложившегося торфа с содержанием гумуса около 6%.

Анализ баланса компонентов торфа-сырца (сухого вещества, гумуса, воды) в процессах получения из него торфомассы в смесителе, ее отжатия в фильтр-прессе и сгущения суспензии в отстойнике показывает, что из 1 тонны торфа-сырца получается примерно: 300 кг малоразложившегося торфа (содержание гумуса около 6%), 190 кг гумусового концентрата влажностью 87%, 500 кг воды в виде мути (сбрасывается в канализацию) и 430 кг воды в виде возврата (отправляется в смеситель для приготовления торфомассы влажностью 93%). Из волокнистой массы торфа и гумусового концентрата готовят различные, востребованные садоводами и огородниками, экологически чистые торфяные грунты и питательные смеси [12], реализация которых осуществляется с высокой добавленной стоимостью.

Выводы

1. В настоящее время к освоению месторождений торфа предъявляются высокие требования по соблюдению норм экологии и пожарной безопасности. Поэтому альтернативой существующему послойно-поверхностному фрезерному способу добычи торфа может быть карьерный способ, основой которого является экскавация залежи на всю глубину промышленного слоя.

2. Торф – сложная многокомпонентная система, каждая составляющая которого обладает уникальными физико-механическими и химическими свойствами. Отжатием торфомассы в фильтр-прессе ее можно разделить как минимум на два качественно разных продукта и использовать каждую выделенную часть с высокой эффективностью.
3. Технологии добычи экскавацией и переработки торфяного сырья в продукцию сельскохозяйственного назначения не зависят от внешних факторов, производство осуществляется круглый год в заводских условиях с получением ценной торфяной продукции с высокой рентабельностью.
4. Расчетом показано, что механическим отжатием в фильтр-прессе 1 тонны верхового (переходного) торфа-сырца влажностью 90% и степенью разложения 25% можно получить примерно 300 кг (около 1 м³) тепличного грунта в виде волокнистой торфомассы влажностью 75% и 200 кг гумусового концентрата влажностью 87% с содержанием гумуса в сухом веществе 83%.
5. Объекты по производству торфяной продукции для выращивания овощных культур рационально совмещать с тепличными комплексами.

Библиографический список

1. *Горячев В.И.* Искусственное обезвоживание торфа: монография. – Тверь: ТвГТУ, 2012. – 184 с.
2. *Горячев В.И., Михеев И.И., Яблонев А.Л., Фомин К.В.* Машины и процессы фракционирования торфяного сырья гидроразрывом // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-техн. журнал). – 2018. – № 7 S38. – С. 3–10.
3. Патент РФ № 2705124. МПК C10F 7/04. Технологический комплекс гидромеханического фракционирования торфяного сырья: № 2019110841 заявл. 11.04.2019: опублик. 05.11.2019 / Михеев И.И., Горячев В.И., Щербакова Д.М.; заявитель Тверской государственный технический университет. – 6 с.
4. *Михеев И.И., Горячев В.И., Щербакова Д.М.* Технологический круглогодичный комплекс гидромеханического фракционирования торфяного сырья // Труды Инсторфа. – 2019. – № 20 (73). – С. 25–28.
5. *Лазарев А.В., Корчунов С.С. и др.* Справочник по торфу. – М.: Недра, 1982. – 760 с.
6. ГОСТ Р 52067-2003 «Торф для производства питательных грунтов». URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200032117> (дата обращения 24.10.2020).
7. *Горфин О.С.* Машины и оборудование по переработке торфа. – Москва: Недра, 1990. – 318 с.
8. *Горячев В.И., Михеев И.И., Щербакова Д.М.* Интенсификация обезвоживания мало-разложившегося торфа в ленточно-роликовом прессе типа ПЛР // Труды Инсторфа. – 2020. – № 21 (74). – С. 30–33.
9. *Михеев И.И., Горячев В.И., Щербакова Д.М.* Ленточный фильтр-пресс непрерывного действия с равномерной подачей отжимаемого материала в прессовое пространство // Вестник ТвГТУ. Серия: Технические науки. – 2019. – № 1 (1). – С. 46–51.
10. Патент РФ № 2102363, МПК C05F 11/02, C05G 1/02 Способ получения комплексного удобрения на основе торфа: № 96103799/25 заявл. 27.02.1996: опублик. 20.01.1998 / Горячев В.И., Стрелец Е.В., Базыкин А.В.; заявитель НПП «Диапазон». – 6 с.
11. *Усанова З.И., Горячев В.И., Башилов А.М., Стрелец Е.В.* Технология производства торфогумусового бактериального удобрения и эффективность его применения // Торфяная отрасль России на рубеже XXI века: Сб. научн. тр. научно-практ. конф. – Тверь: ТГТУ, 2000. – С. 122–125.
12. *Гамаюнов С.Н.* Тенденции производства и переработки торфа для нужд сельского хозяйства: монография. – Тверь: Триада, 2016. – 256 с.

УДК 622.23.05:622.7

Фомин К.В.

Фомин Константин Владимирович, д. т. н., проф. кафедры механизации природообустройства и ремонта машин Тверского государственного технического университета, fomin_tver@mail.ru

Крылов К.С.

Крылов Константин Станиславович, к. т. н., доцент, заведующий кафедрой механизации природообустройства и ремонта машин Тверского государственного технического университета, krylovks74@mail.ru

Морозихина И.К.

Морозихина Ирина Константиновна, к. т. н., доцент кафедры механизации природообустройства и ремонта машин Тверского государственного технического университета, mik.tv@mail.ru

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИНЫ ПОСЛОЙНО-ПОВЕРХНОСТНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ МТФ-14 С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация. Машины послойно-поверхностного фрезерования типа МТФ-14 используются при добыче фрезерного торфа. В процессе эксплуатации на режущие элементы действуют значительные динамические нагрузки, что приводит к их деформации или разрушению. В статье с помощью библиотеки конечно-элементного анализа АРМ FEM системы «Компас-3D» определено напряженно-деформированное состояние режущего элемента фрезера МТФ-14, рассчитаны коэффициенты запаса в различных точках реза при фрезеровании древесного включения при максимально тяжелых условиях. Наиболее нагруженной точкой конструкции ножа оказывается место приложения силы взаимодействия его с пнем. Показано, что при нагрузках, действующих в процессе эксплуатации, предел

Fomin K.V.

Fomin Konstantin V. Dr. Sc., Prof. of the Chair of Environmental Mechanization and Repair of Machines of the Tver State Technical University (TSTU). tver.fomin_tver@mail.ru

Krylov K.S.

Krylov Konstantin S. Candidate of Technical Sciences, Head of the Chair of Environmental Mechanization and Repair of Machines of TSTU. krylovks74@mail.ru

Morozikhina I.K.

Morozichina Irina K. Candidate of Technical Sciences, Ass. Prof. of the Chair of Environmental Mechanization and Repair of Machines of TSTU. mik.tv@mail.ru

ESTIMATION OF THE STRENGTH OF THE CUTTING ELEMENTS OF THE MACHINE LAYER-SURFACE MILLING MACHINE MTF-14 USING THE FINITE ELEMENT METHOD

Abstract. Machines of layer-surface milling type MTF-14 are used in the extraction of milled peat. In the process of operation their cutting elements are subjected to significant dynamic loads, which leads to their deformation or destruction. Using finite-element analysis library APM FEM of system «Compass-3D» the stress-strain state of the cutting element of milling cutter MTF-14 is defined in the article, safety factors in different points of the cutter during interaction with a wood inclusion under the heaviest conditions are calculated. The most loaded point of blade design is the place of application of force of its interaction with a stump. It is shown that under given conditions, the yield strength of steel will be significantly exceeded and the knife will be destroyed at the point of maximum load. The presented material can be useful at the stage of designing new

текущести стали будет превышен и нож в месте максимальной нагрузки будет разрушен. Представленный в статье материал может быть полезен на стадии проектирования новых и модернизации существующих торфяных фрезерующих агрегатов с целью повышения их надежности.

Ключевые слова: машины послойно-поверхностного фрезерования, режущие элементы, прочность, метод конечных элементов.

and modernization of existing peat milling machines in order to increase their reliability.

Keywords: layer-surface milling machines, cutting elements, strength, finite element method.

Введение

Машины послойно-поверхностного фрезерования типа МТФ-14 используются на первой операции технологического цикла добычи фрезерного торфа [1]. Они состоят из семи шарнирно соединенных между собой секций: одной центральной; четырех внутренних и двух крайних [1], имеют раму, каток и рабочий орган. На раме центральной секции располагаются редуктор и две фрезы. Передний опорный каток и заднее колесо с винтовым механизмом служат для установки глубины фрезерования [1]. Корпуса рабочих органов изготовлены из стальных труб, на которых укреплены режущие элементы [1]. На агрегатах типа МТФ-14 для этой цели используют штифты (рис. 1). Они расположены в 15 линиях резания. Глубина фрезерования составляет 5–20 мм.

В процессе эксплуатации на элементы конструкции машин послойно-поверхностного фрезерования действуют значительные динамические нагрузки. Они вызываются силами



Рис. 1. Повреждения рабочего органа и режущих элементов фрезера МТФ-14 [6]

Fig. 1. Damage to the working body and cutting elements of the MTF-14 cutter [6]

сопротивления на рабочих органах, которые имеют большую величину, носят резко переменный и случайный характер [2–4]. Наибольшие нагрузки возникают в результате взаимодействия фрез с древесными включениями. Это приводит к деформации или разрушению режущих элементов (рис. 1). При этом возможны внезапные поломки ножа в результате возникновения пиковых нагрузок, которые могут превышать допускаемые и постепенные отказы из-за накопления усталостных повреждений и наличия износа элементов режущих элементов [5, 6].

Состояние рабочего органа в большой степени влияет на характеристики процесса фрезерования [1, 2]. При износе режущих кромок, деформации или разрушении ножей повышаются затраты мощности, ухудшаются условия выполнения технологических операций, увеличиваются динамические нагрузки [7], снижаются производительность и надежность [2, 5].

Поэтому проблема определения прочности режущих элементов машин послойно-поверхностного фрезерования, в том числе и на стадии проектирования, разработка мер по повышению их надежности является актуальной.

В настоящее время при прочностном анализе горных машин находят применение аналитические [8], с использованием теории упругости и пластичности, экспериментальные и численные методы [9, 10].

Материалы, модели и методы исследования

Известно, что для анализа напряженно-деформированного состояния элементов конструкции машин в инженерной практике, позволяющего оценить их прочность, наиболее эффективным является использование мето-

да конечных элементов [11]. При этом трехмерное твердотельное моделирование дает возможность оценить напряженно-деформированное состояние достаточно сложных моделей режущих элементов [12].

В настоящее время широкое применение при проектировании машин в торфяной промышленности нашли методы 3D-моделирования с использованием системы «Компас-3D» [13], а для расчетов различного типа – прикладной библиотеки АРМ FEM. Она содержит различные инструменты для подготовки модели к анализу, формирования нагрузок и граничных условий, а также генератор конечно-элементной сетки и постпроцессор [14].

При применении модуля АРМ FEM с целью анализа прочности режущих элементов необходимо иметь информацию о силовых факторах, возникающих в процессе эксплуатации. Нагрузка на ноже машины послойно-поверхностного фрезерования складывается из сил, возникающих при фрезеровании торфа и древесных включений. При этом к основным повреждающим воздействиям относятся изгибающие и сжимающие силы [15]. Их действие создает сложное напряженное состояние в каждой точке резца, которое имеет случайный периодический характер. Для оценки стати-

ческой прочности детали рассматривают эквивалентное напряжение в его наиболее нагруженной части при условиях, формирующих максимальные значения действующих сил.

Наибольшее воздействие на режущий элемент оказывают силы, возникающие в процессе взаимодействия с древесным включением (рис. 2 и 3). Это связано с тем, что прочностные свойства древесины значительно выше, чем торфа (примерно на два порядка) [1, 2].

Для оценки суммарных изгибающих (касательных $P_{0\tau}$) и сжимающих (радиальных P_{0n}) сил, действующих на одиночный штифт, воспользуемся моделями взаимодействия рабочих органов машин послойно-поверхностного фрезерования с древесными включениями, предложенными в [2, 16].

Для сил, возникающих в результате подъема секций фрез и их поворота при попадании ножей на пень, можно записать:

$$P_{0\tau} = P_{\tau} + P_{\tau}^*; P_{0n} = P_n + P_n^*$$

где P_{τ}, P_{τ}^* – соответственно касательные силы на режущем элементе, связанные с подъемом секций и поворотом фрезерующего агрегата; P_n, P_n^* – соответственно нормальные силы на режущем элементе, связанные с подъемом секций и поворотом фрезерующего агрегата.

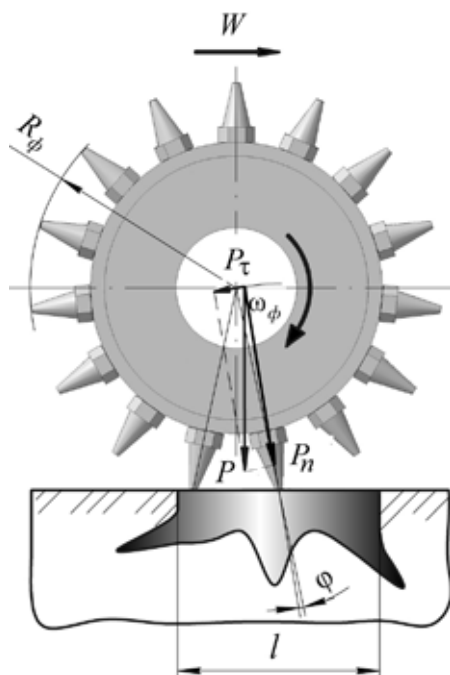


Рис. 2. Сила на ноже при подъеме секции фрезера
Fig. 2. Force on the knife when lifting cutter section

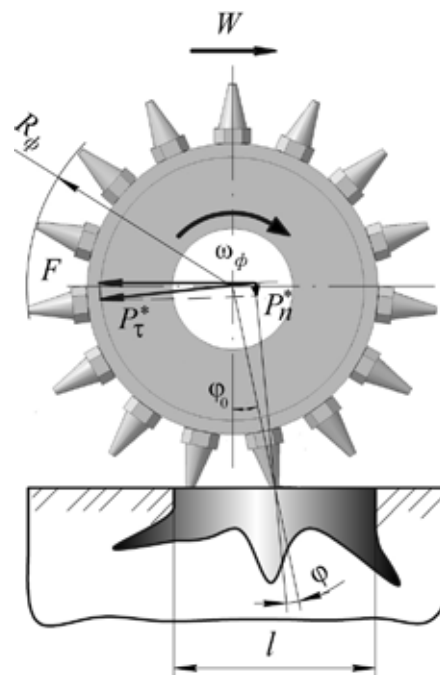


Рис. 3. Определение силы на ноже при повороте фрезера
Fig. 3. Determining the force on the knife when the cutter turns

Fig. 3. Determining the force on the knife when the cutter turns

Для касательной P_τ и радиальной P_n сил, действующих на одиночный штифт, возникающих при подъеме секций фрез из рис. 2, имеем:

$$P_\tau = \frac{P}{N} \sin \varphi; P_n = \frac{P}{N} \cos \varphi,$$

где N – число штифтов в линии резания, взаимодействующих с древесным включением

$$N = d/l_d,$$

где d – размер включения в направлении, перпендикулярном движению фрезера; l_d – расстояние между соседними штифтами в линии резания.

Величина P зависит от места попадания древесного включения по ширине фрезы [2]:

- для концевых фрез (с учетом малости отклонения секций)

$$P = \frac{m_s g l_s}{2z};$$

- для средних фрез

$$P = \frac{m_s g l_s}{z};$$

- попадание на середину средних секций

$$P = 2m_s g;$$

- для центральной секции

$$P = (m_s + m_c) g l_c / z,$$

где m_s – масса внутренних и крайних секций; m_c – масса центральной секции; l_s – длина внут-

ренних и крайних секций; l_c – длина центральной секции; z – расстояние от шарнира секции до места попадания пня.

Данные силы являются переменными и зависят от угла поворота фрезы φ . При изменении φ от φ_0 до 0 сила P_τ меняется от $P_\tau = P \sin \varphi_0$ до 0, где φ_0 – угол между вертикалью и режущим элементом (рис. 2, 3). При дальнейшем увеличении угла поворота сила меняет знак на противоположный, достигая при $-\varphi_0$ значения $P_\tau = -P \sin \varphi_0$.

Сила P_n при изменении угла поворота φ от φ_0 до 0 меняется от $P_n = P \cos \varphi_0$ до P , достигая максимальной величины.

Касательная P_τ^* и радиальная P_n^* силы (рис. 3) зависят от сопротивления поворота фрезера вокруг оси сцепки (рис. 4):

$$P_\tau^* = \frac{F}{N} \cos \varphi; P_n^* = \frac{F}{N} \sin \varphi,$$

где учитывая малый угол поворота фрезерующего агрегата относительно оси сцепки (рис. 4), можно записать:

$$F \approx \frac{m_\phi g f_p L}{4x},$$

где m_ϕ – масса фрезера; f_p – коэффициент сопротивления повороту агрегата; L – ширина захвата; x – расстояние от места попадания пня до оси сцепки.

При изменении угла поворота от φ_0 до 0 сила P_τ^* меняется от $P_\tau^* = F \cos \varphi_0$ до F , принимая максимальное значение. Радиальная сила P_n^* меняется от $P_n^* = F \sin \varphi_0$ до 0.

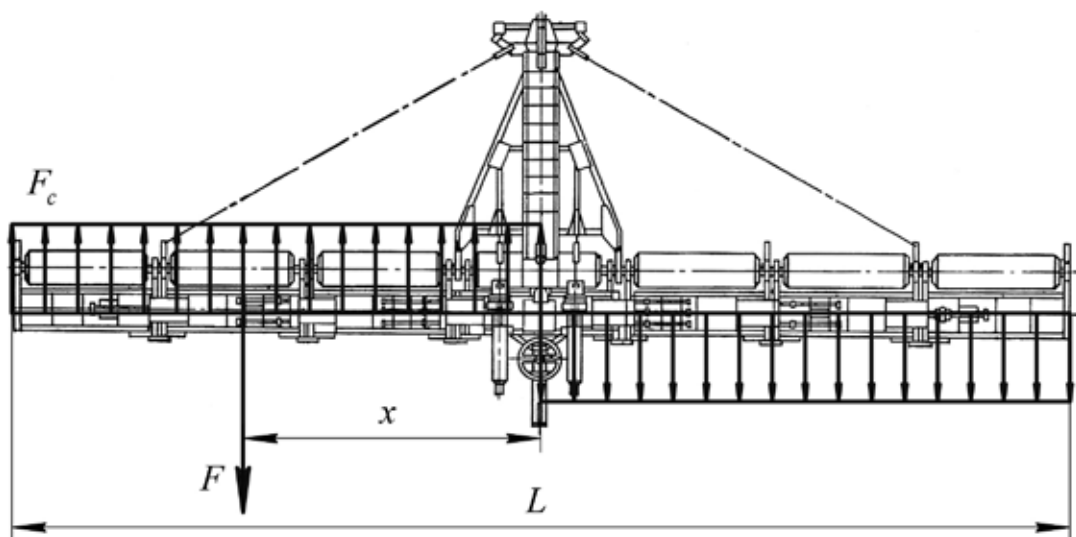


Рис. 4. Определение силы на режущем элементе, связанной с поворотом фрезерного барабана

Fig. 4. Determining the force on the cutting element, related to the rotation of the milling drum

Величина угла поворота φ рабочего органа, соответствующая наиболее тяжелым условиям нагружения, будет зависеть от соотношения между силами P и F и должна определяться в каждом конкретном случае при проведении прочностного расчета режущих элементов.

Ускорение в поле центробежных сил может быть определено с помощью выражения:

$$a_c = \omega^2 R_\phi$$

где ω_ϕ – угловая скорость вращения фрезы; R_ϕ – радиус фрезы.

Результаты исследования

Рассмотрим применение метода конечных элементов для оценки прочности режущих элементов машины послойно-поверхностного фрезерования МТФ-14. Масса агрегата составляет 3150 кг. Масса центральной секции – 600 кг. Она имеет две фрезы длиной по 0,628 м. Масса каждой внутренней и крайней секций составляет 425 кг, а ширина захвата рабочих органов равна 1,275 м.

Диаметр фрез – 0,221 м, они имеют 3 штифта в плоскости резания. Диаметр корпусов составляет 0,157 м. Окружная скорость равна 8,9 м/с [1]. Расстояние между соседними штифтами в линии резания составляет 30 мм. Физико-механические свойства материала, из которого изготовлен резец, представлены в таблице.

В результате расчета получены значения касательной силы – 6238 Н и радиальной силы – 3200 Н. Центробежными силами пренебрегаем ввиду их малых значений. При сред-

Таблица. Свойства материала режущего элемента

Table. Properties of the cutting element material

| Показатели | Штифт – сталь 3 |
|---|------------------|
| Предел текучести МПа | 235 |
| Предел прочности при сжатии, МПа | 410 |
| Предел выносливости при растяжении, МПа | 209 |
| Предел выносливости при кручении, МПа | 139 |
| Модуль упругости нормальный, МПа | $2,1 \cdot 10^5$ |
| Коэффициент Пуассона | 0,3 |
| Плотность, кг/м ³ | 7800 |

нем размере 0,12 м с древесным включением взаимодействует 4 штифта в линии резания.

На рис. 5 показан результат автоматической генерации конечно-элементной сетки.

Были определены поля эквивалентных напряжений (теория прочности Мизеса), которые показаны на рис. 6. На рис. 7 и 8 представлены поля смещений штифта и значения коэффициентов запаса при действии сил, возникающих в процессе фрезерования древесных включений.

Результаты анализа полей напряжений и коэффициентов запаса показывают, что при нагрузках, действующих в процессе эксплуатации, предел текучести стали будет превышен. Следовательно, режущий элемент в месте действия максимальной нагрузки со временем может быть разрушен. Наиболее нагруженной точкой конструкции ножа оказывается место приложения силы взаимодействия с пнем.

Анализ полученных значений напряжений, перемещений и коэффициентов запаса дает

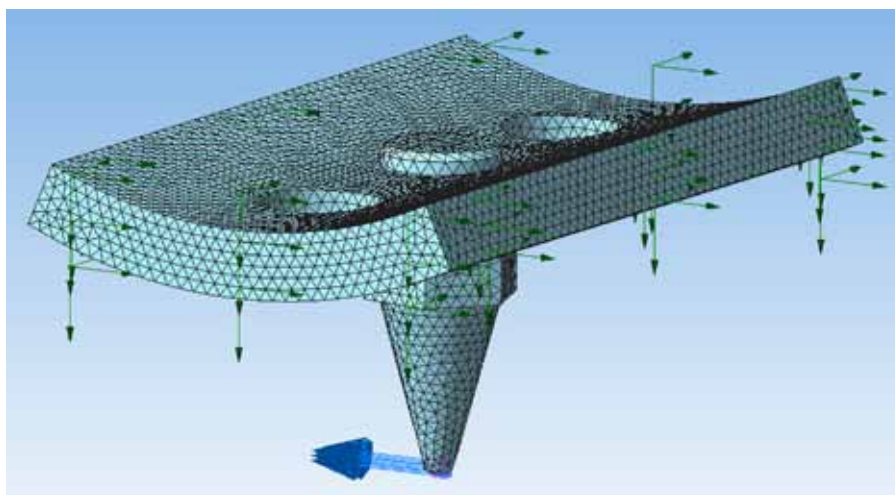


Рис. 5. Конечно-элементная модель режущего элемента МТФ-14

Fig. 5. Finite element model of the cutting element MTF-14

информацию для проведения модификации конструкции режущего элемента с целью повышения его надежности.

Заключение

С помощью библиотеки конечно-элементного анализа АРМ FEM системы «Компас-3D»

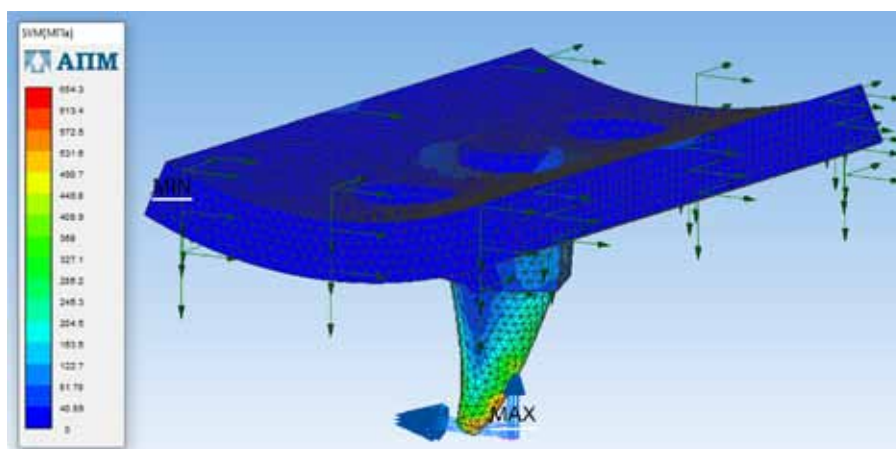


Рис. 6. Распределение эквивалентных напряжений по Мизесу, мПа

Fig. 6. Distribution of equivalent Mises stresses, mPa

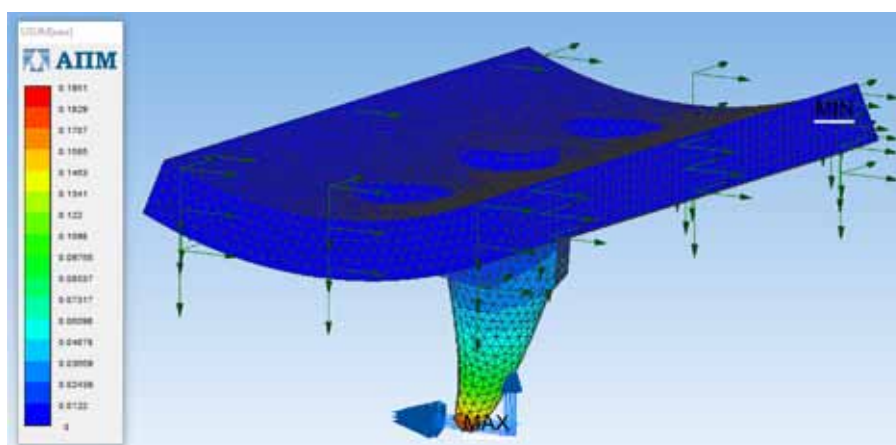


Рис. 7. Поля суммарных перемещений, мм

Fig. 7. Fields of total per-displacements, mm

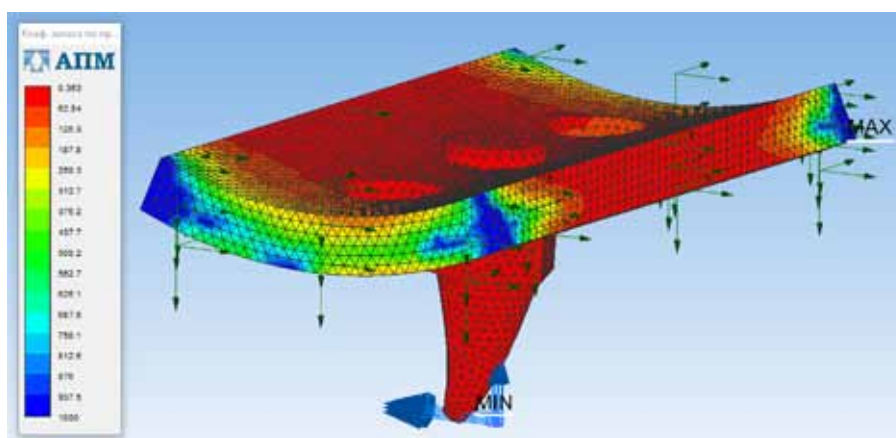


Рис. 8. Коэффициент запаса по текучести

Fig. 8. Coefficient of the safety factor of the yield strength

определено напряженно-деформированное состояние режущего элемента машины послойно-поверхностного фрезерования МТФ-14, рассчитаны коэффициенты запаса в различных точках реза при максимально тяжелых условиях работы.

Наиболее нагруженной точкой конструкции ножа оказывается место приложения силы взаимодействия его с пнем. Показано, что в условиях эксплуатации имеется большая вероятность, что предел текучести стали будет превышен, что приведет к необратимой деформации ножа и дальнейшему его разрушению. Это подтверждается многолетним опытом использования машин поверхностного фрезерования.

Представленные в статье методика исследования и материалы анализа могут быть полезны на стадии проектирования новых и модернизации существующих машин послойно-поверхностного фрезерования с целью их совершенствования.

Библиографический список

1. Самсонов Л.Н. Фрезерование торфяной залежи. – М.: Недра, 1985. – 211 с.
2. Самсонов Л.Н., Фомин К.В. Элементы статистической динамики торфяных фрезерующих агрегатов. – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2005. – 168 с.
3. Самсонов Л.Н., Фомин К.В. Определение вероятностных характеристик момента нагружения на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2003. – № 3. – С. 106–112.
4. Фомин К.В. Методика оценки спектральной плотности момента сопротивления на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата // Записки Горного института. – 2020. – Т. 241. – С. 58–67. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.58.
5. Горлов И.В., Рахутин М.Г. Влияние пнистости залежи на безотказность торфяных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 12. – С. 139–145.
6. URL: https://poezdnaprokat.ru/mirrow/20110625_1.htm / (дата обращения: 04.09.2022).
7. Фомин К.В. Моделирование нагрузок на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата с учетом погрешности расстановки режущих элементов // Горные науки и технологии. – 2022. – Т. 7. – № 2. – С. 161–169. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-2-161-169.
8. Позин Е.З. Методика расчета резцов на прочность и долговечность. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1986. – 61 с.
9. Yong Sun, Xingsheng Li. Experimental Investigation of Pick Body Bending Failure // International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research. – 2018. – Vol. 7. – No. 2. – P. 184–188.
10. Xueyi Li, Yonggang Lv, Qingliang Zeng, Jintao Wang. Research on the Strength of Roadheader Conical Picks Based on Finite Element Analysis // The Open Mechanical Engineering Journal. – 2015. – № 9. – P. 521–526.
11. Фокин В.Г. Метод конечных элементов в механике деформируемого твердого тела. – Самара: Самарский гос. техн. ун-т, 2010. – 131 с.
12. Ганин Н.В. Трехмерное проектирование в КОМПАС-3D. – М.: ДМК, 2012. – 776 с.
13. URL: <https://ascon.ru/products/1114/review/> (дата обращения: 04.09.2022).
14. Шелофаст В.В. Основы проектирования машин. – М.: Изд-во АПМ, 2005. – 471 с.
15. Фомин К.В., Крылов К.С., Харламов В.Е., Морозихин Н.Н. Моделирование повреждающих воздействий на режущих элементах фрезы при взаимодействии с древесными включениями // Труды Инсторфа. – 2020. – № 21 (74). – С. 34–39.
16. Самсонов Л.Н., Фомин К.В. Методика анализа динамической нагруженности приводов торфяных машин послойно-поверхностного фрезерования // Горные машины и автоматика. – 2004. – № 1. – С. 20–24.

УДК 629.113

Петров А.А.

Петров Александр Александрович, конструктор-изобретатель болотно-шагающих технологических машин, внештатный научный сотрудник кафедры технологических машин и оборудования Тверского государственного технического университета. tverotk@mail.ru

Зюзин Б.Ф.

Зюзин Борис Федорович, д. т. н., проф., заведующий кафедрой технологических машин и оборудования Тверского государственного технического университета. zbfu@yandex.ru

ПОВОРОТЛИВОСТЬ ШАГАЮЩИХ БОЛОТОХОДНЫХ МАШИН НА НЕОСУШЕННОЙ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ИХ ПОВОРОТОМ

Аннотация. В статье дано определение поворотливости шагающей болотоходной машины как одного из основных свойств проходимости, приведены формулы для определения ее радиуса поворота и значение наименьшего радиуса поворота на неосушенной торфяной залежи. Приведен критический анализ ручного управления серийными образцами шагающих болотоходных машин при их движении на повороте, и отмечена актуальность разработки устройства для автоматического управления поворотом. Приведены описание конструкции и принцип работы разработанных на уровне изобретения двух устройств для автоматического управления шагающей болотоходной машиной при ее движении на повороте. Применение указанных устройств позволяет значительно повысить эффективность процесса поворота шагающих болотоходных машин, в том числе снизить затраты энергии при их повороте, увеличить их поворотливость, а также снизить утомляемость машиниста при управлении поворотом.

Ключевые слова: шагающая болотоходная машина, неосушенная торфяная залежь, поворотливость, радиус поворота, проходимость, ручное управление, автоматическое управление, эффективность поворота.

Petrov A.A.

Petrov Alexander A., designer and inventor of mire-walking technological machines, freelance researcher at the Chair of Technological Machines and Equipment of the Tver State Technical University. tverotk@mail.ru

Zyuzin B.F.

Zyuzin Boris F., Dr. Sc., Prof., Head of the Chair of Technological Machines and Equipment of the Tver State Technical University. zbfu@yandex.ru

AGILITY OF WALKING SWAMP-WALKING MACHINES ON THE UNDRIED PEAT DEPOSITS AND DEVICES TO AUTOMATICALLY CONTROL THEIR ROTATION

Abstract. The article defines the agility of a walking swamp-walking machine as one of the main properties of cross-country ability, provides formulas for determining its turning radius and the value of the smallest turning radius on an undried peat deposit. A critical analysis of the manual control of serial samples of walking swamp-walking machines when they move on a turn is given, and the relevance of the development of a device for automatic turn control is noted. The description of the design and the principle of operation of two devices developed at the level of the invention for automatic control of a walking swamp-walking machine when it moves on a turn are given. The use of these devices makes it possible to significantly increase the efficiency of the turning process of walking swamp-walking machines, including reducing energy costs when turning them, increasing their agility, and also reducing the fatigue of the driver when controlling the turn.

Keywords: walking swamp-walking machine, undried peat deposit, agility, turning radius, patency, manual control, automatic control, turning efficiency.

Поворотливость шагающей болотоходной машины – это ее способность изменять направление движения и описывать шагающими опорами при повороте траектории заданной кривизны, то есть способность двигаться по криволинейному пути.

Поворотливость машины является одним из основных свойств ее проходимости.

Потеря поворотливости машины влечет за собой и потерю ее проходимости.

При повороте болотохода его средний понтон (средняя опора) в процессе движения перемещается поступательно и одновременно поворачивается относительно корпуса и сдвоенных боковых опор, которые неподвижно стоят на грунте, а боковые опоры перемещаются поступательно и одновременно поворачиваются вместе с корпусом относительно неподвижного среднего понтона.

Таким образом, шагающие опоры участвуют в сложном движении, поступательном и вращательном. При этом скорость поступательного движения опор в два раза выше скорости движения корпуса.

Поворотливость шагающей машины при ее движении по неосушенной торфяной залежи оценивается наименьшим радиусом поворота $R_{\text{п}}$, при котором не происходит потери проходимости из-за существенного ухудшения тягово-сцепных свойств при повышенном буксовании.

На поворотливость шагающей болотоходной машины оказывают влияние геометрические параметры ее опорной части, тяговое усилие на крюке и другие нагрузки от рабочего оборудования, а также физико-механические свойства торфяной залежи.

Чем выше влажность залежи и ниже ее прочность, тем больше осадка опор в грунт, сопротивление повороту опор со стороны грунта и радиус поворота $R_{\text{п}}$, но меньше поворотливость машины.

Наименьший теоретический радиус поворота $R_{\text{т}}$ шагающей машины (без учета буксования) определяется по формуле [1]:

$$R_{\text{т}} = \frac{1}{4} L \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \quad (1)$$

где L – длина шага опоры; α – угол скоса средней опоры на виде в плане (рис. 1).

В свою очередь, длина шага опоры может быть вычислена по формуле [2]:

$$L = 2a \cdot k_{\text{л}}, \quad (2)$$

где a – длина передней направляющей; $k_{\text{л}}$ – коэффициент длины шага опоры [2].

Теоретический след, оставленный на опорной поверхности на слабо деформируемом грунте средней и боковыми опорами шагающей машины при ее повороте вправо, показан на рис. 2.

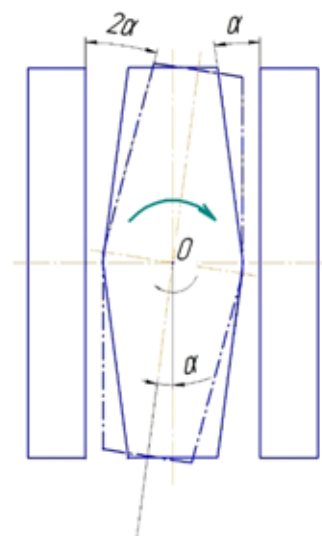


Рис. 1. Вид в плане на опоры шагающей болотоходной машины. Штрих-пунктиром показана средняя опора, повернутая относительно своего центра (т. О) из среднего положения по часовой стрелке на угол α

Fig. 1. A plan view of the supports of a walking swamp-walking machine. The dashed line shows the average support rotated relative to its center (i.e.) from the average position clockwise by the angle α

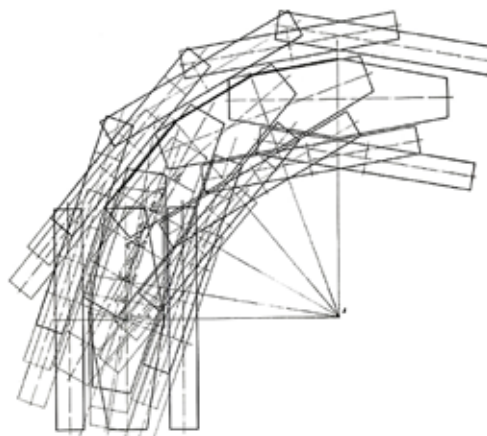


Рис. 2. Теоретический след, оставленный опорами шагающей болотоходной машины на опорной поверхности при ее повороте вправо

Fig. 2. The theoretical trace left by the supports of a walking swamp-walking machine on the support surface when it turns to the right

Поворот шагающей машины из среднего положения (рис. 1) на угол 90° при угле скоса средней опоры α равном 10° , происходит ровно за пять ее шагов (рис. 2).

Первый поворот средней опоры из среднего положения происходит на угол 10° .

Все последующие повороты как боковых опор, так и средней опоры происходят на каждом их шаге на угол $2\alpha = 20^\circ$.

Наименьший действительный радиус поворота R_d шагающего движителя на неосушенной торфяной залежи (с учетом коэффициента буксования) равен:

$$R_d = \frac{1}{4} L \cdot \frac{(100 - \delta)}{100} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \quad (3)$$

а с учетом формулы (2):

$$R_d = \frac{1}{2} a \cdot k_L \cdot \frac{(100 - \delta)}{100} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}. \quad (4)$$

При этом для шагающей болотоходной машины получены зависимости коэффициента буксования δ от ее скорости передвижения по неосушенной торфяной залежи и от тягового усилия на крюке, которые аппроксимированы с помощью метода наименьших квадратов соответствующими эмпирическими формулами [3].

При исследовании поворотливости шагающего движителя проведена экспериментальная проверка формул по определению его наименьшего радиуса поворота.

Замеры теоретического радиуса поворота R_t производились при минимальной скорости движения $0,05$ м/с на ровной асфальтированной площадке и на слабо деформируемом минеральном грунте.

Замеры действительного радиуса поворота R_d выполнялись на неосушенной торфяной залежи верхового типа при ее средней прочности на сдвиг $\tau = 6$ кПа.

Анализ экспериментальных данных показал их близкую сходимость с результатами, полученными по формулам.

Расхождение теоретических данных от экспериментальных не превышало 5%, что позволило рекомендовать полученные формулы (1)–(4) на практике при оценке поворотливости шагающих болотоходных машин.

Увеличение поворотливости шагающих болотоходных машин (уменьшение их радиуса поворота) является одним из основных направлений повышения их проходимости в условиях неосушенной торфяной залежи.

Испытания шагающих болотоходов БШ-1 и БТ-1 показали их высокую поворотливость на неосушенной торфяной залежи по сравнению с колесными и гусеничными движителями (табл.).

Однако конструкции опытно-промышленных образцов шагающих болотоходных машин БШ-1 и БТ-1 [4–6], а также современных серийных машин БШМ и БШМ-1 [7, 8] не позволяют в полной мере реализовать свойство их поворотливости из-за ручного управления поворотом опор. Боковые опоры и корпус всех шагающих болотоходных машин [4–8] установлены с возможностью поворота относительно среднего понтона с помощью гидроцилиндра поворота, управляемого от золотника гидрораспределителя путем переключения его рукояти машинистом вручную в соответствии с гидравлической схемой [9].

Ручное управление шагающих болотоходных машин при их движении на повороте является сложным и утомительным, поскольку машинист должен производить поворот опор вручную рукоятью гидрораспределителя, полностью задействуя при этом одну руку.

Ручное управление поворотом усложняется ограниченной обзорностью элементов управления, в частности, шагающих опор и гидроци-

Таблица. Сравнительные данные наименьших радиусов поворота болотоходных машин с различными типами движителей при их передвижении по неосушенной торфяной залежи без нагрузки на крюке

Table. Comparative data of the smallest turning radii of swamp-walking machines with different types of propellers when they move through an undried peat deposit without a load on the hook

| № п/п | Наименование болотоходной машины | Тип движителя | Наименьший радиус поворота, м |
|-------|----------------------------------|---------------|-------------------------------|
| 1. | Шагающий болотоход БШ-1 | Шагающий | 6,0 м при $\tau = 6$ кПа |
| 2. | Шагающий болотный тягач БТ-1 | | 6,5 м при $\tau = 6$ кПа |
| 3. | Канавные машины КПО-0 и КПО-1 | Колесный | 24 м при $\tau = 10-12$ кПа |
| 4. | Канавная машина МТП-37 | | 12 м при $\tau = 10$ кПа |
| 5. | Болотоход «Тюмень» | Гусеничный | 40 м при $\tau = 10-12$ кПа |

линдра поворота. Водителю необходимо визуально следить за положением гидроцилиндра поворота и положением опор и на каждом их шаге визуально подбирать моменты для переключения золотника гидрораспределителя управления поворотом опор и производить их поворот в ту или иную сторону и только в то время, когда они приподняты относительно грунта, а завершать поворот опор до их опускания на грунт.

Для всех шагающих болотоходных машин характерна несвоевременность управления поворотом опор из-за несвоевременности включения и выключения гидроцилиндра поворота (раннее включение, позднее включение, раннее выключение, позднее выключение). Несвоевременность начала и окончания поворота опор на каждом их шаге обусловлена субъективной оценкой машинистом момента времени, при котором необходимо производить включение и выключение рукояти золотника гидрораспределителя поворота опор.

Несвоевременность начала и окончания поворота опор обусловлена также рассогласованием времени, которое требуется для поворота опор на каждом шаге, определяемым поступательной скоростью их движения в процессе переноса, со временем, за которое происходит полное выдвигание или полное задвигание штока гидроцилиндра поворота, определяемое производительностью гидронасоса и размерами гидроцилиндра поворота.

Согласование указанного времени не может быть обеспечено из-за отсутствия регулировки скорости движения штока гидроцилиндра поворота.

При этом раннее включение гидроцилиндра поворота приводит к пропахиванию грунта опорами в процессе их поворота, так как гидроцилиндр начинает поворачивать опоры в то время, когда они еще не до конца приподнялись от грунта.

Позднее включение гидроцилиндра поворота также приводит к пропахиванию грунта опорами, так как он начинает их поворачивать в то время, когда они уже частично опустились на грунт. Грунт оказывает сопротивление повороту опор. При пропахивании грунта в процессе поворота боковых опор повышается усилие на привод механизма поворота и наблюдается некоторый отворот в обратную сторону стоящей на грунте средней опоры, что увеличивает радиус поворота шагающей машины. А при пропахивании грунта в процессе

поворота средней опоры наблюдается некоторый отворот в обратную сторону стоящих на грунте боковых опор, что также увеличивает радиус поворота шагающей машины.

Кроме того, позднее включение гидроцилиндра поворота опор или раннее его выключение приводит к тому, что опоры за время своего движения не успевают повернуться на полный угол поворота, при этом с уменьшением угла поворота опор увеличивается радиус поворота шагающей машины и снижается ее поворотливость и проходимость.

Несвоевременность управления поворотом опор до недавнего времени также была обусловлена отсутствием критерия точного положения опор, при котором необходимо производить их поворот. Но в результате проведенных исследований такой критерий был определен: установлены положения опор, катков, направляющих и других узлов шагающей болотоходной машины, которые определяют оптимальные моменты включения и выключения силового привода поворота, что необходимо для автоматического управления процессом поворота [9].

На основании проведенных исследований на уровне изобретения разработаны два устройства для автоматического управления шагающим болотоходом при его движении на повороте [10].

Основными техническими проблемами, на решение которых была направлена разработка двух устройств, являются обеспечение на каждом шаге опор своевременного автоматического поочередного включения поворота опор в момент завершения их подъема и начала передвижения и своевременного автоматического выключения поворота опор в момент завершения их передвижения и начала опускания на грунт, а также упрощение управления шагающей болотоходной машиной при ее движении на повороте за счет автоматизации процесса управления поворотом.

Описание конструкции и принципа работы двух устройств (двух вариантов) для автоматического управления шагающим болотоходом при его движении на повороте приведены ниже.

Шагающий болотоход содержит корпус 1, подвижно соединенный со средней опорой 2 и боковыми правой 3 и левой 4 опорами, выполненными в виде герметичных понтонов (рис. 3, 4). Средняя опора 2 на виде сверху имеет форму удлиненного шестиугольника, боко-

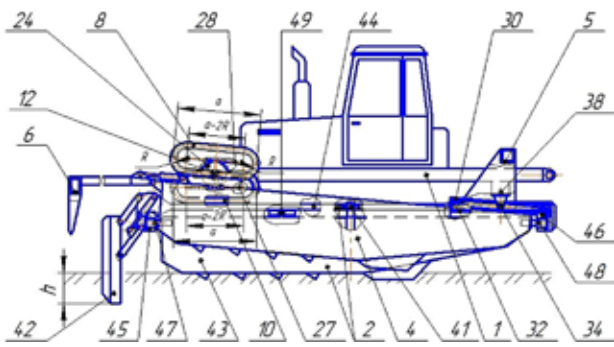


Рис. 3. Шагающий болотоход; вид сбоку

Fig. 3. Walking swamp walker; side view

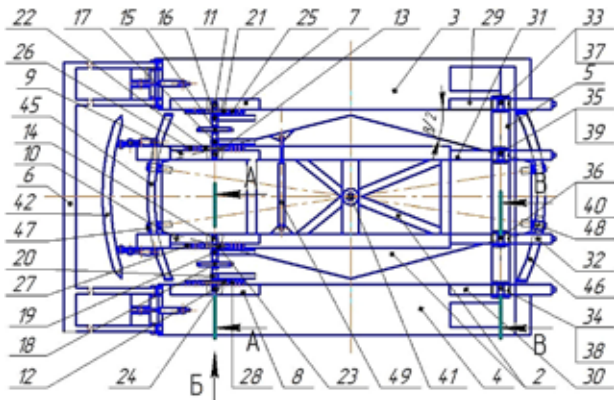


Рис. 4. Шагающий болотоход; вид сверху (кабина не показана)

Fig. 4. Walking swamp walker; top view (cabin not shown)

вые стороны которого расположены под углом α относительно его продольной оси (рис. 4). Боковые опоры 3, 4 на виде в плане имеют форму удлинненных прямоугольников. Все опоры 2–4 установлены параллельно друг другу, причем средняя опора 2 смещена по фазе на 180° относительно боковых опор 3, 4. Боковые опоры 3, 4 жестко соединены между собой в хвостовой части поперечно расположенной балкой 5, установленной над палубой средней опоры 2. Носовые части боковых опор 3, 4 шарнирно соединены между собой поворотным от силового привода внешним грунтозацепом 6 (рис. 3, 4).

Носовые части опор 2–4 со стороны палубы снабжены параллельно установленными в продольном направлении замкнутыми передними направляющими, причем на правой и левой опорах 3, 4 установлено по одной передней направляющей, соответственно 7 и 8, а на средней опоре 2 – две передние направляющие, правая 9 и левая 10 (рис. 5, 6).

Каждая передняя направляющая имеет овальную форму и состоит из четырех частей: параллельно установленных верхнего и нижнего ручьев прямолинейной формы, имеющих одинаковую длину, а также переднего и задне-

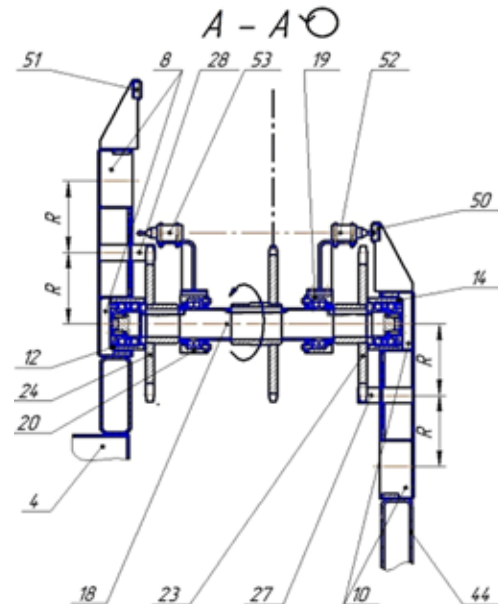


Рис. 5. Разрез по А-А на рис. 4 (поперечный разрез по левой передней направляющей средней опоры поз. 10 и по передней направляющей левой опоры поз. 8)

Fig. 5. Section along A-A in Fig. 4 (transverse section along the left front guide of the middle support pos. 10 and along the front guide of the left support pos. 8)

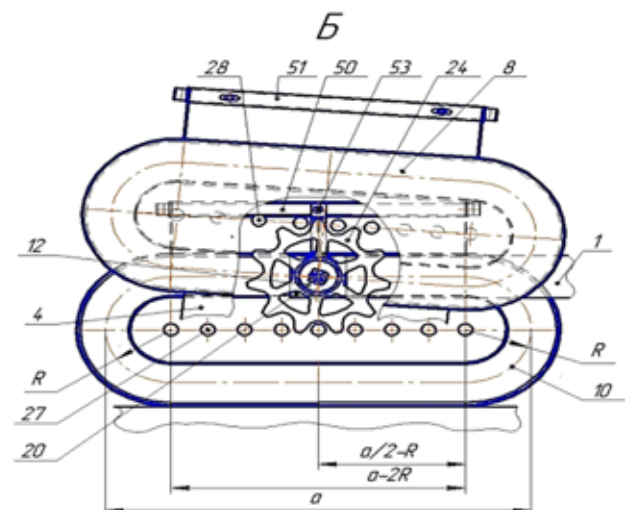


Рис. 6. Вид Б на рис. 4 (вид на переднюю направляющую левой опоры поз. 8 и на левую переднюю направляющую средней опоры поз. 10)

Fig. 6. View B in Fig. 4 (view of the front guide of the left support pos. 8 and on the left front guide of the middle support pos. 10)

го ручьев, которые жестко соединены спереди и сзади с концами верхнего и нижнего ручьев и выполнены в форме полуколец со средним радиусом R (рис. 3, 5, 6).

При длине передней направляющей (по ее центру), равной a , длина каждого верхнего и нижнего ручьев передних направляющих 7–10 будет равна $a - 2R$.

В каждую переднюю направляющую 7–10 помещено по одному переднему катку 11–14, которые оснащены приводом их перемещения.

При этом передние катки 11 и 13 смонтированы на концах правого приводного вала 15, который поперечно установлен на корпусе 1 в двух подшипниковых опорах, правой 16 и левой 17. Передние катки 12 и 14 смонтированы на концах левого приводного вала 18, который установлен на корпусе 1 в двух других подшипниковых опорах 19 и 20 (рис. 5, 6) соосно правому приводному валу 15 (рис. 4).

На правый приводной вал 15 посажены правая и левая цевочные звездочки 21 и 22, а на левый приводной вал 18 – правая и левая цевочные звездочки 23 и 24. Цевочные звездочки 21 и 22 входят в зацепление с цевками 25 и 26, установленными в один ряд посередине передних направляющих 7 и 9, а цевочные звездочки 23 и 24 входят в зацепление с цевками 27 и 28, установленными в один ряд посередине передних направляющих 10 и 8.

Хвостовые части каждой из опор 2–4 со стороны палубы оснащены параллельно расположенными в продольном направлении прямолинейными задними направляющими 29–32 (рис. 3, 4), причем на правой и левой опорах 3 и 4 установлено по одной задней направляющей 29 и 30, а на средней опоре 2 – две задние направляющие, правая 31 и левая 32. Каждая задняя направляющая 29–32 состоит из двух жестко соединенных между собой продольных балок, верхней и нижней. На каждую заднюю направляющую 29–32 оперт корпус 1 посредством одного из задних катков 33–36, в нее помещенного. Каждый задний каток 33–36 установлен в подшипниках на оси, закрепленной в щеках каждого кронштейна 37–40 П-образной формы (рис. 4, 7), который своей средней частью жестко прикреплен к корпусу 1 (рис. 7).

Между щек каждого кронштейна 37–40 пропущена верхняя балка каждой задней направляющей 29–32. При длине a передней направляющей 7–10 длина каждой задней направляющей 29–32 равна сумме длин трех отрезков $a + d + 2s$, где d – диаметр реборды

заднего катка, s – зазор между ребордой заднего катка в его крайнем переднем или крайнем заднем положении и соответствующим краем задней направляющей 29–32 (рис. 8).

На продольной оси средней опоры 2 смонтирован шарнир 41, а в ее носовой части установлен внутренний грунтозацеп 42, соединенный с приводом его вертикального перемещения (рис. 3, 4). Кроме того, средняя опора 2 выполнена из понтона 43 и установленной над его палубой и подвижно соединенной с ним с возможностью поворота в горизонтальной плоскости продольной рамы 44 (рис. 3). В носовой и хвостовой частях продольная рама 44 соединена с палубой понтона 43 посредством ее дугообразных направляющих 45, 46 и помещенных в них двух пар роликов 47 и 48, закрепленных на понтоне 43, а в центре она соединена с понтоном 43 через шарнир 41, выполненный из опорной стойки с осью в ее верхней части, закрепленной на понтоне 43 и

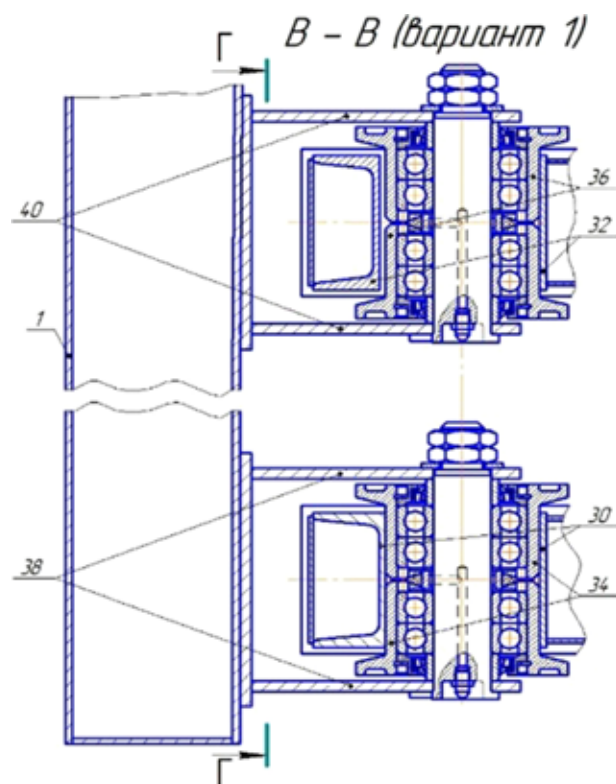


Рис. 7. Сечение по В-В на рис. 4, вариант 1 (поперечный разрез по левой задней направляющей средней опоры поз. 32 и по задней направляющей левой опоры поз. 30)

Fig. 7. B-B cross section in Fig. 4, option 1 (cross section along the left rear guide of the middle support pos. 32 and along the rear guide of the left support pos. 30)

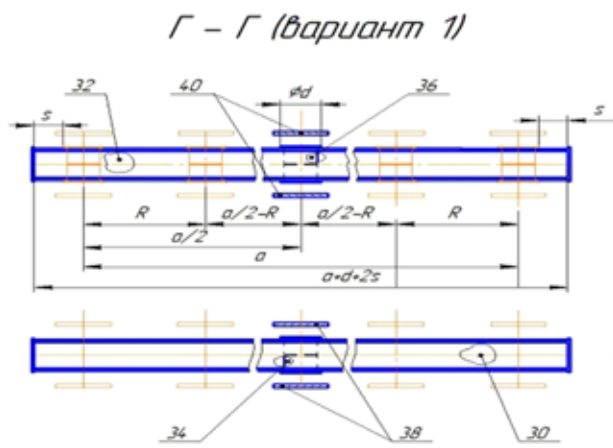


Рис. 8. Разрез по Г-Г на рис. 7, вариант 1 (разрез по кронштейнам поз. 40 и поз. 38 крепления задних катков поз. 36 и поз. 34 корпуса поз. 1, помещенных в левую заднюю направляющую средней опоры поз. 32 и в заднюю направляющую левой опоры поз. 30)

Fig. 8. G-G section in Fig. 7, option 1 (the section on the brackets pos. 40 and pos. 38 rear roller mounts pos. 36 and pos. 34 of the housing pos. 1, placed in the left rear guide of the middle support pos. 32 and into the rear guide of the left support pos. 30)

установленного на эту ось подшипника, смонтированного на продольной раме 44. При этом понтон 43 также связан с продольной рамой 44 гидроцилиндром 49 его поворота в горизонтальной плоскости относительно оси шарнира 41, а внутренний грунтозацеп 42 навешен на носовую часть продольной рамы 44, причем передние направляющие 9, 10 и задние направляющие 31, 32 средней опоры 2 закреплены на продольной раме 44 (рис. 3, 4).

К левой передней направляющей 10 средней опоры 2 сверху прикреплена правая лыжа 50 прямолинейной формы (рис. 6). Она установлена над верхним ручьем передней направляющей 10 параллельно ему на одной с ним вертикали и имеет равную с ним длину прямолинейного рабочего участка $a - 2R$. К передней направляющей 8 левой опоры 4 сверху прикреплена такая же левая лыжа 51 прямолинейной формы (рис. 6). Она установлена над верхним ручьем передней направляющей 8 параллельно ему на одной с ним вертикали и имеет равную с ним длину прямолинейного рабочего участка $a - 2R$. Каждая лыжа 50, 51 установлена на жестко прикрепленном к направляющим 8, 10 основании, копирующем их форму.

Сверху к правой подшипниковой опоре 19 левого приводного вала 18 параллельно его оси и на одной с ней вертикали с помощью Г-образного кронштейна прикреплен правый концевой выключатель 52, расположенный над цевочной звездочкой 23 и повернутый своим кулачком к взаимодействующей с ним правой лыже 50 (рис. 5). Соосно правому концевому выключателю 52 к левой подшипниковой опоре 20 левого приводного вала 18 с помощью Г-образного кронштейна прикреплен левый концевой выключатель 53 (рис. 5, 6), расположенный над цевочной звездочкой 24 и повернутый своим кулачком к взаимодействующей с ним левой лыже 51. Концевые выключатели 52 и 53 предназначены для автоматического переключения золотника 54 гидрораспределителя с электромагнитным управлением, управляющего гидроцилиндром 49 (рис. 9, 10).

Золотник 54 установлен в кабине шагающего болотохода и имеет три позиции: левую, правую и среднюю (нейтральную). Он подсоединен к гидроцилиндру 49 с помощью трубопроводов по гидравлической схеме, включающей в себя гидронасос 55, приводимый во вращение от силовой установки (рис. 9). Между золотником 54 и гидроцилиндром 49 со стороны его поршневой полости установлен левый регулятор потока 56, а со стороны штоковой полости – правый регулятор поток 57, в корпус каждого из которых встроены обратный клапан. В сливной линии установлен фильтр 58. Гидросхема также включает в себя гидробак 59 и предохранительный (переливной) клапан 60, который установлен параллельно гидронасосу 55.

Концевые выключатели 52, 53 входят в состав электрической схемы, которая подключена к бортовой сети постоянного тока напряжением 24 В (рис. 10). Электрическая схема состоит из последовательно подсоединенных к источнику питания предохранителя 61, двухпозиционного переключателя 62, имеющего два положения, «выключено» и «включено»; параллельно соединенных с источником питания двух ветвей цепи, каждая из которых включает в себя последовательно соединенные между собой один из концевых выключателей 52, 53 с одной из электромагнитных катушек 63, 64 золотника 54; а также параллельно подсоединенную к каждому концевому выключателю 52, 53 одну из кнопок 65, 66 ручного управления. Между концевыми

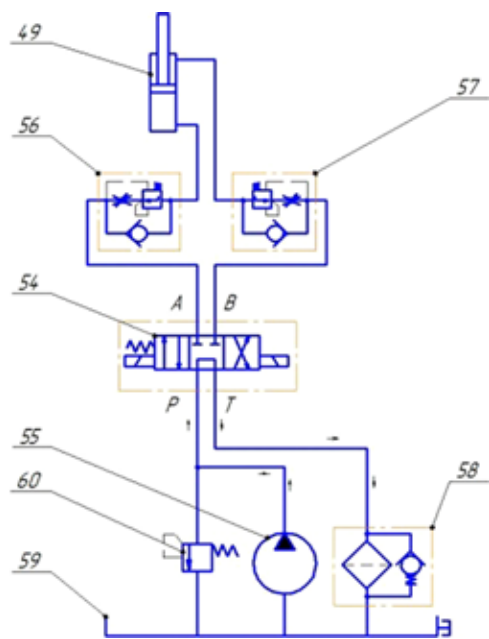


Рис. 9. Гидравлическая схема управления силовым цилиндром поворота опор поз. 49

Fig. 9. Hydraulic control scheme of the power cylinder for turning the supports pos. 49

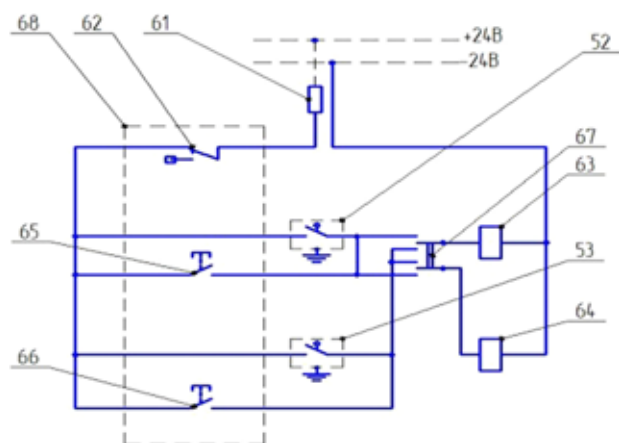


Рис. 10. Электрическая схема управления золотником гидрораспределителя поворота, вариант 1

Fig. 10. Electrical control diagram of the spool of the hydraulic turn valve, option 1

выключателями 52 и 53 и электромагнитными катушками 63 и 64 в разрыв их цепей установлен общий для указанных цепей трехпозиционный переключатель 67 поворота шагающего болотохода с тремя положениями: «поворот влево», «движение прямо» и «поворот вправо», причем положение «движение прямо» является средним (нейтральным).

При установке трехпозиционного переключателя 67 в верхнее положение, соответствующее

положению «поворот влево», указанная выше первая ветвь цепи включает в себя концевой выключатель 52, электромагнитную катушку 63 и кнопку 65. Вторая ветвь включает в себя концевой выключатель 53, электромагнитную катушку 64 и кнопку 66. При переключении трехпозиционного переключателя 67 вниз, что соответствует положению «поворот вправо», первая ветвь включает в себя концевой выключатель 52, электромагнитную катушку 64 и кнопку 65. Вторая ветвь включает в себя концевой выключатель 53, электромагнитную катушку 63 и кнопку 66 (рис. 10).

Концевые выключатели 52, 53 соединены с электромагнитными катушками 63, 64 посредством кабелей, проходящих по корпусу 1. Кнопки 65, 66 и двухпозиционный переключатель 62 смонтированы в пульте управления 68, установленном в кабине. Двухпозиционный переключатель 62 в положении «выключено» и трехпозиционный переключатель 67 в положении «движение прямо» ограничивают возможность подачи напряжения на электромагнитные катушки 63, 64 управления золотником 54 при срабатывании концевых выключателей 52, 53 или при нажатии кнопок 65, 66.

В соответствии с конструкцией шагающего болотохода по второму варианту вместо двух концевых выключателей 52 и 53 управления золотником 54 применены два других взаимно блокирующих концевых выключателя 69 и 70. Концевой выключатель 69 управления золотником 54 установлен на левой щеке кронштейна 40, между щек которого пропущена верхняя балка левой задней направляющей 32 средней опоры 2 (рис. 11). Концевой выключатель 69 расположен над задним катком 36 на одной с ним вертикали, проходящей через его ось и направлен своим кулачком в сторону верхней балки задней направляющей 32. Концевой выключатель 70 управления золотником 54 установлен на левой щеке кронштейна 38, между щек которого пропущена верхняя балка задней направляющей 30 левой опоры 4. Концевой выключатель 70 расположен над задним катком 34 на одной с ним вертикали, проходящей через его ось и направлен своим кулачком в сторону верхней балки задней направляющей 30. На левой боковой поверхности верхней балки задней направляющей 32 на уровне концевых выключателей 69 установлена взаимодействующая с ним лыжа 71. На левой боковой поверхности верхней балки задней направляющей 30 на уровне концевых

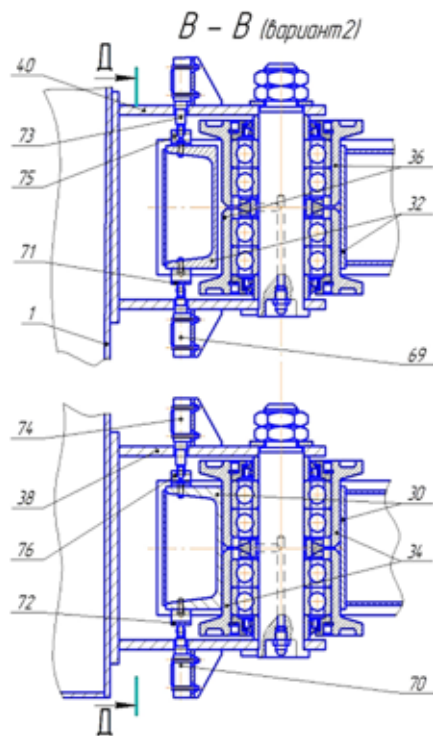


Рис. 11. Сечение по В-В на рис. 4, вариант 2 (поперечный разрез по левой задней направляющей средней опоры поз. 32 и по задней направляющей левой опоры поз. 30)

Fig. 11. Cross-section along the B-B in Fig. 4, option 2 (cross-section along the left rear guide of the middle support pos. 32 and along the rear guide of the left support pos. 30)

го выключателя 70 установлена взаимодействующая с ним лыжа 72. Каждая лыжа 71, 72 имеет длину $a - 2R$ и установлена по центру соответствующей задней направляющей 30, 32, при этом ее левый край отстоит на расстоянии R от крайнего левого положения центра заднего катка 34, 36 на задней направляющей 30, 32, а правый край – на таком же расстоянии R от крайнего правого положения центра заднего катка 34, 36 на задней направляющей 30, 32 (рис. 12).

На правых щеках кронштейнов 38 и 40 соосно концевым выключателям 69, 70 и симметрично им относительно осей кронштейнов 38, 40 установлены два дополнительных концевых выключателя 73 и 74.

На правых боковых поверхностях верхних балок задних направляющих 32 и 30 в их передней части на уровне концевых выключателей 73 и 74 установлены лыжи 75 и 76. Концевой выключатель 73 взаимодействует с лыжей 75, а концевой выключатель 74 – с лыжей 76, при этом лыжи 75 и 76 по длине короче лыж 71

и 72. Длина рабочего участка лыж 75 и 76 равна m . Лыжи 75 и 76 на длину $m/2$ установлены впереди лыж 71 и 72 (рис. 12).

Концевые выключатели 69, 70, 73 и 74 входят в состав электрической схемы, которая подключена к бортовой электрической сети постоянного тока напряжением 24 В (рис. 13). Она включает в себя трехпозиционный переключатель 67 изменения направления поворота и состоит из последовательно присоединенных к источнику питания предохранителя 61 и двухпозиционного переключателя 62, а также параллельно присоединенных двух ветвей цепи. Первая ветвь цепи при установке трехпозиционного переключателя 67 в позицию «поворот влево» (на электрической схеме – положение переключателя 67 «вверх») включает в себя концевой выключатель 69 с нормально открытым контактом, концевой выключатель 70 с нормально закрытым контактом, концевой выключатель 73 с нормально закрытым контактом, трехпозиционный переключатель 67 и электромагнитную катушку 63, а также параллельно присоединенную к цепи управления электромагнитной катушкой 63 кнопку 65. А вторая ветвь включает в себя концевой вы-

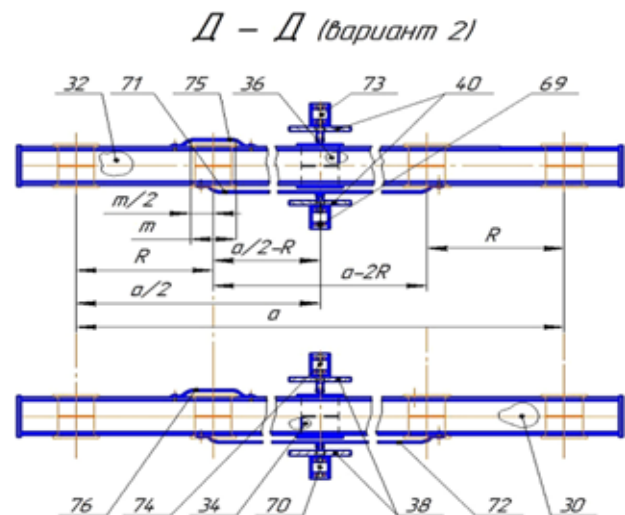


Рис. 12. Разрез по Д-Д на рис. 11, вариант 2 (разрез по кронштейнам поз. 40 и поз. 38 крепления задних катков поз. 36 и поз. 34, помещенных в левую заднюю направляющую средней опоры поз. 32 и в заднюю направляющую левой опоры поз. 30)

Fig. 12. The D-D section in Fig. 11, option 2 (the section on the brackets pos. 40 and pos. 38 fastening of the rear rollers pos. 36 and pos. 34, placed in the left rear direction of the middle support pos. 32 and into the rear guide of the left support pos. 30)

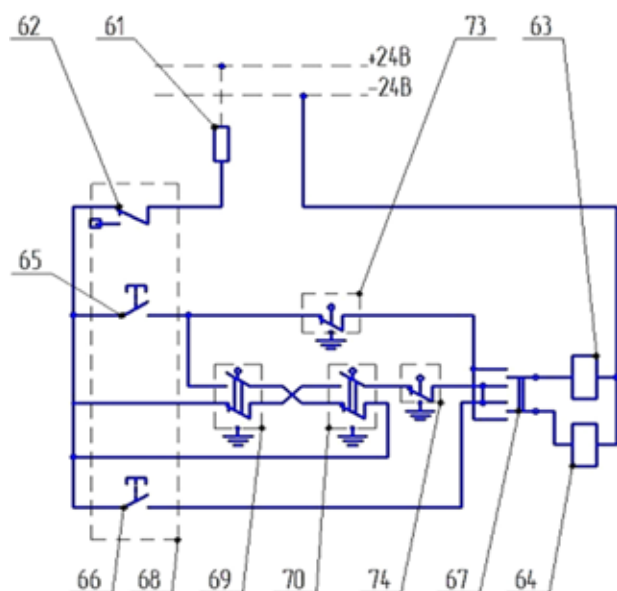


Рис. 13. Электрическая схема управления золотником гидрораспределителя поворота, вариант 2

Fig. 13. Electrical control circuit of the spool of the hydraulic turn valve, option 2

ключатель 69 с нормально закрытым контактом, концевой выключатель 70 с нормально открытым контактом, концевой выключатель 74 с нормально закрытым контактом, трехпозиционный переключатель 67 и электромагнитную катушку 64, а также параллельно присоединенную к цепи управления электромагнитной катушкой 64 кнопку 66 (рис. 13).

При установке трехпозиционного переключателя 67 в позицию «поворот вправо» (на электрической схеме «вниз») первая ветвь включает в себя концевой выключатель 70 с нормально закрытым контактом, концевой выключатель 69 с нормально открытым контактом, концевой выключатель 73 с нормально закрытым контактом, трехпозиционный переключатель 67 и электромагнитную катушку 64, а также параллельно присоединенную к цепи управления электромагнитной катушкой 64 кнопку 65. А вторая ветвь включает в себя концевой выключатель 69 с нормально закрытым контактом, концевой выключатель 70 с нормально открытым контактом, концевой выключатель 74 с нормально закрытым контактом, трехпозиционный переключатель 67 и электромагнитную катушку 63, а также параллельно присоединенную к цепи управления электромагнитной катушкой 63 кнопку 66.

Поворот шагающего болотохода в автоматическом режиме по первому варианту конструкции при использовании концевых выключателей 52, 53 производится в процессе его движения при поочередном повороте его сдвоенных боковых опор 3, 4 и средней опоры 2 на каждом шаге следующим образом. В исходном положении все три опоры 2–4 стоят на опорной поверхности грунта. Средняя опора 2 расположена впереди, а боковые опоры 3, 4 сзади на расстоянии одного шага. Перед началом движения машинист включает в работу силовую установку шагающего болотохода, от которой начинают работать генератор постоянного тока напряжением 24 В, а также гидронасос 55 (рис. 9). Машинист на пульте управления 68 переключает двухпозиционный переключатель 62 из положения «выключено» в положение «включено», а трехпозиционный переключатель 67 переключает из положения «движение прямо» в одно из двух возможных положений, например, в положение «движение влево», которое на электрической схеме соответствует положению переключателя 67 «вверх» (рис. 10). При включенных переключателях 62 и 67 происходит подача напряжения на выключенный концевой выключатель 52, соединенный с левой электромагнитной катушкой 63, а также на выключенный концевой выключатель 53, соединенный с правой электромагнитной катушкой 64 золотника 54. Центрирующие пружины удерживают золотник 54 в среднем положении. Он не направляет поток рабочей жидкости к гидроцилиндру 49, шток которого находится в среднем неподвижном положении и удерживает понтон 43 от поворота. При этом рабочая жидкость от гидронасоса по линии РТ отправляется на слив в гидробак 59 через фильтр 58 (рис. 9). При возникновении в гидросистеме повышенного давления, превышающего допустимое рабочее давление, рабочая жидкость сливается в гидробак 59 через предохранительный клапан 60.

При движении шагающего болотохода из исходного положения первыми начинают перемещение боковые опоры 3, 4. Переключатели 62 и 67 могут быть включены в рабочее положение независимо от очередности их включения и при другом исходном положении

опор 2–4, когда средняя опора 2 находится сзади, а боковые опоры 3, 4 – впереди, а также во время движения шагающего болотохода. При перемещении боковых опор 3, 4 шагающего болотохода передние катки 13, 14 корпуса 1 движутся по передним направляющим 9, 10 средней опоры 2, а задние катки 35, 36 корпуса 1 – по ее задним направляющим 31, 32. При этом переносимые боковые опоры 3, 4 своими передними направляющими 7, 8 и задними направляющими 29, 30 перемещаются по передним каткам 11, 12 и задним каткам 33, 34 корпуса 1.

Перемещение боковых опор 3, 4 происходит в результате вращения правого и левого приводных валов 15, 18 от силовой установки. При вращении приводных валов 15, 18 вместе с ними вращаются цевочные звездочки 21–24, взаимодействующие своими зубьями с цевками 25–28 опор 2–4. В рассматриваемом исходном положении цевочные звездочки 22, 23, находясь сверху цевки 26, 27 средней опоры 2, движутся по ним, перемещая при этом корпус 1 по неподвижной средней опоре 2. А цевочные звездочки 21, 24, находясь под цевками 25, 28 боковых опор 3, 4, перемещают их относительно корпуса 1.

Положение, при котором центры передних катков 13, 14 будут располагаться на заднем крае верхних ручьев передних направляющих 9, 10 средней опоры 2, а центры передних катков 11, 12 – на переднем крае нижних ручьев передних направляющих 7, 8 боковых опор 3, 4, соответствует завершению их подъема и началу их перемещения в переднем направлении (рис. 14, а).

В рассматриваемом положении лыжа 50 вступает в контакт с концевым выключателем 52 (рис. 5), нажимает на него и включает его в работу. В свою очередь, концевой выключатель 52 при своем включении подает электрический сигнал левой электромагнитной катушке 63 золотника 54 (рис. 10). Электромагнит левой электромагнитной катушки 63 переключает (толкает) золотник 54 вправо, при этом происходит выдвижение штока гидроцилиндра 49 (рис. 9). Вместе с передвижением боковых опор 3, 4 вперед одновременно начинается их поворот из продольного положения влево на угол α относительно понтона 43.

При работе насоса 55 рабочая жидкость от него движется в поршневую полость гидроцилиндра 49 через золотник 54 по линии РА

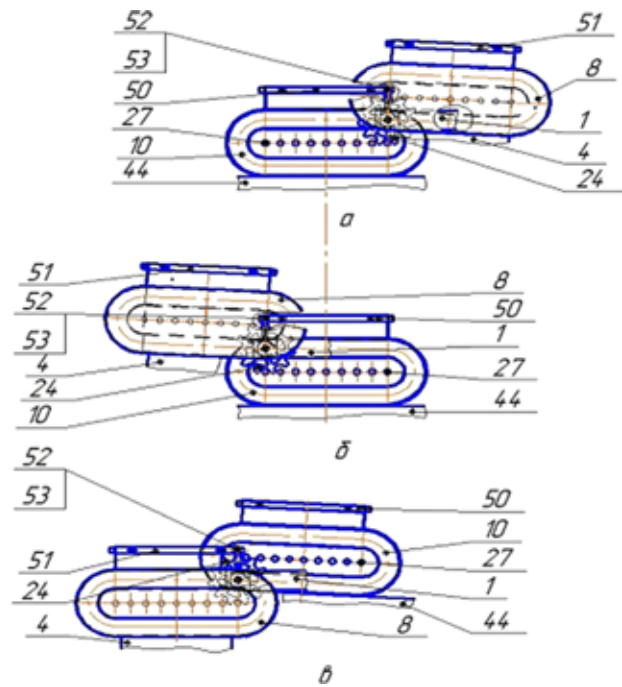


Рис. 14. Схема взаимодействия концевых выключателей поз. 50 и поз. 51 с лыжами поз. 52 и поз. 53 в различных положениях, вариант 1

Fig. 14. Scheme of interaction of limit switches pos. 50 and pos. 51 with skis pos. 52 and item 53 in various positions, option 1

и через обратный клапан левого регулятора потока 56 без регулировки, а возвращается из штоковой полости силового цилиндра 49 на слив в гидробак 59 через регулятор потока 57 по линии ВТ золотника 54 и через фильтр 58 (рис. 9). Регулятор потока 57 на выходе гидроцилиндра 49 обеспечивает регулировку скорости выдвижения его штока. При этом за счет работы привода вместе с боковыми опорами 3, 4 движутся поступательно, а за счет работы гидроцилиндра 49 одновременно поворачивают влево в горизонтальной плоскости балка 5, внешний грунтозацеп 6, приводные валы 15, 18, корпус 1 с передними катками 11–14 и задними катками 33–36 и кронштейны 37–40. При этом продольная рама 44 поворачивает влево в горизонтальной плоскости относительно шарнира 41, двигаясь своими дугообразными направляющими 45, 46 по роликам 47, 48 понтона 43 (рис. 3, 4).

Положение, при котором центры передних катков 13, 14 будут располагаться на переднем крае верхнего ручья передних направляющих 9, 10 средней опоры 2, а центры передних катков 11, 12 – на заднем крае нижних ручьев передних направляющих 7, 8 боковых опор 3, 4,

соответствует завершению их перемещения и началу их опускания на грунт (рис. 14, б). Не позднее данного положения должен завершиться процесс поворота боковых опор 3, 4. В рассматриваемом положении лыжа 50 выходит из контакта с концевым выключателем 52 и выключает его из работы. Таким образом, прекращается подача электрического сигнала левой электромагнитной катушке 63 золотника 54. Центрирующие пружины переключают золотник 54 в среднее положение. При этом прекращается выдвигание штока гидроцилиндра 49 и одновременно прекращается поворот боковых опор 3, 4. В процессе движения шагающего болотохода его боковые опоры 3, 4 меняются местами со средней опорой 2. Средняя опора 2 поднимается относительно грунта и перемещается вперед, а боковые опоры 3, 4 встают на опорную поверхность.

Положение, при котором центры передних катков 11, 12 будут располагаться на заднем крае верхних ручьев передних направляющих 7, 8 боковых опор 3, 4, а центры передних катков 13, 14 – на переднем крае нижних ручьев передних направляющих 9, 10 средней опоры 2, соответствует завершению их подъема и началу их перемещения в переднем направлении (рис. 14, в). В рассматриваемом положении лыжа 51 вступает в контакт с концевым выключателем 53, нажимает на него и включает его в работу. В свою очередь, концевой выключатель 53 при своем включении подаст электрический сигнал правой электромагнитной катушке 64 золотника 54 (рис. 10). Электромагнит правой электромагнитной катушки 63 переключает (толкает) золотник 54 влево, при этом происходит задвижение штока гидроцилиндра 49. Вместе с передвижением понтона 43 вперед начинается своевременный его поворот влево на угол 2α относительно неподвижных боковых опор 3, 4. Понтон 43 поворачивается в горизонтальной плоскости относительно шарнира 41, двигаясь своими роликами 47, 48 по дугообразным направляющим 45, 46 продольной рамы 44 (рис. 3, 4). При работе насоса 55 рабочая жидкость от него движется в штоковую полость гидроцилиндра 49 через золотник 54 по линии РВ и через обратный клапан правого регулятора потока 57 без регулировки, а возвращается из поршневой полости гидроцилиндра 49 на слив в гидробак 59 по линии АТ золотника 54 через левый регулятор потока 56 и через фильтр 58. Регулятор потока 56 на выходе гидроцилиндра

49 обеспечивает регулировку скорости выдвигания его штока (рис. 9).

Положение, при котором центры передних катков 11, 12 будут располагаться на переднем крае верхних ручьев передних направляющих 7, 8 боковых опор 3, 4, а центры передних катков 13, 14 – на заднем крае нижних ручьев передних направляющих 9, 10 средней опоры 2, соответствует завершению ее перемещения в переднем направлении и началу ее опускания на грунт. Не позднее данного положения должен завершиться процесс поворота понтона 43 средней опоры 2. В рассматриваемом положении лыжа 51 выходит из контакта с концевым выключателем 53 и выключает его из работы. Прекращается подача электрического сигнала правой электромагнитной катушке 64 золотника 54. Центрирующие пружины переключают золотник 54 в среднее положение. При этом прекращается выдвигание штока гидроцилиндра 49 и одновременно прекращается поворот понтона 43. Далее опоры опять меняются местами, и рассмотренный цикл поворота опор на каждом их шаге на угол 2α повторяется.

Например, если конструктивный угол α скоса бортов понтона 43 принять равным 10° , то угол поворота боковых опор 3, 4 при полном их повороте относительно средней опоры 2 из первоначального продольного положения влево на первом шаге также будет равен 10° . На втором шаге поворот средней опоры 2 относительно боковых опор 3, 4 составит угол 2α или 20° . На втором и последующих шагах все углы поворота опор 2–4 при их полном повороте также будут равны 20° . Таким образом, полный поворот шагающего болотохода влево на угол 90° может быть выполнен в автоматическом режиме за пять шагов боковых опор (если начинать движение с боковых опор) или за пять шагов средней опоры (если начинать движение со средней опоры).

Поворот шагающего болотохода вправо в автоматическом режиме происходит в результате поочередного поворота вправо его опор 2–4 на каждом их шаге аналогично повороту шагающего болотохода влево (рис. 2).

Для изменения направления поворота шагающего болотохода необходимо при включенном переключателе 62 произвести переключение трехпозиционного переключателя 67, изменяющего работу электрической схемы, в положение вниз (рис. 10), соответствующее повороту «вправо». При этом концевой выключатель

чатель 52, подающий электрический сигнал электромагнитной катушке 63, будет подавать электрический сигнал катушке 64, а концевой выключатель 53, подававший электрический сигнал электромагнитной катушке 64, будет подавать его электромагнитной катушке 63, в результате чего электромагниты электромагнитных катушек 63, 64 будут поочередно переключать золотник 54 в стороны, противоположные указанным выше при описании поворота «влево», и шток гидроцилиндра 49 будет двигаться в противоположном направлении (вместо выдвигения будет двигаться на задвижение, а вместо задвижения будет двигаться на выдвигение).

При включенном рабочем положении трехпозиционного переключателя 67 в ту или иную сторону и при поочередном нажатии на кнопки 65 и 66 на каждом шаге обеспечивается ручное управление золотником 54 за счет поочередной подачи электрического сигнала на его электромагнитные катушки 63 и 64. При этом обеспечивается поворот опор шагающего болотохода в соответствующую сторону кнопками 65 и 66 в ручном режиме.

Перед описанием процесса поворота шагающего болотохода в автоматическом режиме по второму варианту конструкции рассмотрим работу второго варианта электрической схемы (рис. 13).

При подаче постоянного тока напряжением 24 В предохранитель 61 защищает кабельные линии от механических повреждений, как и в первом варианте. Двухпозиционный переключатель 62 в автоматическом режиме обеспечивает возможность подачи напряжения на катушки управления золотником 63, 64 при срабатывании концевых выключателей 69, 70, 73, 74 или при нажатии кнопок 65, 66.

При переключении трехпозиционного переключателя 67 изменения направления поворота в верхнее положение, обеспечивается возможность подачи напряжения на электромагнитную катушку 63 при срабатывании концевого выключателя 69 с нормально открытым контактом и ограничивается возможность подачи напряжения на электромагнитную катушку 64 при срабатывании концевого выключателя 74 с нормально закрытым контактом, с последующим срабатыванием концевого выключателя 69 с нормально закрытым контактом. При переключении трехпозиционного переключателя 67 изменения направления поворота в верхнее положение также

обеспечивается возможность подачи напряжения на электромагнитную катушку 64 при срабатывании концевого выключателя 70 с нормально открытым контактом и ограничивается возможность подачи напряжения на электромагнитную катушку 63 при срабатывании концевого выключателя 73 с нормально закрытым контактом, с последующим срабатыванием концевого выключателя 70 с нормально закрытым контактом.

При переключении трехпозиционного переключателя 67 в нижнее положение обеспечивается возможность подачи напряжения на электромагнитную катушку 64 при срабатывании концевого выключателя 69 с нормально открытым контактом и ограничивается возможность подачи напряжения на электромагнитную катушку 63 при срабатывании концевого выключателя 74 с нормально закрытым контактом, с последующим срабатыванием концевого выключателя 69 с нормально закрытым контактом. При переключении трехпозиционного переключателя 67 в нижнее положение также обеспечивается возможность подачи напряжения на электромагнитную катушку 63 при срабатывании концевого выключателя 70 с нормально открытым контактом и ограничивается возможность подачи напряжения на электромагнитную катушку 64 при срабатывании концевого выключателя 73 с нормально закрытым контактом, с последующим срабатыванием концевого выключателя 70 с нормально закрытым контактом.

Одновременное срабатывание электромагнитных катушек 63, 64, электромагниты которых переключают золотник 54 в противоположные стороны, исключено при использовании взаимно блокирующих концевых выключателей 69, 70 с предварительно ограниченной возможностью срабатывания посредством концевых выключателей 74, 73.

Рассмотрим процесс поворота шагающего болотохода в автоматическом режиме по второму варианту конструкции поэтапно и схематично, при различных положениях опор 2–4, задних катков 33–36 на задних направляющих 29–32, концевых выключателей 69, 70, 73, 74 и лыж 71, 72, 75, 76 (рис. 15–21).

Поскольку левая и правая задние направляющие 31, 32 установлены параллельно друг другу на одной средней опоре 2 и движутся вместе с ней одинаково, то на схемах на виде сбоку условимся изображать их как одну направляющую, например, левую заднюю на-

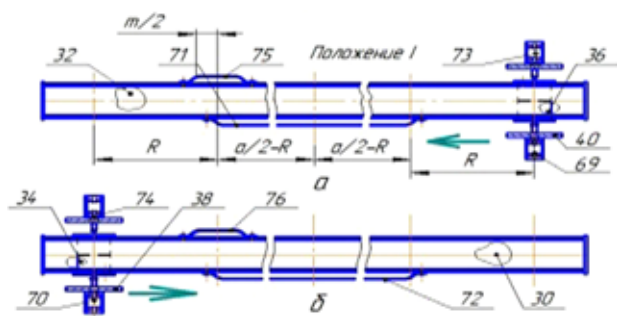


Рис. 15. Схема взаимодействия в положении I конечных выключателей поз. 69 и поз. 73 с лыжами поз. 71 и поз. 75, а также конечных выключателей поз. 70 и поз. 74 с лыжами поз. 72, 76; вариант 2

Fig. 15. Interaction diagram in position I of the limit switches pos. 69 and pos. 73 with skis pos. 71 and pos. 75, as well as limit switches pos. 70 and pos. 74 with skis pos. 72, 76; option 2

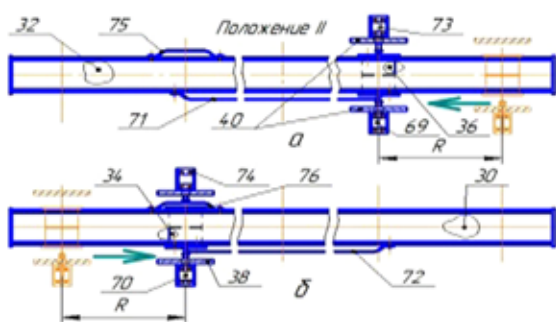


Рис. 16. Схема взаимодействия в положении II конечных выключателей с лыжами; вариант 2

Fig. 16. Interaction diagram in position II of the limit switches with skis; option 2

правляющую 32. Аналогично на схемах на виде сбоку условимся изображать вместо двух задних направляющих 29, 30 сдвоенных боковых опор 3, 4 одну заднюю направляющую, например, заднюю направляющую 30 левой опоры 4. Для компактности на схемах изобразим на одной вертикали две задние направляющие 30 и 32 соответственно левой опоры 4 и средней опоры 2, при этом заднюю направляющую 30 левой опоры 4 расположим под задней направляющей 32 средней опоры 2.

В исходном положении I (рис. 15) конечные выключатели 71, 72, 75, 76 не контактируют с лыжами 69, 70, 73, 74, так как они вместе с кронштейнами 38, 40 и задними катками 34, 36 находятся вне зоны расположения лыж 69, 70, 73, 74 на задних направляющих 30, 32 в их крайних положениях. В процессе движения

корпус 1 на задних катках 33–36 движется со скоростью V по задним направляющим 31, 32 неподвижной средней опоры 2 влево (в переднем направлении).

На схеме (рис. 15, а) стрелкой влево показано движение заднего катка 36 кронштейна 40 по левой задней направляющей 32 средней опоры 2. Вместе с задним катком 36 влево к лыже 71 движется установленный на кронштейне 40 концевой выключатель 69 управления золотником 54. В это же время по задним каткам 33, 34 корпуса 1 влево с такой же скоростью V относительно корпуса 1 движутся боковые опоры 3, 4 своими задними направляющими 29, 30. Их скорость относительно грунта составляет величину $2V$. Таким образом, на схеме можно изобразить компактно в относительном движении не перемещение задних направляющих 29, 30 боковых опор 3, 4 влево относительно катков 33, 34, а перемещение задних катков 33, 34 относительно задних направляющих 29, 30 вправо.

На нижней схеме (рис. 15, б) стрелкой вправо показано направление движения заднего катка 34 кронштейна 38 относительно задней направляющей 30 левой опоры 4. Вместе с задним катком 34 к лыже 72 движется установленный на кронштейне 38 концевой выключатель 70 управления золотником 54. В процессе движения боковых опор 3, 4 задние катки 35, 36 корпуса 1 вместе с кронштейнами 39, 40 проезжают по задним направляющим 31, 32 средней опоры 2 влево путь R и из положения I перемещаются в положение II (рис. 16, а). При этом боковые опоры 3, 4 полностью приподнимаются относительно грунта и готовы к беспрепятственному повороту (без бульдозерного эффекта). В это же время задние направляющие 29, 30 боковых опор 3, 4 по задним каткам 33, 34 тоже проходят путь R . Перемещение задних катков 33, 34 в относительном движении относительно задних направляющих 29, 30 показано стрелкой вправо (рис. 16, б). В соответствии со схемой расположения конечных выключателей 69, 70, 73, 74 и лыж 71, 72, 75, 76 в процессе прохождения указанного выше пути R в первую очередь концевой выключатель 74 наезжает на короткую лыжу 76 и блокирует работу концевой выключателя 70, не позволяя ему включиться.

Это происходит потому, что лыжа 76 установлена впереди лыжи 72 на величину $m/2$. Длина $m/2$ выступающего отрезка лыжи 76 гарантирует первоочередное включение

концевого выключателя 74 независимо от инерционности срабатывания концевых выключателей и скорости движения шагающего болотохода.

Так, при времени срабатывания концевых выключателей 0,5 с и скорости движения шагающего болотохода 500 м/ч или 0,14 м/с величина $m/2$ (длина выступающей части лыжи) составит 0,07 м, а вся длина короткой лыжи 76 будет равна 0,14 м.

Таким образом, длина выступающей части лыжи 76 должна быть не меньше отрезка, равного произведению скорости движения шагающего болотохода на время срабатывания концевого выключателя.

В действительности время срабатывания концевых выключателей меньше 0,5 с, поэтому длина $m/2$ выступающего отрезка лыжи 76 по отношению к лыже 70 всегда будет обеспечивать первоочередное включение концевого выключателя 74.

В положения II, при прохождении пути R по отношению к положению I, концевой выключатель 69 наезжает на лыжу 71, а лыжа 72 наезжает на концевой выключатель 70. При этом концевой выключатель 69 включается в работу, блокирует положение концевого выключателя 70 и подает электрический сигнал на левую электромагнитную катушку 63. Однако положение концевого выключателя 70 уже ранее было заблокировано концевым выключателем 74 и взаимодействующей с ним лыжей 76. Когда концевой выключатель 74 выходит из контакта с лыжей 76 и перестает блокировать концевой выключатель 70, тогда его по-прежнему продолжает блокировать концевой выключатель 69 в течение всего времени его взаимодействия с лыжей 71. Электромагнит левой электромагнитной катушки 63, получив электрический сигнал от концевого выключателя 69, своим толкателем переключает золотник 54 вправо. При этом поток рабочей жидкости от насоса 55 подается по золотнику 54 в прямом направлении по линии РА через обратный клапан левого регулятора потока 56 без регулировки в поршневую полость силового цилиндра 49 поворота, шток которого находится в среднем положении (рис. 9). Шток силового цилиндра 49 выдвигается из своего среднего положения на оставшиеся полхода и на первом шаге поворачивает боковые опоры 3, 4 влево на угол α в процессе их поступательного передвижения. Грунт не оказывает сопротивление повороту поднятых

боковых опор 3, 4. При этом не затрачивается энергия на сдвиг грунта боковыми опорами 3, 4 при их повороте и не происходит обратного отворота стоящей на грунте средней опоры 2, который увеличивает радиус поворота шагающего болотохода. При выдвигении штока гидроцилиндра 49 поток рабочей жидкости из штоковой полости возвращается по сливной линии ВТ через правый регулятор потока 57 на слив в гидробак 59 через фильтр 58 (рис. 9).

В положении III боковые опоры 3, 4 завершают передвижение вперед. При этом задние катки 34, 36 корпуса 1 перемещаются относительно задних направляющих 30, 32 из положения II в положение III и проходят при этом путь $a - 2R$ (рис. 17, а, б).

Концевые выключатели 69 и 70 съезжают с лыж 71 и 72, при этом концевой выключатель 69 выключается и снимает блокировку с концевого выключателя 70. При выключении концевого выключателя 69 прекращается подача электрического сигнала на левую электромагнитную катушку 63 золотника 54. При этом золотник 54 центрирующими пружинами переключается в среднее положение и отключает подачу рабочей жидкости гидроцилиндру 49 поворота, который своевременно прекращает поворот боковых опор 3, 4. Своевременность поворота боковых опор 3, 4 также обеспечивается регулятором потока 57, который регулирует скорость движения штока на выходе гидроцилиндра 49.

Чтобы гидроцилиндр 49 с длиной хода штока L успевал полностью повернуть опору на полный угол 2α за время движения концевого выключателя 69 по лыже 71 длиной $a - 2R$ при скорости движения шагающего болотохода V , необходимо, чтобы шток гидроцилиндра 49 был отрегулирован на скорость своего движения V_1 не менее величины $VL/(a - 2R)$.

В положении IV задние катки 35, 36 корпуса 1 вместе с кронштейнами 39, 40 и концевыми выключателями 69, 73 перемещаются влево по задним направляющим 31, 32 до конца своего хода (рис. 18, а), а задние направляющие 29, 30 боковых опор 3, 4 перемещаются до конца своего хода относительно задних катков 33, 34 корпуса 1, кронштейнов 37, 38 и концевых выключателей 70, 74 (рис. 18, б). Таким образом, задние катки 33, 34 корпуса 1, кронштейны 37, 38 и концевые выключатели 70, 74 располагаются на правом краю задних направляющих 29, 30 (рис. 18, б). В рассматриваемом положении все три опоры 2–4 встали

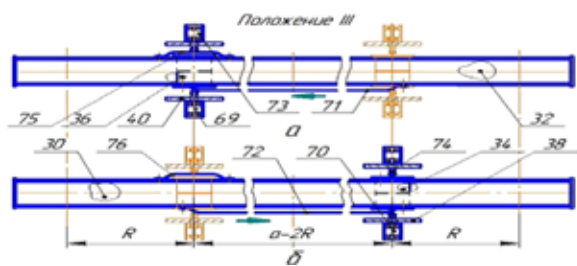


Рис. 17. Схема взаимодействия в положении III концевых выключателей с лыжами; вариант 2

Fig. 17. Interaction diagram in position III of the limit switches with skis; option 2

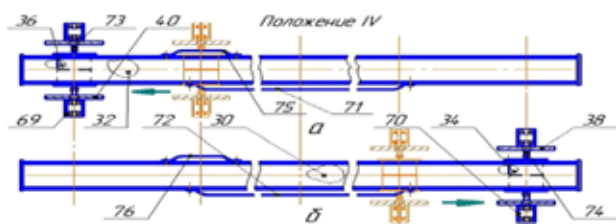


Рис. 18. Схема взаимодействия в положении IV концевых выключателей с лыжами; вариант 2

Fig. 18. Interaction diagram in position IV of the limit switches with skis; option 2

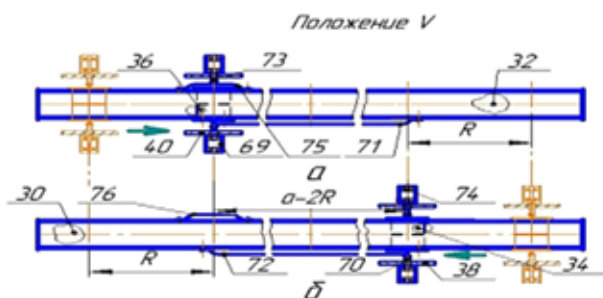


Рис. 19. Схема взаимодействия в положении V концевых выключателей с лыжами; вариант 2

Fig. 19. Interaction diagram in the V position of the limit switches with skis; option 2

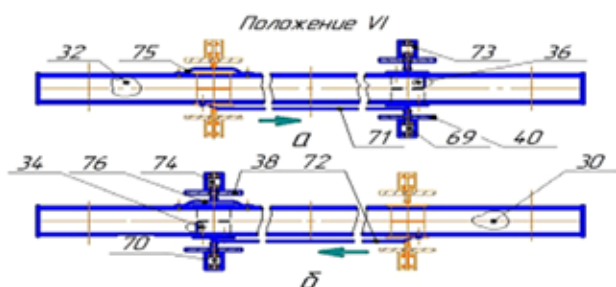


Рис. 20. Схема взаимодействия в положении VI концевых выключателей с лыжами; вариант 2

Fig. 20. Scheme of interaction in position VI of limit switches with skis; option 2

на грунт. Боковые опоры 3, 4 и средняя опора 2 поменялись местами по отношению к положению I. Боковые опоры 3, 4 расположились на опорной поверхности грунта впереди, а средняя опора 2 позади них. При этом концевые выключатели 69, 70, 73, 74 с лыжами 71, 72, 75, 76 не контактируют, и поворота опор шагающего болотохода не происходит.

В положении V переносимая средняя опора 2 своими задними направляющими 31, 32 движется влево по задним каткам 35, 36. Поскольку задние направляющие 31, 32 перемещаются влево, то задние катки 35, 36 с кронштейнами 39, 40 и концевыми выключателями 69, 73 относительно задних направляющих 31, 32 смещаются вправо (рис. 19, а).

В положении V задние катки 33, 34 корпуса 1 вместе с кронштейнами 37, 38 и концевыми выключателями 70, 74 перемещаются влево (вперед) по неподвижным задним направляющим 30, 31 боковых опор 3, 4, которые стоят на грунте (рис. 19, б).

В рассматриваемом положении концевой выключатель 70 наезжает на лыжу 72 и включается ею, блокирует работу концевой выключателя 69, чтобы тот не срабатывал при наезде на лыжу 71. Но чтобы концевой выключатель 69 не включился раньше концевой выключателя 70, он блокируется концевым выключателем 73, который еще раньше наезжает на лыжу 75, выступающую вперед на величину $m/2$. Концевой выключатель 70 при включении в работу подает сигнал правой электромагнитной катушке 64 золотника 54. Ее электромагнит толкает золотник 54 влево. При этом поток рабочей жидкости от гидронасоса 55 направляется в штоковую полость силового цилиндра 49 по линии РВ через обратный клапан регулятора потока 57, а возвращается на слив в гидробак 59 из поршневой полости гидроцилиндра 49 через регулятор потока 56 по линии АТ золотника 54 и через фильтр 58 (рис. 9). При этом за счет работы гидроцилиндра 49 при задвижении его штока происходит поворот влево средней опоры 2. Когда концевой выключатель 73 выходит из контакта с лыжей 75 и перестает блокировать концевой выключатель 69, то его продолжает блокировать концевой выключатель 70 на всем пути взаимодействия с лыжей 72.

В положении VI (рис. 20, а) концевой выключатель 69 съезжает с лыжи 71 и перестает с ней взаимодействовать, а концевой выключатель 70 съезжает с лыжи 72, перестает с ней

взаимодействовать и прекращает блокировать работу концевого выключателя 69.

При этом прекращается подача электрического сигнала от концевого выключателя 70 правой электромагнитной катушке 64 золотника 54. Золотник 54 центрирующими пружинами переключается в среднее положение. При этом гидроцилиндр 49 завершил поворот средней опоры 2 влево. Его шток полностью втянулся в гильзу. Регулятор потока 56 обеспечил регулировку скорости движения штока гидроцилиндра 49 на его выходе, необходимую для своевременного и полного поворота средней опоры 2 на угол β за время ее перемещения до начала опускания на грунт. В данном положении завершается угловое и линейное перемещение средней опоры 2, и она начинает опускаться на грунт.

В положении VII (рис. 21, а, б) все опоры 2–4 находятся на грунте, средняя опора 2 впереди, а боковые опоры 3–4 сзади. В данном положении опор 2–4 поворот шагающего болотохода не происходит, так как концевые выключатели 69, 70, 73, 74 вышли из контакта с лыжами 71, 72, 75, 76. Концевые выключатели 69, 70 не посылают электрический сигнал электромагнитным катушкам 63, 64. Центрирующие пружины удерживают золотник 54 в среднем положении, а силовой цилиндр удерживает опоры 2–4 от поворота.

При дальнейшем движении описанный выше цикл работы повторяется. Каждая опора 2–4, начиная со второго шага, поворачивается за время ее своего передвижения на угол 2α до полного поворота шагающего болотохода или до его разворота в обратном направлении. После завершения поворота шагающего болотохода трехпозиционный переключатель 67 переводят в среднее положение «движение прямо».

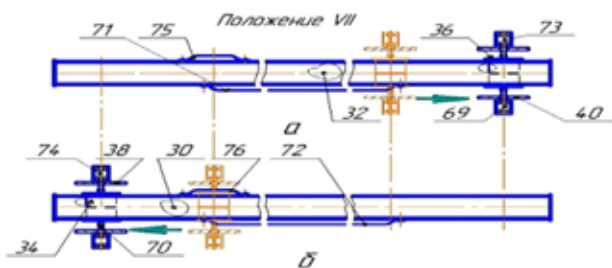


Рис. 21. Схема взаимодействия в положении VI концевых выключателей с лыжами; вариант 2

Fig. 21. Scheme of interaction in position VI of limit switches with skis; option 2

Когда не требуется выполнение поворота шагающего болотохода, а требуется в процессе движения произвести всего лишь выравнивание средней опоры 2 или боковых опор 3, 4 путем их поворота на небольшой угол в ту или иную сторону, то для этих целей используют кнопки 65, 66 ручного управления поворотом (рис. 13). При этом в процессе перемещения шагающего болотохода в прямом направлении при включенном переключателе 62 включают переключатель 67 из положения «движение прямо» в необходимую сторону и соответствующей кнопкой 65 или 66 производят корректировку углового положения средней опоры 2 или боковых опор 3, 4, после чего переключатель 67 устанавливают в исходное среднее положение.

Выше описан процесс поворота шагающего болотохода влево. Аналогичным образом происходит его поворот вправо или правый разворот, для чего трехпозиционный переключатель 67 переключают из среднего положения «движение прямо» в нижнее положение (рис. 13), соответствующее «движению вправо». Если при повороте влево концевой выключатель 69 был подключен к левой электромагнитной катушке 63 золотника 54, а концевой выключатель 70 – к правой электромагнитной катушке 64, то при переключении переключателя 67 в положение «движение вправо» концевой выключатель 69 при своем срабатывании будет подавать электрический сигнал правой электромагнитной катушке 64 золотника 54, а концевой выключатель 70 – левой электромагнитной катушке 63. При этом меняется направление подачи рабочей жидкости к силовому цилиндру 49. При срабатывании концевого выключателя 69 в соответствии с гидросхемой (рис. 9) и электросхемой (рис. 13) рабочая жидкость будет направляться золотником 54 не в поршневую полость силового цилиндра 49, как было описано выше при повороте влево, а в его штоковую полость, при срабатывании концевого выключателя 70 – в поршневую полость.

В обоих вариантах устройств для автоматического управления шагающим болотоходом при его движении на повороте:

- применение гидрораспределителя с электромагнитным управлением золотника вместо гидрораспределителя с ручным управлением обеспечивает возможность автоматического управления гидроцилиндром поворота опор;

- применение лыж и взаимодействующих с ними концевых выключателей обеспечивает возможность своевременной подачи электрических сигналов электромагнитным катушкам и электромагнитам золотника для его автоматического переключения в ту или иную сторону и поворота опор влево или вправо [9];
- применение регуляторов потока с обратным клапаном на входе и на выходе гидроцилиндра поворота последовательно ему обеспечивает возможность регулировки скорости движения штока гидроцилиндра поворота на выходе независимо от направления потока рабочей жидкости. Причем регулирование потока рабочей жидкости на выходе гидроцилиндра поворота, кроме плавного и устойчивого движения его штока и стабильной скорости движения, обеспечивает отвод в гидробак тепла рабочей жидкости, нагретой на гидравлическом сопротивлении, где накопленное тепло рассеивается;
- применение трехпозиционного переключателя поворота в разрыв электрических цепей между концевыми выключателями и электромагнитными катушками золотника обеспечивает возможность изменения направления движения штока гидроцилиндра поворота за счет изменения направления электрического сигнала от концевых выключателей к электромагнитным катушкам золотника.

Применение в конструкции второго устройства двух основных взаимно блокирующих концевых выключателей, управляющих электромагнитными катушками и электромагнитами золотника, обеспечивает возможность включения лишь одного концевого выключателя при блокировке второго, что исключает одновременное включение сразу двух электромагнитов, переключающих золотник в противоположные стороны.

А применение двух дополнительных концевых выключателей с лыжами обеспечивает возможность дополнительной первичной блокировки каждого из взаимно блокирующих концевых выключателей для гарантии блокировки.

Такая гарантия необходима при погрешностях в изготовлении и неточностях в установке лыж.

Для первого варианта конструкции характерна простота электрической схемы, включа-

ющая в себя только два концевых выключателя, устанавливаемых на кронштейны.

Для второго варианта конструкции характерна простота установки концевых выключателей, а также простота установки лыж непосредственно на задние направляющие без дополнительных кронштейнов, но электрическая схема включает в себя четыре концевые выключателя.

Таким образом, основным техническим результатом разработки двух рассмотренных устройств для автоматического управления поворотом стало снижение затрат энергии при повороте опор, уменьшение радиуса поворота, увеличение поворотливости и проходимости шагающей машины, а также снижение утомляемости машиниста во время работы при управлении поворотом и высвобождение его руки для управления другими органами.

Библиографический список

1. *Петров А.А., Коровицын Л.Ф.* Основные параметры поворота шагающего болотохода // Калининский политехн. ин-т. – Калинин, 1983. – 7 с. – Рукопись деп. в ЦБНТИ МТП РСФСР 13.07.83 г., № 3, тп – Д 83.
2. *Петров А.А., Коровицын Л.Ф.* Определение средней скорости передвижения болотоходной шагающей машины // Технология и комплексная механизация торфяного производства. – Калинин: КПИ, 1989. – С. 43–45.
3. *Петров А.А., Коровицын Л.Ф.* Определение коэффициента буксования шагающего движителя // Торфяная промышленность. – 1987. – № 9. – С. 19–20.
4. А. с. 1044542 СССР, МПК В62D 57/02. Внедорожное транспортное средство / Коровицын Л.Ф., Петров А.А., Васильев Н.П., Ткачев В.Г. (СССР). – № 2940115; заявл. 13.06.80; опубл. 30.09.83, Бюл. № 36. – С. 64.
5. *Коровицын Л.Ф., Петров А.А., Александров В.Н.* Шагающий болотный тягач // Информ. листок № 89–27. – Калинин: ЦНТИ, 1989. – 4 с.
6. *Петров А.А., Коровицын Л.Ф., Александров В.Н.* Шагающий болотный траншекопатель // Каталог паспортов. Научно-технические достижения, рекомендуемые для использования в мелиорации и водном хозяйстве. – М.: ЦБНТИ, 1992. – Вып. 14. – С. 11–12.
7. *Петров А.А.* Высокопроходимая шагающая техника для освоения болот и устра-

нения нефтяных загрязнений болотных почв. Современные проблемы развития нефтегазовой промышленности России // Нефтегазопромысловый инжиниринг. – 2005. – № 3. – С. 27–32.

8. Патент на полезную модель № 111831 от 29.06.11 г, МПК В62D 57/02. Шагающий болотоход / М.Н. Сафронов, В.А. Фонарюков, А.А. Петров и др. // 2011 г. – Бюл. № 36.
9. *Петров А.А., Зюзин Б.Ф.* Исследование процесса передвижения опор шагающей болотоходной машины на повороте и оп-

ределение оптимальных моментов включения и выключения привода их поворота для автоматического управления // Труды ИНСТОРФА. – 2021. – № 24 (77). – С. 37–52.

10. Заявка на изобретение 2022107891 Российская Федерация, МПК В62D 57/02. Шагающий болотоход / Петров А.А., Зюзин Б.Ф., Замула А.И. и др.; заявитель Тверской технический государственный университет; приоритет 24.03.2022.

УДК 622.23.05:622.7

Крылов К.С.

Крылов Константин Станиславович, к. т. н., доцент, заведующий кафедрой механизации природообустройства и ремонта машин Тверского государственного технического университета, krylovks74@mail.ru

Фомин К.В.

Фомин Константин Владимирович, д. т. н., проф. кафедры механизации природообустройства и ремонта машин Тверского государственного технического университета, fomin_tver@mail.ru

Харламов В.Е.

Харламов Вячеслав Евгеньевич, к. т. н., доцент кафедры механизации природообустройства и ремонта машин Тверского государственного технического университета, mik.tv@mail.ru

Морозихина И.К.

Морозихина Ирина Константиновна, к. т. н., доцент кафедры механизации природообустройства и ремонта машин Тверского государственного технического университета, mik.tv@mail.ru

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ И НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КАФЕДРЫ МЕХАНИЗАЦИИ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА И РЕМОНТА МАШИН (к 100-летию Тверского государственного технического университета)

Аннотация. В статье описывается история кафедры «Механизация природообустройства и ремонт

Krylov K.S.

Krylov Konstantin S. Candidate of Technical Sciences, Head of the Chair of Environmental Mechanization and Repair of Machines of TSTU, krylovks74@mail.ru

Fomin K.V.

Fomin Konstantin V. Dr. Sc., Prof. of the Chair of Environmental Mechanization and Repair of Machines of the Tver State Technical University (TSTU), tver.fomin_tver@mail.ru

Harlamov V.E.

Harlamov Vyacheslav E. Candidate of Technical Sciences, Ass. Prof. of the Chair of Environmental Mechanization and Repair of Machines of TSTU, mik.tv@mail.ru

Morozikhina I.K.

Morozichina Irina K. Candidate of Technical Sciences, Ass. Prof. of the Chair of Environmental Mechanization and Repair of Machines of TSTU, mik.tv@mail.ru

THE MAIN STAGES OF THE DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC ACTIVITIES OF THE CHAIR «MECHANIZATION OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AND REPAIR OF MACHINES» (for the 100th anniversary of Tver State Technical University)

Abstract. The article describes the history of the Chair «Mechanization of Environmental Management and Re-

машин» Тверского государственного технического университета. Приведены сведения о направлениях научной деятельности. Описываются реализуемые образовательные программы высшего образования и дополнительного профессионального образования. Раскрыты подходы к обучению и воспитанию инженерных кадров. Представлены биографические сведения о руководителях и сотрудниках кафедры, работавших в разное время и внесших значительный вклад в ее развитие.

Ключевые слова: кафедра, преподавательский состав, научная деятельность, образование.

pair of Machines» of the Tver State Technical University. The information about the directions of scientific activity is given. The implemented educational programs of higher education and additional professional education are described. The approaches to training and education of engineering personnel are revealed. Biographical information about the heads and employees of the chair who worked at different times and made a significant contribution to its development is presented.

Keywords: chair, teaching staff, scientific activity, education.

История кафедры механизации природообустройства и ремонта машин (МПРМ) неразрывно связана с историей университета. Кафедра начала свое существование в 1967 году. Первое название было связано с ремонтом и обслуживанием торфяных и технологических машин – «Технология ремонта машин». Основателем кафедры и первым ее заведующим был Николай Васильевич Филатов, доцент, кандидат технических наук (рис. 1) [1, 2].

Также им была организована лаборатория диффузионной сварки, в которой проводились исследования по разработке методов восстановления изношенных деталей. За период работы на кафедре подготовлено семь кандидатов наук. Он является автором более 90 научно-методических работ, включая учебное пособие «Техническая эксплуатация и ремонт торфяных машин» (1988). Заслуги Н.В. Филатова отмечены 5 медалями.

С первых дней существования кафедры преподавательским и техническим составом решалась задача подготовки специалистов, связанных с организацией технического обслуживания и ремонта машин, используемых в торфяной промышленности. Для решения этих задач большое внимание уделялось созданию и развитию специальных лабораторий и их материально-техническому обеспечению. Большой вклад внесло использование кафедрой учебного полигона. Его основателем был доцент В.Ф. Иванов (1913–1991) [1, 2]. На его территории была организована база для проведения обучения вождению колесных и гусеничных тракторов, их обслуживание и ремонт. Студентов готовили к сдаче экзаменов

на получение прав на вождение тракторов, сельскохозяйственных и торфяных машин в Гостехнадзоре.

Использование полигона, обеспеченного современным лабораторным оборудованием, создало предпосылки для качественного изучения на практике дисциплин с применением как лабораторных комплексов, так и технологического оборудования, применяемого в промышленности.

Учебная работа активно совмещалась с научно-исследовательской, связанной с созданием новых методик и совершенствованием существующих технологий ремонта тракторов, сельскохозяйственных и торфяных машин.



Рис. 1. Филатов Николай Васильевич, заведующий кафедрой «Технология ремонта машин» с 1967-го по 1977 год, доцент, кандидат технических наук

Fig. 1. Nikolay Vasilievich Filatov, the Head of the Chair «Technology of Repair of Machines» from 1967 to 1977, associate professor, Candidate of Technical Sciences

Результаты научно-исследовательской деятельности активно использовались в учебном процессе. Преподаватели кафедры участвовали в проведении занятий по повышению уровня квалификации работников торфяной промышленности.

Кафедрой применялись различные методы работы со студентами. Так, по ее инициативе с целью организации производственной практики студентов были организованы механизированные отряды. При этом студенты работали на торфяных машинах при выполнении технологических операций торфяного производства. Это улучшало качество подготовки будущих специалистов и решало проблему кадров при сезонном характере торфяной промышленности [1, 2]. Организатором и командиром студенческих механизированных отрядов долгое время являлся преподаватель кафедры Д.Д. Петров.

В 1977 году кафедру «Технология ремонта машин» возглавил Лукьянчиков Анатолий Николаевич (1936–2014) и руководил ею до 2012 года (рис. 2).

Он окончил с отличием Московский торфяной институт и, работая на кафедре, прошел путь от ассистента до профессора и доктора технических наук. За время его руководства сложился крепкий, творческий коллектив кафедры, который успешно решал сложные образовательные и научные проблемы.

На счету А.Н. Лукьянчикова более 200 научных и учебно-методических публикаций, среди них 10 учебных пособий.

Анатолий Николаевич являлся ведущим специалистом в области технического обслуживания, технической диагностики и ремонта торфяных машин. Многие работы связаны с проведением ускоренных испытаний на надежность машинно-тракторных агрегатов.

Под научным руководством А.Н. Лукьянчикова разработаны методы и средства технической диагностики машин торфяного производства, создана лаборатория технической диагностики, разработаны методы и внедрена система сбора и анализа эксплуатационной информации и надежности торфяных машин. Знак «Жителю блокадного Ленинграда», медали «50 лет Победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», «60 лет Победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» и «За освоение целинных земель» – так государство отметило заслуги Анатолия Николаевича [1, 2].



Рис. 2. Лукьянчиков Анатолий Николаевич, заведующий кафедрой «Технология ремонта машин» с 1977-го по 2012 год, доктор технических наук, профессор

Fig. 2. Lukyanchikov Anatoly Nikolaevich, the Head of the Chair «Technology of Repair of Machines» from 1977 to 2012, Doctor of Technical Sciences, professor

Кафедра продолжает славные традиции, заложенные ее основателями, и обладает высоким научным потенциалом. Профессорско-преподавательский состав в настоящее время насчитывает 8 высококвалифицированных специалистов. Среди них один член-корреспондент Российской академии наук, 4 профессора и доктора технических наук, 4 доцента, кандидата технических наук (рис. 3, 4, 6, 7).

В настоящее время кафедрой проводится подготовка студентов по специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства (специализация – технические средства природообустройства и защиты в чрезвычайных ситуациях)» и направлению подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов (профиль – автомобильный сервис)».

К обучению студентов широко привлекаются ведущие специалисты различных отраслей промышленности.

Для проведения учебного процесса на кафедре оборудованы специализированные классы и лаборатории. Они оснащены уникальным оборудованием, позволяющим проводить исследования в области диагностики деталей машин, механических испытаний, оценки качества топливных систем. Имеются лаборатории по технической диагностике и ремонту систем управления автомобилем и электрооборудования, лаборатории по восстановлению деталей машин.



Рис. 3. Кафедра механизации природообустройства и ремонта машин, 1983 г.
Первый ряд: в центре А.Н. Лукьянчиков, В.Ф. Иванов, Н.В. Филатов, П.Ф. Анисимов

Fig. 3. Chair of «Environmental Mechanization and Repair of Machines», 1983.
First row in the center: A.N. Lukyanchikov, V.F. Ivanov, N.V. Filatov, P.F. Anisimov

Кафедра МПРМ на территории полигона имеет хорошо оснащенные учебные аудитории для изучения дисциплин, связанных с эксплуатацией тракторов и автомобилей.

Также кафедра обладает уникальным исследовательским оборудованием для изучения взаимодействия рабочего оборудования машин природообустройства с грунтом, как под водой, так и на суше. Оно предназначено для исследования основных силовых и энергетических характеристик рабочих органов различных типов с целью совершенствования процесса разработки новой техники и совершенствования существующей.

Изучение процессов, происходящих при работе двигателей внутреннего сгорания, при различных режимах работы, проводится с использованием методов полунатурного моделирования [3] с применением современной вычислительной техники. При этом учитываются свойства реального объекта и модели, имитирующие с помощью компьютера элементы системы и условия ее работы.

С целью повышения качества учебного процесса и подготовки специалистов, отвечающих современным требованиям, на кафедре используются инновационные технологии

обучения. Применяются системы автоматизированного проектирования, такие как «Компас-3D» и APM WinMachine на всех этапах обучения студентов при изучении таких дисциплин, как «Инженерная графика», «Теория машин и механизмов», «Детали машин и основы конструирования», а также при освоении специальных предметов, при выполнении курсовых и дипломных проектов.

Выпускники кафедры принимают участие в ежегодном Всероссийском конкурсе дипломных проектов по специальности 171100 «Машины и оборудование природообустройства и защиты окружающей среды», который проводится ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева». При этом они занимают, как правило, призовые места, несмотря на высокий уровень конкуренции (рис. 5).

Наши выпускники успешно работают в государственных и частных организациях, на предприятиях, преподавателями вузов Твери, России и ближнего зарубежья.

В Тверском государственном техническом университете при непосредственном участии кафедры создан спортивно-технический клуб, в котором регулярно занимаются



Рис. 4. Кафедра механизации природообустройства и ремонта машин, 2012 г.

Сидят: С.П. Огородников, А.Н. Лукьянчиков, И.П. Тарало;

стоят: И.К. Морозихина, В.Е. Харламов, К.С. Крылов

Fig. 4. Chair «Mechanization of Environmental Engineering and Repair of Machines», 2012.

Sitting: S.P. Ogorodnikov, A.N. Luk'yanchikov, I.P. Taralo;

Standing: I.K. Morozikhina, V.E. Kharlamov, K.S. Krylov

студенты. Команда по автокроссу «СК ТвГТУ RACING» принимает активное участие в городских, областных и республиканских соревнованиях. Она была победителем Кубка России 2011 года по автокроссу в командном зачете

в классе Д2Н, а в 2012–2014 годах занимала 2–3-е места в командных соревнованиях. Участниками команды являются студенты и выпускники кафедры: Борис Сураков, Михаил Донченко, Сурен Саркисян, Иван Казадаев. Тренером команды является неоднократный победитель областных и республиканских соревнований Баринов Виктор Анатольевич, выпускник кафедры МПРМ.

Успехи команды по автокроссу под флагом ТвГТУ в соревнованиях укрепляют его авторитет как одного из ведущих технических вузов в России. Участие учащихся в таких соревнованиях является мощным стимулом в их профессиональном развитии и способствует привлечению молодых людей в наш вуз, пропаганде здорового образа жизни и развития творческих способностей учащихся.

Основное научное направление кафедры – исследование динамических нагрузок и испытания торфяных, транспортных и технологических машин, разработка методов ремонта



Рис. 5. Защита дипломного проекта

Fig. 5. Defending the Diploma Project



Рис. 6. Доктор технических наук, профессор Васильев Алексей Николаевич

Fig. 6. Doctor of Technical Sciences, Professor Vassiliev Aleksey Nikolaevich

и восстановления деталей. Для применения в промышленности представлены результаты исследований, позволяющие повысить эксплуатационные показатели использования машинно-тракторных агрегатов. Разработаны методы выбора рациональных параметров торфяных агрегатов на основе их стендовых испытаний. Даны рекомендации по рациональному применению смазочных материалов при эксплуатации торфяных машин. Разработаны методики расчета динамических нагрузок в элементах конструкции торфяных фрезерующих агрегатов с целью повышения их надежности. Проведены исследования по разработке технологии и методов расчета пластического деформирования тонкопрофильных заготовок.

За последние годы сотрудниками кафедры были защищены одна докторская и пять кандидатских диссертаций. Преподаватели участвуют в международных и российских научных конференциях. Ими опубликовано более 180 научных работ в журналах различного уровня. На основе материалов научных исследований за последние несколько лет изданы 3 монографии. Получено более 10 патентов Российской Федерации. Результаты исследо-

ваний сотрудников кафедры широко применяются в различных отраслях промышленности и в учебном процессе.



Рис. 7. Доктор технических наук, профессор Бровман Татьяна Васильевна

Fig. 7. Doctor of Technical Sciences, Professor Tatiana Vasilyevna Brovman

Таким образом, коллектив кафедры механизации природообустройства и ремонта машин достойно встречает 100-летний юбилей Тверского государственного технического университета со значительными результатами и имеет высокий научный и кадровый потенциал для дальнейшего развития и решения новых задач в научной и образовательной деятельности.

Библиографический список

1. Тверской государственный технический университет – 90 лет со дня основания: Сборник очерков об университете. – Тверь: СФК-офис, 2012. – 272 с.: ил.
2. Золотая книга Тверского государственного технического университета: информационно-справочный сборник / А.В. Твардовский, В.А. Миронов, Б.Ф. Зюзин. Монография. Издание 3-е, переработанное и дополненное. – Тверь: ТвГТУ, 2017. – 286 с.
3. Фомин К.В. Применение методов полунатурного моделирования при преподавании дисциплины «Теория двигателей внутреннего сгорания» / К.В. Фомин, К.С. Крылов, В.Е. Харламов, И.К. Морозихина // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2019. – № 4 (4). – С. 73–80.

УДК 662.331(09)

Мисников О.С.

Мисников Олег Степанович, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой геотехнологии, природопользования и экологии Тверского государственного технического университета. Тверь, Академическая, 12, oleg.misnikov@gmail.com

Зюзин Б.Ф.

Зюзин Борис Федорович, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой технологических машин и оборудования Тверского государственного технического университета. Тверь, Академическая, 12, zbfu@yandex.ru

Копенкина Л.В.

Копенкина Любовь Владимировна, к. т. н., доцент кафедры технологических машин и оборудования Тверского государственного технического университета. Тверь, Академическая, 12, lvkopenkina@mail.ru

И.И. ЛИШТВАН – ЛИДЕР НАУЧНОЙ ШКОЛЫ В ОБЛАСТИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ (к 90-летию со дня рождения)

Аннотация. Приведены исторические материалы из творческой деятельности академика НАН РБ И.И. Лиштвана в период его работы в Калининском политехническом институте (1958–1973).

Ключевые слова: торфяное дело, природопользование, научная школа, история Тверского государственного технического университета, И.И. Лиштван.

Misnikov O.S.

Misnikov Oleg S., Dr., Professor, Head of the Chair of Geotechnology, Use of Nature and Ecology of the Tver State Technical University. Tver, Akademicheskay, 12, oleg.misnikov@gmail.com

Zyuzin B.F.

Zyuzin Boris F., Dr., Professor, Head of the Chair of Technological Machinery and Equipment of the Tver State Technical University. Tver, Akademicheskay, 12, zbfu@yandex.ru

Kopenkina L.V.

Kopenkina Lubov V., Dr., Associate Professor of the Chair of Technological Machinery and Equipment of the Tver State Technical University. Tver, Akademicheskay, 12, lvkopenkina@mail.ru

I.I. LISHTVAN – LEADER SCIENTIFIC SCHOOL IN THE FIELD OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT (to the 90 anniversary since birth)

Annotation. Historical materials from the creative activity of Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Belarus I.I. Lishtvan during his work at the Kalinin Polytechnical Institute (1958–1973) are given.

Keywords: peat business, nature management, scientific school, history of the Tver State Technical University, I.I. Lishtvan.

В 2022 г. исполняется 100 лет со дня основания Московского торфяного института, ныне Тверского государственного технического университета (рис. 1).



Рис. 1. Химико-технологический корпус ТвГТУ (2021 г.)

Fig. 1. Chemical and technological building of TvSTU (2021 г.)



Рис. 2. И.И. Лиштван

Fig. 2. I.I. Lishtvan



Рис. 3. И.И. Лиштван (фото из личного дела, 1958 г., архив ТвГТУ)

Fig. 3. I.I. Lishtvan (photo from a personal file, 1958, archive of TSTU)

Славные страницы истории вуза тесно связаны как с судьбами многочисленных его выпускников, так и с профессорско-преподавательским составом, которые были настоящими патриотами вуза и внесли значительный вклад в формирование инженерно-технического корпуса в области энергетики, торфяного дела, сельского хозяйства, экологии и природопользования [1].

Формирование научных школ в области природопользования происходило в тесном взаимодействии ученых Твери и Минска. Традиции Московского торфяного института были поддержаны научным сообществом на Тверской земле после перевода института в город Калинин.

Именно в этот важный период развития вуза значительный вклад внес ныне академик Национальной академии наук Республики Беларусь Иван Иванович Лиштван (рис. 2) – известный в Российской Федерации и за рубежом ученый в области коллоидной и физической химии торфа.

В 1958–1973 годы Иван Иванович работал в Калининском политехническом институте.

И.И. Лиштван родился 3 ноября 1932 г. в деревне Большая Дайнова Минской области Белоруссии.

После окончания торфяного факультета Белорусского политехнического института с отличием в 1956 г. работал на торфопредприятии «Березинское» начальником технического отдела, начальником фрезерного участка.

Лиштван (рис. 3) поступил в аспирантуру Московского торфяного института в 1958 г. по специальности «Физика торфа», которую окончил в 1961 г.

Первая статья с участием И.И. Лиштвана под названием «Изучение торфяных гуминовых золей. 1. Структурно-механические свойства и их изменение при действии добавок» была опубликована в Коллоидном журнале в 1960 г. (т. XXII, вып. 5, соавторы М.П. Воларович, Н.В. Чураев).

В 1961 г. в Калининском торфяном институте И.И. Лиштван защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Физико-химические основы управления структурно-реологическими свойствами торфа и гуминовых веществ». Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор М.П. Воларович, консультант – кандидат технических наук, доцент Н.В. Чураев.

В этой работе исследовались структурно-реологические и физико-химические свойства торфа и гуминовой коллоидной фракции торфа под действием химических добавок с целью получения продукции с заданными качественными показателями.

Под руководством профессоров М.П. Воларовича и Н.В. Чураева был ответственным исполнителем (вместе с В.Д. Копенкиным и Л.С. Амаряном) по теме «Исследование физико-механических и физико-химических свойств торфяного сырья» в 1964–1965 гг. Была выполнена оценка физико-химических свойств торфов Северо-Западной, Центральной и Уральской торфяно-болотных зон по содержанию подвижных катионов кальция, меди, алюминия, железа, натрия, содержанию фракций различного размера, содержанию физико-химической связанной воды и прочносвязанной воды, кислотности торфа. Содержание высокодисперсной части торфа (<1 мк) определено с помощью электронного микроскопа.

Результаты исследований были представлены в журнале «Заводская лаборатория», Коллоидном журнале, сборниках научных трудов.

В 1965–1968 гг. Лиштван был научным руководителем по теме «Разработка единой классификации торфа», выполняемой совместно с трестом «Геолторфразведка» (ответственные исполнители – кандидат технических наук, доцент В.Д. Копенкин, старший инженер О.А. Зеленая). Исследовались состав и свойства наиболее типичных видов торфа Европейской части РСФСР. Разрабатываемая классификация упрощала оценку торфа для различных производств при геологоразведочных работах и позволяла рационально производить выбор торфяного сырья для промышленности и сельского хозяйства.

В 1969 г. в Калининском политехническом институте Иван Иванович защитил докторскую диссертацию на тему «Исследование физико-химической природы торфа и процессов структурообразования в торфяных системах с целью регулирования их свойств». Научный консультант – доктор физико-математических наук, профессор М.П. Воларович.

В 1969 г. в Калининском политехническом институте с помощью Лиштвана была организована кафедра физики и химии торфа, он стал ее заведующим. В 1971 г. ему присвоено звание профессора. Кафедра проводила научные исследования в области комплексного использования торфяных ресурсов.



Рис. 4. И.И. Лиштван (фото из личного дела, 1969 г., архив ТвГТУ)

Fig. 4. I.I. Lishtvan (photo from a personal file, 1969, archive of TSTU)

Под руководством профессоров М.П. Воларовича, Н.В. Чураева, Н.И. Гамаюнова И.И. Лиштван участвовал в создании лаборатории по изучению физико-химических свойств торфа. Руководил лабораторией радиоактивных методов исследования дисперсных систем, затем в 1970-е гг. – проблемной лабораторией по комплексному использованию торфа в народном хозяйстве.

В 1971 г. вышел «Практикум по физике и химии торфа» И.И. Лиштвана (соавторы: М.В. Попов, Е.Т. Базин, А.А. Терентьев, 1971).

И.И. Лиштван внес большой вклад в изучение компонентного состава торфа и его ионообменных свойств. Высокая чувствительность структуры торфа к ионообменным процессам открывала возможности управления свойствами торфяного сырья и продуктов из него путем химического модифицирования.

В своих научных работах Лиштван применял новейшие для того времени методы исследования торфа и природных дисперсных систем: ЭПР- и ЯМР-спектроскопию, электронную микроскопию, калориметрию, методы реологии, радиоактивные изотопы для изучения процессов переноса адсорбции, ионного обмена и других физических и физико-химических свойств торфа. На кафедре физики, затем кафедре физической и коллоидной химии он читал курсы лекций по физике торфа, физической и коллоидной химии. Свободное время проводил на природе (рис. 5).

В 1973 г. он был приглашен в Академию наук БССР в качестве директора Института

торфа, где им была организована лаборатория физико-химической механики природных дисперсных систем.



Рис. 5. И.И. Лиштван в редкие часы отдыха на природе в Калинин (1968 г.)

Fig. 5. I.I. Lishtvan in rare hours of outdoor recreation in Kalinin (1968)

В 1990 г. Институт торфа по инициативе Лиштвана был преобразован в Институт проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси, директором которого он работал до 1997 г.

В эти годы И.И. Лиштван установил комплекс факторов, определяющих структурное строение торфяных систем. Проводил комплексные исследования гидрофильности, теплопереноса и реологических параметров органогенных природных дисперсных материалов, предложил классификацию торфа, основанную на содержании катионов и сорбированной влаги, уравнения для расчета основных признаков состава и свойств торфа.

Установил закономерности переноса влаги и ионного обмена при сушке и промерзании торфа.

На основе предложенной промышленно-генетической классификации торфа выделил основные направления его использования в экономике.

Он исследовал миграцию и диффузию радионуклидов в природных средах, а в дальнейшем занимался решением главным образом экологических проблем с учетом особенностей природопользования в Республике Беларусь [1].

С 1997 г. И.И. Лиштван становится почетным директором института.

В 1987–1992 гг.: вице-президент АН БССР.



Рис. 6. И.И. Лиштван в кругу коллег по работе на производственной базе, в первом ряду И.Ф. Ларгин, В.И. Цветков, В.С. Варенцов и др. (1970 г.)

Fig. 6. I.I. Lishtvan in the circle of colleagues working at the production base, in the first row I.F. Largin, V.I. Tsvetkov, V.S. Varentsov, etc. (1970)

В 1992–2002 гг.: академик-секретарь Отделения химических наук и наук о Земле НАН Беларуси.

Автор более 1220 научных работ, в т. ч. 46 монографий, 95 изобретений.

Ныне почетный директор Института природопользования НАН Республики Беларусь, академик НАН РБ и иностранный член Польской академии наук Иван Иванович Лиштван ведет активную научную и общественную деятельность, участвуя в ответственных научно-производственных программах, международных научно-практических симпозиумах и конференциях, воспитывает молодых специалистов и ученых в области природопользования, является лидером научной школы.

В разные годы ряд представителей Калининской школы ученых торфяников работали в учебных и научных организациях Республики Беларусь – это доктора технических наук: Н.С. Панкратов, А.А. Терентьев, Б.А. Богатов, Б.Ф. Зюзин и др.

Именно здесь профессор Б.Ф. Зюзин сделал доклад в НАН РБ на тему «Дистортность в процессах торфяного производства». 27 мая 1994 года можно считать официальной датой рождения нового научного направления, как универсального метода оценки инвариантов предельных состояний в природных системах.

Теория дистортности была использована для обоснования оптимальных концентраций металло-полимерных композиционных материалов, удостоенной Премией Правительства Российской Федерации в области науки и техники в сфере обороны и безопасности страны за разработку и создание новой техники (2012) [2].

В 1996 году в Институте проблем использования природных ресурсов и экологии, ныне Национальной академии наук Республики Беларусь был проведен первый научный семинар на тему дистортности, который определил главную цель в разработке концепции дистортности – это построение общей теории предельных состояний для различных природных структурных систем и объектов искусственного интеллекта.

На современном этапе развития торфяного дела в Тверском государственном техническом университете традиции патриархов – С.Г. Солопова, И.Г. Блоха, В.Г. Булычева, М.П. Воларовича, В.С. Варенцова, В.Я. Антонова, В.Д. Копенкина, В.М. Наумовича, М.В. Мурашова, Н.И. Гамаюнова, Л.С. Амаряна, Л.Н. Самсонова, А.Е. Афанасьева, А.Н. Лукьянчикова, Н.В. Чураева, Е.Т. Базина, В.И. Суворова продолжают развивать доктора наук: А.В. Твардовский, В.А. Миронов, Б.В. Палюх, В.Г. Зубчанинов, Г.А. Дмитриев, В.И. Горячев, В.Д. Горячев, В.Ф. Синицын, О.С. Мисников,



Рис. 7. И.И. Лиштван – учитель и наставник молодых ученых (в перерыве конференции в ТвГТУ, 2007 г., Тверь)

Fig. 7. I.I. Lishtvan – teacher and mentor of young scientists (during the break of the conference in TvSTU, 2007, Tver)



Рис. 8. И.И. Лиштван на конференции, посвященной 85-летию ТвГТУ (2007)

Fig. 8. I.I. Lishtvan at the conference dedicated to the 85th anniversary of TSTU (2007)

Б.Ф. Зюзин, Ю.Н. Женихов, В.В. Панов, М.Г. Сульман, С.Н. Гамаюнов, К.В. Фомин, А.Н. Болотов, И.В. Горлов, Г.А. Александров, А.Л. Яблонев, А.В. Кондратьев и их многочисленные ученики – кандидаты наук.

И.И. Лиштван является почетным профессором Тверского государственного технического университета, сведения о его деятельности отражены в 4 изданиях «Золотой книги ТвГТУ» [3].

Лауреат Государственной премии Республики Беларусь (2002) и премии академий наук Украины, Беларуси, Молдовы (1997).

Награжден орденами «Дружба народов» (1982), «Франциска Скорины» (1998), медалью «За трудовые заслуги» (2009), почетными грамотами. Почетный эколог Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь (2010).

В юбилейный год весь коллектив Тверского государственного технического университета выражает наилучшие пожелания благополучия несомненному лидеру Калининской (ныне Тверской) и Минской научных школ в области природопользования Ивану Ивановичу Лиштвану.

Библиографический список

1. Мисников О.С., Зюзин Б.Ф., Копенкина Л.В. Научные школы Московского торфяного института и их развитие в Тверском государственном техническом университете (к 100-летию вуза). Горный журнал. – М.: Руда и Металлы, 2022. – № 5. – С. 9–22.
2. Зюзин Б.Ф., Миронов В.А. Дистортность – Естественнонаучная теория. Монография. – Тверь: ТвГТУ, 2019. – 176 с.
3. Золотая книга «Тверского государственного технического университета» / А.В. Твардовский, Б.Ф. Зюзин, В.А. Миронов, А.А. Артемьев. Монография. Издание 4-е, переработанное и дополненное. – Тверь: Издатель Кондратьев А.Н., 2022. – 296 с.: с ил.