



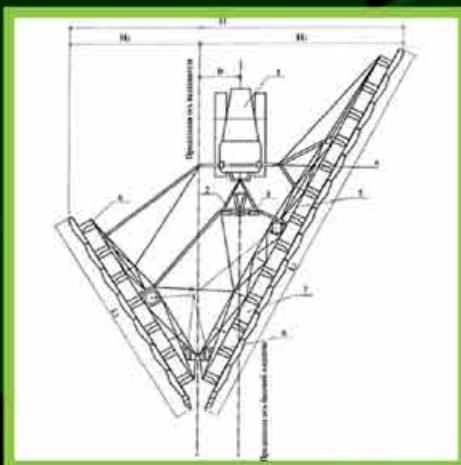
Научный журнал

Восточно-Европейского института торфяного дела
Тверского государственного технического университета



№15 (68) 2017

ТРУДЫ ИНСТОРФА



Министерство образования и науки РФ

Восточно-Европейский институт торфяного дела
Тверского государственного технического университета

ТРУДЫ ИНСТОРФА

Научный журнал

Издается с апреля 1922 года
Выходит два раза в год

№ 15 (68)
январь–июнь 2017 г.

Тверь 2017

УДК 622.331(05)
ББК 26.343.4я5

Труды Инсторфа: научный журнал. № 15 (68)
(январь–июнь 2017 г.). Тверь: ТвГТУ, 2017. 50 с.

Учредитель и издатель: Тверской государственный технический университет

Главный редактор
проф., д. ф.-м. н. А.В. 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; проф., д. б. н. О.Л. Кузнецов;
проф., 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; проф., д. т. н. В.Г. Селеннов;
проф., д. т. н. В.Ф. Синицин; д. б. н. А.А. Сириг;
проф., д. х. н. Э.М. 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.
Федеральной службой Роскомнадзор

Редактор О.В. Чеховская
Корректор Т.С. Самборская

Технический редактор А.Ю. Соколова

Подписано в печать 26.06.17 г.
Формат 60×84 1/8. Усл. печ. л. 7,5.
ООО «Издательство «Триада»
170034, г. Тверь, пр. Чайковского, д. 9, оф. 514
ISSN 2224-1523

© Тверской государственный
технический университет, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Федоров Б.А., Тер-Терян С.А.

Расчет мощности земляного полотна
дорожных насыпей на болотах
с применением геофизических методов..... 3

Столбикова Г.Е., Купорова А.В.

Исследование термовлагопроводности
при сушке фрезерного торфа..... 10

Васильев А.Н.

Устройство для валкования фрезерного
торфа в многоцикловые валки 15

Иванов В.А., Новикова А.С.

Зависимость дисперсности торфа от
степени механической переработки..... 18

Горфин О.С., Зюзин Б.Ф., Яблонев А.Л., Назаров М.С.

Утилизатор теплоты и очистки дымовых
газов ТЭЦ..... 22

Лебедев В.В., Пухова О.В.

Адаптивная система управления
камерной сушки торфяных
строительных блоков 28

Горячев В.И., Михеев И.И.

К вопросу обоснования скоростного
режима валково-дискового грохота
для выделения крупной фракции
фрезерного торфа для кипования..... 33

Фомин К.В., Крылов К.С., Харламов В.Е.

Моделирование и анализ момента
нагружения на рабочем органе
машины для глубокого фрезерования
при взаимодействии с древесными
включениями 38

Зюзин Б.Ф., Копенкина Л.В.

Ф.С. Зюзин – производительник, ученый,
педагог (к 100-летию со дня рождения)..... 45

УДК 624.13(075.8)

Федоров Б.А.

Федоров Борис Александрович, к. т. н., профессор кафедры инженерной графики Тверского государственного технического университета (ТвГТУ). Тверь, наб. Аф. Никитина, 22. fedorba@rambler.ru

Тер-Терян С.А.

Тер-Терян Сергей Арамович, к. т. н., доцент кафедры автомобильных дорог, оснований и фундаментов ТвГТУ. terteryan53@mail.ru

РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ДОРОЖНЫХ НАСЫПЕЙ НА БОЛОТАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Аннотация. Предлагается методика расчета мощности земляного полотна дорог, возводимых на болотах, без проведения трудоемких, дорогостоящих и длительных работ по отбору, транспортировке и лабораторным испытаниям образцов торфа. Искомые параметры для расчетов оперативно устанавливаются геофизическими методами, что повышает эффективность исследований.

Ключевые слова: земляное полотно дороги, торф, геофизические методы.

Fedorov Boris A.

Fedorov Boris A., PhD, Professor of the Chair of Engineering Graphics of the Tver State Technical University

Ter-Teryan Sergey A.

Ter-Teryan Sergey A., PhD, Associate Professor of the Chair of Highways, Bases and Foundations of Tver State Technical University

CALCULATION OF POWER OF THE ROAD BED OF ROAD EMBANKMENTS ON SWAMPS WITH APPLICATION OF GEOPHYSICAL METHODS

Abstract. Proposed method of calculating capacity of subgrade roads being built in the marshes, without a time-consuming, costly and time-consuming selection work, transport and laboratory tests of samples of peat. The search parameters to calculate promptly installed geophysical methods, which increases the efficiency of research.

Keywords: earthy, peat, road surface geophysical methods.

Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений в северных регионах страны, 80% территории которых покрыта болотами, неразрывно связаны со строительством автомобильных и железных дорог, трубопроводов, ЛЭП, площадок различного назначения и т. п. При строительстве авто- и железнодорожных магистралей выбор направления трассы осуществляется на основании технико-экономического сравнения конкурирующих вариантов дороги. При технико-экономическом сравнении вариантов конструкций дорог на болотах необходимо определение объема грунта насыпи для ее возведения безвыторфовочным способом или при частичном выторфовывании.

При безвыторфовочном способе проектирования и строительства насыпных сооружений (насыпей дорог, площадок) для определения объема грунта необходимо определение толщины минерального насыпного грунта Y , которая равна

$$Y = h_H + S_K, \quad (1)$$

где h_H – высота насыпи под поверхностью болота по оси (для железных дорог равна высоте земляного полотна по оси $h_{3,n}$; для автомобильных дорог – суммарной величине из толщины дорожной одежды $h_{д,о}$ и высоты насыпного слоя земляного полотна над поверхностью болота $h_{3,n}$ по оси), м; т. е. $h_H = h_{3,n} + h_{д,о}$; S_K – конечная осадка по оси насыпи, м.

Расчет конечных осадок насыпей дорог на болотах S_K при безвыторфовочном методе проектирования или при частичном выторфовывании производится по схеме линейно-деформируемого слоя толщиной H в условиях плоской задачи по зависимости [3, 10, 11]

$$S_K = S_{од} H A_\mu \omega, \quad (2)$$

где $S_{од}$ – конечная осадка торфа мощностью $H = (H_б - h_B)$ при одномерном уплотнении, м; $H_б$ – глубина болота, м; h_B – глубина выторфовывания (при отсутствии выторфовывания $h_B = 0$), м;

A_μ – параметр, учитывающий ограниченное боковое расширение торфа при деформировании и равный

$$A_\mu = \frac{(1-\mu)^2}{(1-2\mu)};$$

μ – коэффициент поперечного расширения для полностью консолидированного состояния торфяной залежи;

$$\mu = (0,76 - 0,029 e_0) / (1,76 - 0,029 e_0);$$

e_0 – начальный коэффициент пористости торфа;

ω – параметр, учитывающий влияние напряженного состояния на осадку насыпи в зависимости от отношения a/H ;

a – половина ширины полосовой нагрузки интенсивностью p , м [12];

$$2a = mh_H + b;$$

m – коэффициент заложения откосов насыпи; b – ширина основной площадки земляного полотна, м.

Коэффициент ω определяется для слоя конечной толщины при отсутствии сил трения между грунтом и несжимаемым основанием на основе известных теоретических решений К.Е. Егорова и О.Я. Шехтер, которое в нашей аппроксимации может быть представлено выражением

$$\omega = \frac{(a/H)}{((0,17 + 0,966(a/H)))} \text{ при } 0,25 \leq a/H \leq 5,0.$$

При учете изменений напряженного состояния торфяной залежи в процессе уплотнения $H = H_б - S_K$, без его учета $H = H_б$.

При одноосном уплотнении торфа конечная осадка $S_{од}$ от удельной нагрузки P , как известно, равна:

$$S_{од} = \lambda H, \quad (3)$$

где λ – относительная деформация при одномерном сжатии слоя торфа мощностью H .

При одноосном сжатии (компрессия) величина конечной относительной деформации λ торфяной залежи может быть определена через коэффициент относительной сжимаемости по зависимости, предложенной в [6]:

$$\lambda = \frac{[(P - P_о) a_H]}{[(P - P_о) K + 1]}, \quad (4)$$

где a_H – начальный коэффициент относительной сжимаемости при $\lambda \rightarrow 0$, 1/ МПа;

K – коэффициент пропорциональности, 1/ МПа;

$P_о$ – величина структурной прочности торфяной залежи при компрессии, МПа.

Общая величина удельной нагрузки P , МПа, при расчете насыпей на болотах складывается из постоянной $\sigma_{п}$ и $\sigma_{вр}$ временной составляющих:

$$P = \sigma_{п} + \sigma_{вр}. \quad (5)$$

Значение постоянной составляющей удельной нагрузки складывается от воздействия насыпного слоя s_H , верхнего строения $s_{B,C}$ или дорожной одежды и находится по выражению

$$\sigma_{\Pi} = \sigma_{B,C} + \sigma_H \cdot \quad (6)$$

Величина $\sigma_{B,C}$, МПа, может быть определена для железных дорог по выражению [18]

$$\sigma_{B,C} = (h_6 + h_w/2) \gamma_6 10^{-2} + (2P_P L + P_{Ш} L_0) 10^{-3} / (L_w L_0 L), \quad (7)$$

где h_6 – толщина балластного слоя под шпалой, м;

γ_6 – объемная масса балласта, т/м³;

h_w, L_w – соответственно высота и длина шпалы, м;

$P_{Ш}, P_P$ – соответственно вес шпалы и 1 погонного метра рельса, кН;

L – расстояние между осями шпал, м; $L_0 = 1$ м.

Значение σ_H для неосушенной залежи равно ($h_0 = 0$)

$$\sigma_H = [(\gamma h_H + \gamma' (h_B + S_K)) 10^{-2},$$

а при глубине осушения:

$$\begin{aligned} & - h_0 \leq S_K \\ \sigma_H &= [\gamma (h_H + h_0) + \gamma' (h_B + S_K - h_0)] 10^{-2}; \\ & - h_0 > S_K \\ \sigma_H &= \gamma (h_H + S_K) 10^{-2}, \end{aligned}$$

где h_H – высота насыпи на оси выше уровня поверхности болота, м;

h_0 – глубина осушения залежи, м;

h_B – глубина выторфовывания, м;

γ, γ' – соответственно объемная масса минерального грунта насыпи выше и ниже уровня грунтовых вод, т/м³.

Величина нормальных напряжений σ_{BP} , МПа, в зоне сопряжения насыпи и торфа от воздействия локомотива при расчете конечных осадок насыпей железных дорог из минеральных грунтов определяется по формуле [3]

$$\sigma_{BP} = 1,1 L_w P_n \psi 10^{-3} / [(h_H + S_K) \mathcal{E} + 1,1 L_w], \quad (8)$$

где P_{Π} – равномерно распределенная нагрузка от локомотива (кН/м²),

равная $P_{\Pi} = P_{сц} / (L_L L_w)$;

$P_{сц}$ – сцепной вес локомотива, кН;

L_L – база сцепных колес локомотива, м;

\mathcal{E} – коэффициент эквивалентности, равный 2...3 [3];

ψ – коэффициент, учитывающий распределяющее действие рельсошпальной решетки и равный $\psi = 0,70$ [3].

Величина нормальных напряжений σ_{BP} , МПа, в зоне сопряжения насыпи и торфа от воздействия колесной нагрузки при расчете конечной толщины насыпного слоя автомобильных дорог может быть определена по выражению [2]

$$\sigma_{BP} = 1,33 P_0 [(n - \Sigma L_j / (1,5Y + 0,3D)) / (1,5Y + 0,3D)]^2, \quad (9)$$

где P_0 – нагрузка на колесо;

n – число колес, влияющих на напряженное состояние в точке;

L_j – расстояние от оси j -го колеса до рассматриваемой точки, см;

D – диаметр отпечатка колеса, см;

$Y = h_H + S_K$ – мощность насыпного слоя дорожной конструкции при высоте насыпи над поверхностью болота $h_H = h_{3П} + h_{ДО}$, состоящей из толщины дорожной одежды $h_{ДО}$ и высоты насыпного слоя земляного полотна над поверхностью болота $h_{3П}$, см.

Подставив в зависимость (1) параметры, определяемые выражениями (2...8) при $S_K = Y - h_H$ и решив ее относительно Y , получим в замкнутой форме уравнения для расчета толщины земляного полотна насыпей дорог, отсыпаемых из минеральных грунтов. Эти уравнения позволяют широко применять в практических расчетах ПЭВМ.

При учете изменения напряженного состояния торфяной залежи в процессе уплотнения и воздействия временных нагрузок от локомотива для расчета толщины земляного полотна насыпей железных дорог, как на неосушенных, так и на осушенных торфяных залежах получено уравнение четвертой степени [11].

Однако влияние временной нагрузки от транспортных единиц на дополнительное уплотнение торфяного основания как для железных, так и для автомобильных дорог, снижается с увеличением толщины насыпного слоя минерального грунта и при некоторой ее толщине составляет малую долю от воздействия постоянной нагрузки от веса насыпи. Так, по экспериментальным исследованиям Г.Г. Коншина [4] для железных дорог подобное наблюдается при толщине насыпного слоя около 3,5 м.

Для автомобильных дорог [2] при динамическом воздействии для суммарной толщины земляного полотна и дорожной одежды $Y > 1,5$ м временная составляющая равна приблизительно 1% от постоянной нагрузки.

При длительном воздействии транспортных средств $Y = 2,5-3$ м.

Для расчета конечной толщины насыпного слоя железных дорог более 3,5 м и автомобильных дорог более 2,5 м применимо кубическое уравнение (10), а насыпей с бермами и площадок – квадратное уравнение [11]

$$Y^3 - A_2 Y^2 - A_1 Y + A_0 = 0, \quad (10)$$

где A_0, A_1, A_2 – коэффициенты уравнения

$$(A_2 = e + b - c - m; A_1 = (b + e)(c + m) - eb - z;$$

$$A_0 = be(c + m) + mz);$$

$$e = h_H; b = (0,17(H + h_H) + 0,966a)/0,17;$$

$$c = 100/(\gamma'K);$$

$$m = (100(\sigma_{в.с.} - P_0) + (h_H - h_0)(\gamma - \gamma'))/\gamma';$$

$$z = a_H A_{\mu} H a / (0,17 K).$$

Исходными данными для расчета мощности земляного полотна являются глубина и структурно-механические свойства болота, устанавливаемые при инженерно-геологических изысканиях. При строительстве дорог в Западной Сибири, Республике Коми, Архангельской и Тверской областях выполнен комплекс исследований, включающий определение глубины болот ручным зондированием буром ТБ-6, отбор монолитов торфа на всю глубину залежей грунтоносом ЛГ-5, испытание торфяных залежей методами статического зондирования пенетрометром П-5 и вращательного среза – крыльчаткой СК-10 [1]. В лабораторных условиях на отобранных образцах определяли физические (e_0, W_0) и деформационные (a_H, K) свойства торфа. Статистико-вероятностная обработка показателей деформационных свойств торфа позволила получить достоверные корреляционно-регрессионные модели для их оценки [6]. Распределения компрессионных параметров a_H и K по интервалам влагосодержания W_0 , приведенные на рис. 1, подчиняются нормальному закону распределения. Из соотношения эмпирических и стандартных значений критериев Фишера криволинейности следует, что зависимости a_H и K (1/МПа) от степени разложения D_f для торфа в целом имеют криволинейный характер, а от e_0 и W_0 могут быть представлены уравнением линейного вида для $N = 880$ [11]:

$$a_H = -2,054 + 1,227 e_0 \pm t(1,0 + 0,34 e_0); r = 0,753$$

$$K = 1,325 + 1,276 e_0 \pm t(4,0 + 0,23 e_0); r = 0,635$$

$$a_H = -1,745 + 1,90 W_0 \pm t(1,0 + 0,6 W_0); r = 0,746$$

$$K = 1,901 + 1,95 W_0 \pm t(4,0 + 0,35 W_0); r = 0,621$$

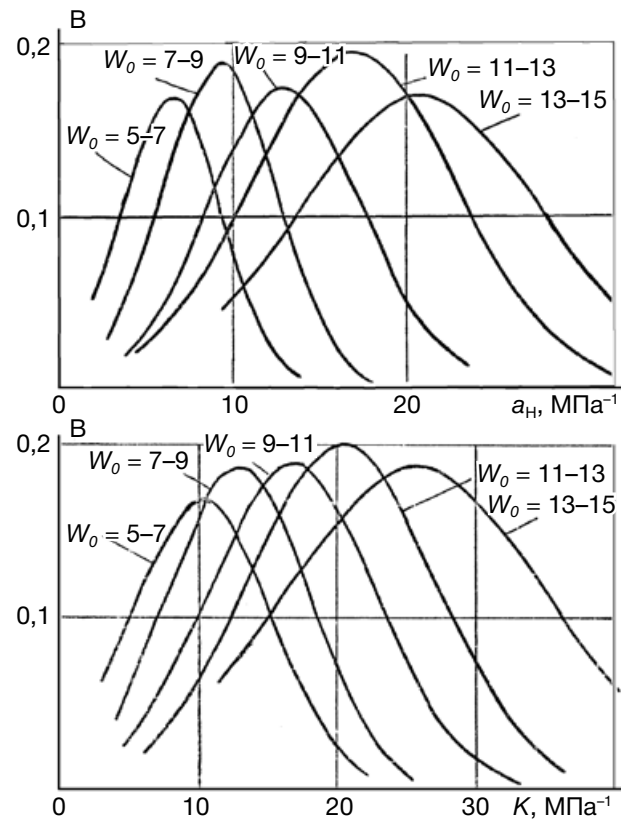


Рис. 1. Кривые распределения вероятностей компрессионных параметров торфа a_H и K по интервалам естественного влагосодержания W_0 , г/г

Fig. 1. Curve distributions of probabilities of compression parameters of peat a_H and K on intervals of natural moisture content of W_0 , g/g

По всем интервалам $D_f = \text{const}$ наблюдается достоверная связь параметров с e_0 и W_0 линейного вида при соблюдении условия однородности дисперсий (рис. 2), поэтому при $D_f = \text{const}$ возможно не только определять средние значения a_H и K от e_0 и W_0 , но и предсказывать доверительные пределы их изменения по выражению вида [11]

$$y = A + Bx \pm t\sigma_y^{\text{ост}}, \quad (11)$$

где y – определяемый параметр (a_H или K);

x – значения общетехнических характеристик (e_0 или W_0);

A и B – коэффициенты линейного уравнения;

t – нормирующий множитель;

$\sigma_y^{\text{ост}}$ – остаточное среднее квадратическое отклонение функции.

Анализ коэффициентов A и B показал, что они не постоянны при изменении степени

разложения и могут быть представлены выражениями

$$\left. \begin{aligned} A &= A_0 + A_1 D_f - A_2 D_f^2; \\ B &= A_0 - A_1 D_f + A_2 D_f^2. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Значения коэффициентов A_0, A_1, A_2 , уравнений (11) приведены в табл. 1.

Зависимость остаточных среднеквадратических отклонений $\sigma_{ан}^{ост}$ и $\sigma_{к}^{ост}$ от степени разложения D_f для a_n представлена выражением (13), а для K – выражением (14), МПа⁻¹

$$\sigma_{ан}^{ост} = 6,5 (1,0 - 0,01D_f), \text{ МПа}^{-1}; \quad (13)$$

$$\sigma_{к}^{ост} = 9,2 (1,0 - 0,01D_f), \text{ МПа}^{-1}. \quad (14)$$

По типам торфа получены следующие уравнения:

– верховой торф N = 272

$$a_n = -1,78 + 1,283 e_0 \pm t 5,90; \quad r = 0,760$$

$$K = 1,85 + 1,355 e_0 \pm t 7,77; \quad r = 0,646$$

– переходный торф N = 175

$$a_n = -1,52 + 1,17 e_0 \pm t 3,75; \quad r = 0,706$$

$$K = 1,51 + 1,245 e_0 \pm t 6,11; \quad r = 0,462$$

– низинный торф N = 334

$$a_n = -1,99 + 1,171 e_0 \pm t 3,87; \quad r = 0,760$$

$$K = 1,15 + 1,1161 e_0 \pm t 5,45; \quad r = 0,628$$

По важнейшим характеристикам – степени разложения D_f , коэффициенту пористости e_0 или естественному влагосодержанию W_0 торфа – по уравнениям (11)–(14) может быть не только оценена величина деформационной характеристики, но и произведен прогноз доверительной зоны.

Сравнение фактических толщин насыпного слоя земляного полотна автомобильных и железных дорог на болотах с рассчитанными

по выше приведенной методике показало их хорошее совпадение (рис. 3).

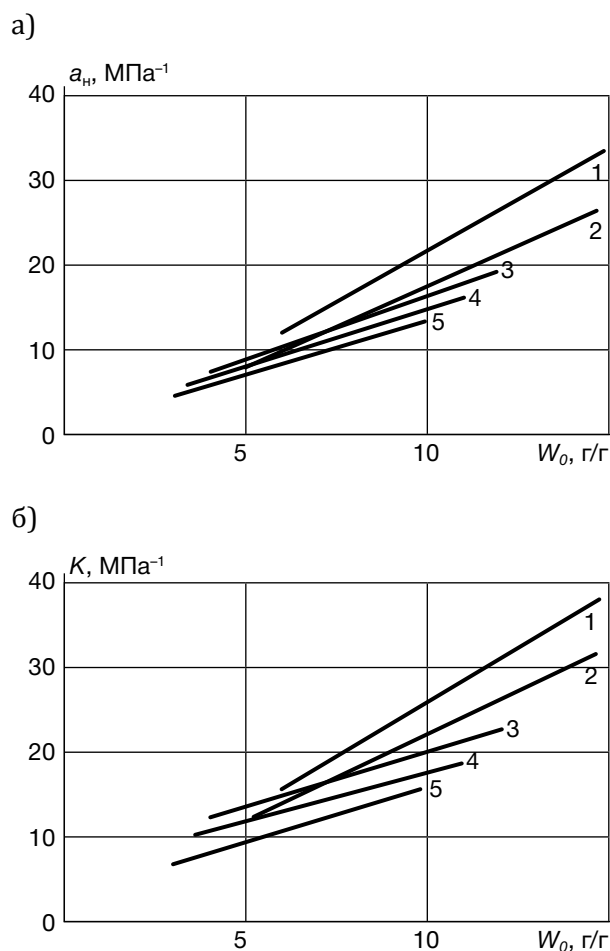


Рис. 2. Зависимости компрессионных параметров a_n (а) и K (б) от естественного влагосодержания по интервалам R : 1) $D_f = 5-15\%$; 2) $D_f = 15-25\%$; 3) $D_f = 25-35\%$; 4) $D_f = 35-45\%$; 5) $D_f = 45-55\%$

Fig. 2. Dependences of compression parameters of a_n (a) and K (b) from natural moisture content on R intervals: 1) $D_f = 5-15\%$; 2) $D_f = 15-25\%$; 3) $D_f = 25-35\%$; 4) $D_f = 35-45\%$; 5) $D_f = 45-55\%$

Таблица 1. Значение коэффициентов A_0, A_1, A_2

Table 1. Value of coefficients A_0, A_1, A_2

Корреляционная зависимость $Y = A + BX$			Показатель тесноты связи	Коэффициенты уравнений (12)		
Функция Y	Аргумент X	Коэффициенты A и B		A_0	A_1	A_2
a_n , МПа ⁻¹	$W_0, \text{ г/г}$	A	0,895	-7,45	0,40	$4,76 \cdot 10^{-3}$
		B	0,956	3,145	$7,67 \cdot 10^{-2}$	$8,25 \cdot 10^{-4}$
	e_0	A	0,911	-3,07	0,1657	$2,39 \cdot 10^{-3}$
		B	0,974	1,637	$3,14 \cdot 10^{-2}$	$3,614 \cdot 10^{-4}$
K , МПа ⁻¹	$W_0, \text{ г/г}$	A	0,950	-8,25	0,779	$1,065 \cdot 10^{-2}$
		B	0,970	3,89	0,13	$1,544 \cdot 10^{-3}$
	e_0	A	0,878	-4,205	0,576	$8,86 \cdot 10^{-3}$
		B	0,917	2,13	$6,66 \cdot 10^{-2}$	$8,72 \cdot 10^{-4}$

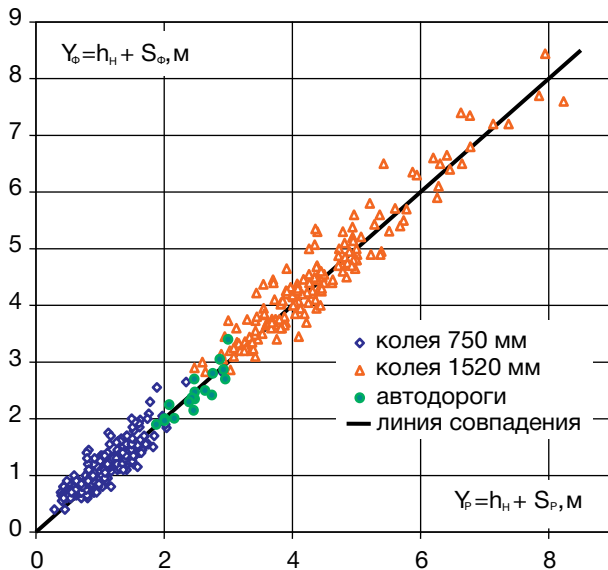


Рис. 3. Сравнение фактической толщины насыпного слоя дорог на болотах с расчетной

Fig. 3. Comparison of the actual and settlement thicknesses of a bulk layer of roads on mires

Таким образом, для реализации предлагаемой методики расчета толщины земляного полотна дорожных насыпей, возводимых на торфяном основании, достаточно установить глубину болота H и свойства (e_0 , W_0) слагающих его грунтов. Глубина болота традиционно определяется ручным зондированием залежей с интервалом 100–500 м (в зависимости от детальности исследований). Однако данная методика зачастую не позволяет получать достоверные сведения о глубине болота в связи с неоднородностью рельефа минерального дна болота (наличием бугров, русел погребенных рек и т. п.), что впоследствии негативным образом может сказаться как при строительстве, так и при эксплуатации дороги (вследствие неравномерного уплотнения торфяной залежи под земляным полотном). Существующие на сегодняшний день лабораторные методы определения свойств торфяных грунтов связаны с трудоемким и дорогостоящим процессом отбора монолитов, их упаковкой, транспортировкой и длительными испытаниями. При отборе проб торфа из залежи нередко происходит отток влаги из челнока пробоотборника, нарушается естественная структура образца, что не может не сказаться на достоверности лабораторных испытаний. Существенная погрешность вносится также за счет «точечного» опробования, не учитывающего макроструктуру торфяных

залежей. Коэффициент вариации определяемых характеристик может достигать 40% и более. Этим же недостатком обладают полевые методы статического зондирования пенетрометром П-5 и вращательного среза – сдвигомером-крыльчаткой СК-10 [1]. Устранить перечисленные недостатки можно, применив методы, позволяющие исследовать торфяные залежи в объемах, превышающих их структурные неоднородности, с получением усредненных характеристик для изучаемой толщи.

В настоящее время ведущую роль в комплексе инженерно-геологических исследований занимают геофизические методы, основанные на изучении физических полей в геологической среде и позволяющие быстро с минимальными затратами обследовать большие территории и объемы пород, снизить долю трудоемких, дорогостоящих и длительных по времени работ. Исследования с целью создания геофизической аппаратуры и методики для определения мощности и свойств торфяных грунтов, проводимые с конца 70-х годов, воплотились в комплексной полевой лаборатории (КПЛ), в которой геофизические методы применяются совместно с известными приборами конструкции Л.С. Амаряна для изучения слабых грунтов [7, 8, 9].

В состав КПЛ входит геофизическое (георадар, сейсмическая аппаратура «Волна») и геотехническое оборудование (сдвигомер-крыльчатка СК-10, зондовый пенетрометр П-5, пробоотборник ТБ-2), которое размещается в салоне специального транспортного средства. В процессе движения по болоту осуществляется непрерывное определение глубины торфяной залежи георадаром. На стоянках в заданных пунктах сейсмической аппаратурой измеряют скорость распространения поперечной волны V_{SH} по глубине залежи с целью установить влагосодержание W_0 , полную влагоемкость W_w , коэффициент пористости торфа e_0 . В тех же пунктах проводятся испытания залежей на вращательный срез, статическое зондирование с отбором проб для визуального определения степени разложения торфа и контрольных лабораторных анализов.

На основании комплексных исследований, выполненных для всех торфяно-болотных зон страны, получены расчетные соотношения для определения важнейших характеристик торфяных залежей – коэффициента пористости e_0 и влагосодержания W_0 сейсмическим методом [9, 10]:

$$e_0 = (297,12/V_{SH}) - 1,27 + 2,5; \text{ при } 6 < e_0 < 26, \quad (15)$$

где V_{SH} – скорость поперечной волны, м/с.

$$W_0 = (174,16/V_{SH}) - 0,5 + 1,63; \text{ при } 3 < W_0 < 15 \quad (16)$$

Установленные взаимосвязи между геофизическими и физическими показателями торфа открывают принципиально новую возможность определения последних по данным сейсмического метода. Это позволяет перейти к оперативной оценке свойств торфа в естественном залегании и в объемах, значительно превышающих структурные неоднородности залежей, что повысит достоверность проводимых определений. При этом отпадает необходимость отбора того числа образцов, которое предусмотрено существующими методиками (отбор образцов может производиться для контроля на наиболее ответственных участках залежей).

Установив геофизическими методами глубину и свойства болота, определяем деформационные показатели торфа a_n и K . Величина толщины насыпного слоя рассчитывается по следующему алгоритму, реализованному на ПЭВМ:

1. Ввод исходных данных по поперечнику.
2. Ввод данных по глубине и свойствам болота.
3. В первом приближении определяем толщину насыпного слоя Y^1 по зависимости (10) при давлении только от высоты насыпи, т. е. $P^1 = \gamma h_H$.
4. Далее определяем толщину во втором приближении Y^{11} от нагрузки

$$P^{11} = \gamma h_H + \gamma' (Y^1 - h_H).$$

5. Задаемся точностью вычисления осадки & и проверяем условие

$$Y^{11} - Y^1 < \&. \quad (17)$$

6. При выполнении условия (17) расчет заканчивается, а при невыполнении производится следующая итерация при нагрузке $P^{111} = \gamma h_H + \gamma' (Y^{11} - h_H)$ и т. д. до выполнения условия (17).

Применение геофизических методов для определения объема земляных работ при строительстве дорог на болотах позволяет повысить производительность и информативность исследований за счет учета рельефа минерального дна, сокращения числа проб и лабораторных испытаний, оперативности получения искомых параметров.

Библиографический список

1. Амарян Л.С. Свойства слабых грунтов и методы их изучения / Л.С. Амарян. М.: Недра, 1990. – 220 с.
2. Евгенийев И.Е. Земляное полотно автомобильных дорог на слабых грунтах / И.Е. Евгенийев, В.Д. Казарновский. М.: Транспорт, 1976. – 271 с.
3. Королев А.С. Расчет конечной осадки инженерных сооружений на торфяном основании / А.С. Королев // Изв. вузов. Горный журнал. 1963. – № 11. – С. 39–45.
4. Коншин Г.Г. Напряжения и упругие деформации в земляном полотне под действием поездов / Г.Г. Коншин, В.П. Титов, В.И. Хромов, Н.В. Наумова. М.: Транспорт, 1972. – 128 с.
5. Королев А.С. Расчет коэффициента сжимаемости слабых грунтов / А.С. Королев, Б.А. Федоров // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1981. – № 12. – С. 22–26.
6. Королев А.С. Оценка параметров компрессионных кривых торфа методами математической статистики / А.С. Королев, Б.А. Федоров // Изв. вузов. Горный журнал. – 1981. – № 7. – С. 14–18.
7. Тер-Терян С.А. Определение свойства и глубины торфяных залежей методами инженерной геофизики / С.А. Тер-Терян // Свойства, структура, методы изучения торфа и слабых грунтов, 18–19 марта 1999. Тверь: Мат. междунар. конф. – Тверь: ТГТУ, 1999. – С. 46–48.
8. Тер-Терян С.А. Технология инженерно-геологических изысканий при строительстве на торфяных грунтах / С.А. Тер-Терян // Инженерные изыскания. – 2015. – № 1. – С. 52–56.
9. Тер-Терян С.А. Применение геофизических методов при изысканиях под объекты нефтегазопромыслового назначения / С.А. Тер-Терян // Каротажник. 2015. – № 1 (247). – С. 43–49.
10. Федоров Б.А. Прогнозирование конечной толщины насыпи на болоте по результатам полевых испытаний торфяной толщи / Б.А. Федоров, Н.Н. Галкин, С.А. Тер-Терян // Сб. тр. СОЮЗДОРНИИ. – М.: 1998. – Вып. 195. – С. 59–65.
11. Федоров Б.А. Совершенствование расчета дорожных конструкций на торфяном основании / Б.А. Федоров. Тверь: ТГТУ, 2004. – 184 с.
12. Федоров Б.А. Исчисление объема земляных работ при проектировании насыпей дорог на торфяном основании / Б.А. Федоров. – Тверь: ТвГТУ, 2013. – 240 с.

УДК 622.331

Столбикова Г.Е.

Столбикова Галина Евгеньевна, к. т. н., доцент кафедры «Геотехнология и торфяное производство» Тверского государственного технического университета (ТвГТУ). gtp1938@mail.ru

Купорова А.В.

Купорова Александра Владимировна, старший преподаватель кафедры «Геотехнология и торфяное производство» ТвГТУ. borale@inbox.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМО-
ВЛАГОПРОВОДНОСТИ
ПРИ СУШКЕ ФРЕЗЕРНОГО
ТОРФА**

Аннотация. Представлены исследования термовла-гопроводности при сушке фрезерного торфа низинного типа залежи при различных интенсивностях радиации, толщины расстила и двух диаметров частиц. Установлено, что отрицательный влагообмен при увеличении толщины расстила до 16 мм значительно меньше. Определена интенсивность термострима влаги в залежь, которая для тонкого расстила выше более чем в 4 раза. Проведенные исследования подтверждают закономерности, что в начальный период сушки интенсивность отрицательного влагообмена при радиационном режиме сушки преобладает над положительным, особенно это хорошо видно на примере для тонких слоев.

Ключевые слова: торф, расстил, сушка, градиент температуры, влагообмен, интенсивность радиации.

Stolbikova G.E.

Stolbikova Galina E., PhD, Associate Professor of the Chair of Geotechnology and Peat Production of the Tver State Technical University

Kuporova A.V.

Kuporova Alexandra V., Senior Lecturer of the Chair of Geotechnology and Peat Production of the Tver State Technical University

**RESEARCH OF THERMO-
AND MOISTURE
CONDUCTIVITY WHEN
DRYING OF MILLING PEAT**

Abstract. The thermo- and moisture conductivity researches are presented at drying of milling peat of eutrophic deposit at different intensities of radiation, laying out thickness and two diameters of the particles. It has been established that negative moisture exchange with an increase in the thickness of laying out to 16 mm is much less. The intensity of a thermostream of moisture in a deposit is defined: for thin laying out it is more intensive by 4 times. The conducted researches confirm regularities that during an initial period of drying intensity of negative moisture exchange at the radiation mode of drying prevail over positive, especially it is well visible for thin layers.

Keywords: peat, laying out, drying, temperature gradient, moisture exchange, intensity of radiation.

Явление термовлагопроводности ранее исследовалось, в основном, на модельных средах с целью изучения этого явления в чистом виде. Для большинства природных материалов, к которым относится фрезерный торф, данный процесс изучен недостаточно. Отмечалось [1], что в начале процесса сушки гранулированного и кускового торфа влага перемещается из слоя в подстилающую залежь, а затем наступает равновесие. После этого влага из залежи начинает перемещаться в сохнувший слой. Передвижение влаги в залежь в начальный период сушки называется термовлагопроводностью, который возникает из-за градиентов температуры.

На модельных средах установлено, что в крупнодисперсных средах механизм передвижения влаги за счет термопереноса происходит преимущественно путем диффузии пара в холодную сторону, где он и конденсируется. По истечении некоторого времени на холодном торце вследствие конденсации образуется избыток влаги, который вызывает обратный капиллярный и пленочный жидкостной поток влаги в зону испарения [2]. Поэтому знание и правильное использование термовлагопроводности необходимо для создания интенсивных режимов сушки фрезерного торфа в тонких слоях.

Для подробного исследования механизма термовлагопроводности при сушке фрезерного торфа применялся метод радиоактивных индикаторов. Исходным материалом был фрезерный торф низинного типа при степени разложения 30–35%. Сушка торфа проводилась при различной толщине расстила от 2 до 16 мм, различной интенсивности радиации 0,25; 0,50 и 0,86 кВт/м² и двух фракций 2 и 4 мм. Изучалось перемещение влаги из сушимого слоя в подстилающую залежь, т. е. исследовался так называемый «отрицательный» влагообмен. Поток влаги в грунт возрастает с увеличением градиента температуры между поверхностью сушимого материала и грунтом, а последний, при прочих равных условиях, является функцией толщины слоя.

Градиенты температуры (рис. 1) между поверхностью материала и подстилающей залежью достигают больших значений. При интенсивности радиации 0,50 кВт/м² градиенты температуры для слоя крошки 2 мм достигают больше 16 °С/см, в слоях 4 мм – до 12 °С/см, а в слоях 16 мм – только 3–4 °С/см. При интенсивности радиации 0,25 кВт/м² гра-

диенты температуры имеют даже отрицательные значения, так как наблюдается охлаждение всего слоя крошки. Из этих графиков следует, что при увеличении толщины слоя при всех режимах сушки и при разных размерах частиц градиенты температуры между поверхностью сушки и подстилающей залежью уменьшаются. Температурный перепад в слое приводит к значительному теплотоку влаги, приблизительно пропорциональному градиенту температуры. Последний возникает сразу же в начале процесса сушки, затем наблюдается их медленный рост до максимального значения, после чего он остается постоянным. Таким образом, теплоток является причиной переноса влаги из сушимого слоя в подстилающую залежь. Повышение средней температуры слоя также приводит к увеличению термопереноса влаги.

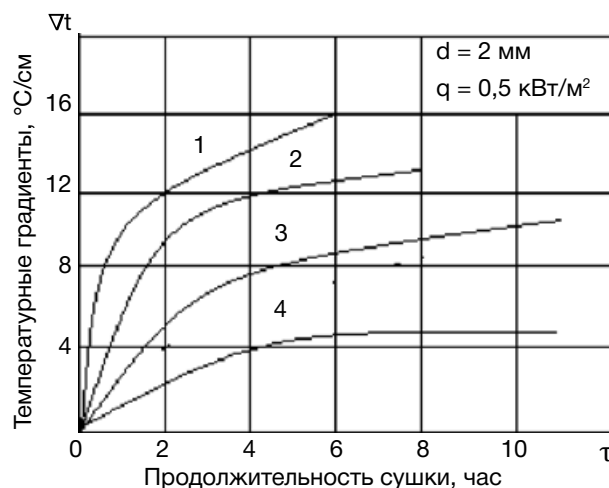


Рис. 1. Изменение средних градиентов температуры в процессе сушки при разной толщине расстила h_p : 1–2 мм; 2–4 мм; 3–8 мм; 4–16 мм.

Fig. 1. The change of the average temperature gradients in the drying process with a different thickness of laying out h_p : 1–2 mm; 2–4 mm; 3–8 mm; 4–16 mm.

Из анализа градиентов температуры (рис. 2, б), возникающих при сушке 16-мм слоя фрезерного торфа с размерами частиц 4 мм при интенсивности радиации 0,86 кВт/м² и относительной влажности воздуха 50%, следует, что при средней величине градиента температуры 4,2 °С/см по всему слою, между серединой слоя и подстилом градиент температуры очень мал, он не превышает 1,5 °С/см, поэтому

в грунт переносится мало влаги. В то время как при сушке 2 мм расстила и размером частиц 2 мм в самых верхних горизонтах слоя возникают очень большие градиенты > 20 °C/см (рис. 2, а). В связи с этим количество влаги, переносимой в грунт при толщине расстила 2 мм, значительно большее, чем в слое 16 мм.

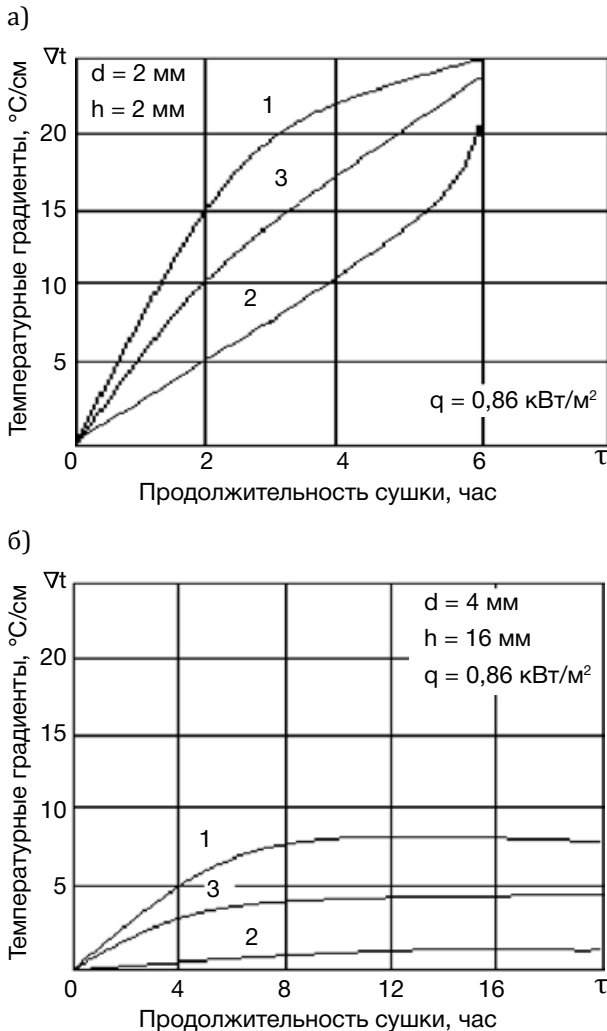


Рис. 2. Изменение градиентов температуры в процессе сушки для слоев на разном расстоянии от поверхности расстила: а) 1- $\Delta h_1 = 0 \div 1$ мм, 2- $\Delta h_2 = 1 \div 2$ мм, 3- $\Delta h_3 = 0 \div 2$ мм; б) 1- $\Delta h_1 = 0 \div 8$ мм, 2- $\Delta h_2 = 8 \div 16$ мм, 3- $\Delta h_3 = 0 \div 16$ мм

Fig. 2. The change of the temperature gradients in the drying process for layers at different distances from the surface of laying out: а) 1- $\Delta h_1 = 0 \div 1$ mm, 2- $\Delta h_2 = 1 \div 2$ mm, 3- $\Delta h_3 = 0 \div 2$ mm; б) 1- $\Delta h_1 = 0 \div 8$ mm, 2- $\Delta h_2 = 8 \div 16$ mm, 3- $\Delta h_3 = 0 \div 16$ mm

Графики изменения количества влаги (в процентах), переместившейся в грунт за счет термовлагопроводности, в зависимости от толщины расстила крошки, приведены на рис. 3.

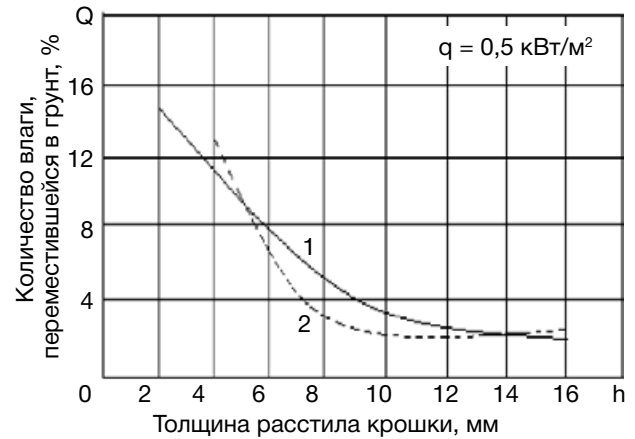


Рис. 3. Зависимость перемещения влаги в грунт за счет термовлагопроводности от толщины расстила при различном диаметре крошки: 1- $d_{cp} = 2$ мм; 2- $d_{cp} = 4$ мм

Fig. 3. The dependence of displacement of moisture into the soil at the expense of thermo- and moisture conductivity from thickness of laying out with different diameter of crumbs: 1- $d_{cp} = 2$ mm; 2- $d_{cp} = 4$ mm

Из графика следует, что при сушке расстила торфа толщиной 2 мм и средним диаметром частиц 2 мм в грунт перемещается за счет теплотока до 15%, а в расстиле 16 мм – только 2% от общего количества влаги, удаляемой при сушке, что составляет величину в 7,5 раза больше. При сушке крошки с размером частиц 4 мм соотношение аналогично. С увеличением толщины расстила крошки процентное количество влаги, переместившейся в грунт за счет теплотока, уменьшается и при толщине слоя 16 мм оно составляет 2%, а при толщине слоя 4 мм – 13%, что также находится в пределах данного диапазона – меньше в 6,5 раза.

Средняя интенсивность теплотока влаги в грунт для расстила в грунт толщиной 2 мм составляет $0,0131 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$ и постоянно уменьшается с увеличением толщины расстила, так, для расстила толщиной 16 мм она составляет только $0,003 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$. Это снижение интенсивности теплотока происходит вследствие снижения перепада температуры по высоте слоя (рис. 2).

Интенсивность перемещения влаги из слоя сохнущего материала в грунт в результате термовлагопроводности при радиационно-конвективном режиме сушки определялась по формуле:

$$i = \frac{10^{-4}(W_H - W_K)P_C Q}{\tau}, \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч},$$

где W_H, W_K – начальное и конечное влагосодержание крошки, кг/кг; P_C – содержание сухого вещества в слое сушеного торфа, кг/м²; τ – продолжительность сушки, ч; Q – процентное количество влаги, переместившейся в подстил (грунт) при сушке, %.

Количество сухого вещества в слое торфа определялось по формуле:

$$P_C = \frac{P_H}{1 + W_H} = \frac{h_H f \gamma_H}{1 + W_H}, \text{ кг},$$

где h_H – начальная толщина расстила, м; f – площадь загрузки, м²; γ_H – насыпная плотность слоя торфа, кг/м³.

Процентное количество влаги, переместившейся в грунт за время сушки, определялось на основании пропорциональности между выносом радиоактивной метки и количеством влаги, мигрирующей в залежь, по формуле:

$$Q = 100 \frac{\sum_{i=1}^n N_i^{np}}{\sum_{i=1}^n N_i^P}, \text{ \%},$$

где $\sum_{i=1}^n N_i^{np}$ – сумма приведенных значений удельной активности проб подстилающей залежи, имп/мин; $\sum_{i=1}^n N_i^P$ – первоначальное расчетное значение суммы удельной активности послойных проб сушеного материала, имп/мин.

Для каждого слоя значения N_i^{np} определялись по формуле:

$$N_i^{np} = \frac{h_\phi}{h_H} N_i, \text{ имп/мин},$$

где h_ϕ – фактическая толщина разбираемого слоя монолита (подстилающей залежи), мм; h_H' – приведенная толщина слоя равна:

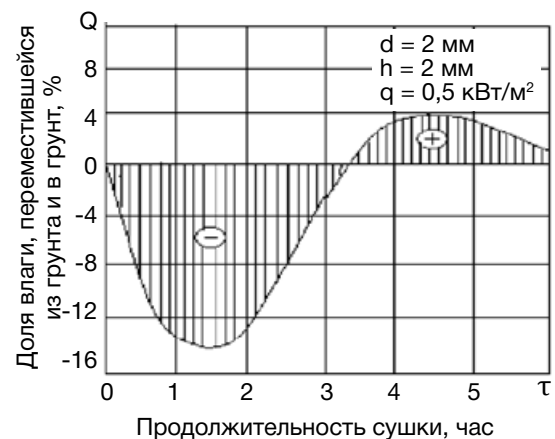
$$h_H' = h_n \frac{\gamma_H}{\gamma_H'} \cdot \frac{W_H - W_{\phi X}}{W_H' - W_{\phi X}} \cdot \frac{1 + W_H'}{1 + W_H}, \text{ мм}$$

где N_i – удельная активность проб из монолита, имп/мин; $W_{\phi X}$ – физико-химически связанная влага в торфе, которая не растворяет индикатор, кг/кг.

Анализ изменения количества влаги, переместившейся в грунт (отрицательный влаго-

обмен) и из грунта в сушимый слой (положительный влагообмен) (рис. 4) в результате термо- и влагопроводности в различные периоды сушки, позволяет утверждать, что в начальный период сушки при различных интенсивностях радиации, толщинах расстила и размерах крошки отрицательный влагообмен преобладает над положительным. С течением времени миграция влаги в грунт уменьшается. Это обстоятельство можно объяснить увеличением градиента влаги между грунтом и нижним слоем сохнувшего материала, в результате чего возрастает интенсивность потока влаги из грунта в слой. За счет тепмопотока влага в грунт проникает на толщину 6–9 мм.

а)



б)

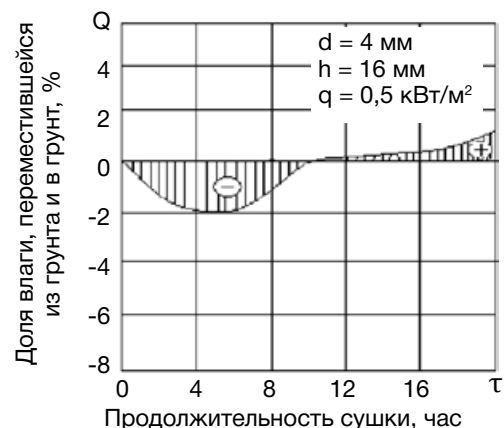


Рис. 4. Процессы влагообмена расстила крошки с подстилающей залежью при сушке с разной толщиной расстила и размерах крошки: а) $h_p = 2$ мм, $d_{cp} = 2$ мм; б) $h_p = 16$ мм, $d_{cp} = 4$ мм

Fig. 4. Processes of moisture exchange of laying out of crumbs with the spreading deposit when drying with different thickness laying out and the size of crumbs: а) $h_p = 2$ mm, $d_{cp} = 2$ mm; б) $h_p = 16$ mm, $d_{cp} = 4$ mm

Проведенные исследования подтверждают закономерности, что в начальный период сушки интенсивность отрицательного влагообмена при радиационном режиме сушки преобладает над положительным. Средняя интенсивность отрицательного влагообмена достигает своего максимального значения для слоя минимальной толщины 2 мм и составляет $0,0131 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$ в течение первых 2,5–3,5 ч, в то время как для расстила толщиной 16 мм она равна только $0,003 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$ за 10 ч сушки (рис. 4). Затем наступает короткое равновесие. При дальнейшей сушке фрезерного торфа влагообмен меняется на противоположный и влага из залежи начинает перемещаться в сушимый слой. Наступает положительный влагообмен. Но так как для тонких слоев процесс сушки до кондиционной влажности уже закончился, то влага из верхнего слоя залежи начинает перемещаться транзитом

через сухой тонкий слой, уменьшая влажность верхнего слоя залежи. Данное суждение было подтверждено полевыми производственными экспериментами. При коротких циклах сушки в течение сезона влажность залежи снижается по сравнению с нормативными значениями.

Библиографический список

1. *Малков Л.М.* Исследование процесса радиационно-конвективной сушки гранулированного и кускового торфа / Л.М. Малков, Н.С. Панкратов // Труды филиала ВНИИТП, Госэнергоиздат. – 1961. – Вып. 1.
2. *Смирнов В.И.* Исследование механизма радиационно-конвективной сушки коллоидных капиллярно-пористых тел с помощью радиоактивных индикаторов / В.И. Смирнов, Н.И. Гамаюнов // Инженерно-физический журнал. – 1966. – № 11. – Вып. 2. – С. 12–14.

УДК 622.331:658.7

Васильев А.Н.

Васильев Алексей Николаевич д. т. н., профессор кафедры «Механизация природообустройства и ремонт машин» Тверского государственного технического университета (ТвГТУ). vasiliev_1942@bk.ru

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ВАЛКОВАНИЯ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА В МНОГОЦИКЛОВЫЕ ВАЛКИ

Аннотация. Отвалы устройства выполнены с разной шириной захвата. Ширина захвата основного отвала составляет 0,55...0,70, а бокового – 0,45...0,30 от общей ширины захвата. Продольная ось устройства расположена параллельно продольной оси базовой машины на расстоянии 0,05...0,20 от общей ширины захвата устройства. Выполнение отвалов разной величины и со смещением продольной оси устройства относительно продольной оси базовой машины позволяет собирать на карте торф в валок до 5 циклов. В начале сезона устройство формирует валок по одну сторону, а во второй половине сезона по другую сторону от середины карты. За счет изменения направления выполнения операции (по часовой или против часовой стрелки) создается валок по разные стороны от середины карты. Это позволяет срабатывать полосу под валком на карте.

Ключевые слова: торф, валок, отвал, смещение, ширина захвата, продольная ось, направление.

Vasiliev A.N.

Vasiliev Aleksei N., Dr., Professor of the Chair of Environmental Mechanization and Repair of Machines of the Tver State Technical University

DEVICE FOR WINDROWING OF MILLING PEAT IN MULTI-CYCLE ROLLS

Abstract. Dumps of the device are executed the different width of capture. Width of capture of the main dump makes 0,55 ... 0,70, and side – 0,45 ... 0,30 from the general width of capture. The longitudinal axis of the device is located parallel to a longitudinal axis of the basic car at distance 0,05 ... 0,20 from the general width of capture of the device. Making of dumps of different size and with the shift of a longitudinal axis of the device in relation to a longitudinal axis of the basic car allows to collect peat in a roll to 5 cycles. At the beginning of a season the device forms a roll on one side, and in the second half of a season on other side from the middle of the peat deposit card. Due to change of the direction of performance of operation (clockwise or counterclockwise) the roll on different sides from the middle of the card is created. It allows developing a layer under a roll in the card.

Keywords: peat, roll, dump, shift, capture width, longitudinal axis, direction.

Для валкования фрезерного торфа разработан валкователь ВФТ-19, включающий отвалы, установленные на колесах и расположенные под углом друг к другу и к продольной оси валкователя с шарнирно смонтированными на отвалах скребками, установленными с перекрытием и обращенными к оси валкователя валкующими плоскостями. Устройство снабжено механизмом управления скребками. Однако данное устройство не позволяет создавать многоцикловые валки на карте, так как валок формируется посередине карты и при последующем валковании валок располагается между гусеницами (колесами) базовой машины. Валок не может быть выше просвета базовой машины, что в конечном итоге не обеспечивает высокую производительность труда при добыче торфа.

Разработанное устройство позволяет повысить сезонные сборы торфа за счет досушки торфа на откосах многоцикловых наращиваемых валков, увеличить количество циклов добычи за счет уменьшения числа операций в цикле (в цикле только операции фрезерования, ворошения и валкования) и увеличения сезонной выработки уборочных машин за счет большего количества дней работы в сезоне. Операция уборки и при наличии операции штабелирования вынесены за пределы технологического цикла сушки торфа.

Перечисленные преимущества достигаются тем, что валкователь установлен на колесах и включает разновеликие отвалы, расположенные под углом друг к другу и к продольной оси валкователя с шарнирно смонтированными на них с перекрытием скребками, обращенными к оси валкователя валкующими плоскостями. Разновеликие отвалы включают основной и боковой. При этом ширина захвата основного отвала составляет 0,55...0,70, а ширина захвата бокового отвала – 0,45...0,30 от общей ширины захвата. Причем продольная ось валкователя расположена параллельно продольной оси базовой машины на расстоянии 0,05...0,20 от общей ширины захвата валкователя.

Выполнение отвалов разновеликими и со смещением продольной оси валкователя относительно продольной оси базовой машины позволяет создавать на карте многоцикловые валки. Соотношение длины отвалов основного к боковому подобрано таким образом, чтобы можно было на карте формировать пятицик-

ловой валок. При изменении соотношений ширины захвата основного отвала и общей ширины захвата валкователя произойдет смещение продольной оси валкователя и базовой машины.

Смещение осевой линии валкователя от осевой линии базовой машины равно

$$B = (H - 2H_2)/2,$$

где H – ширина захвата валкователя, м;

H_2 – ширина захвата бокового отвала, м.

При $0,45 H < H_2 < 0,5 H$ – смещение осевой линии валкователя недостаточно, вследствие чего при проходе базовой машины вдоль сформированного одноциклового валка будет происходить приминание торфа ходовым устройством машины. При $H_2 < 0,5 H$ основной отвал переходит в боковой, а боковой – в основной. При $H_2 < 0,3 H$ валок будет занимать значительную часть полезной площади карты, которая не обрабатывается, что снижает сборы торфа. Кроме того, это ведет к значительному увеличению габаритов отвалов и скребков при формировании многоцикловых валков.

На рис. представлен общий вид валкователя фрезерного торфа и показана схема соединения элементов устройства. Присоединение валкователя к базовой машине 1 осуществляется с помощью прицепной рамы 2, снабженной регулируемой по длине осью 3, и тяг 4. Основной 5 и боковой 6 отвалы с шарнирно провешенными к ним скребками 7 соединены между собой с помощью вертикального шарнирного соединения 8 и опираются на поверхность поля четырьмя поворотными катками 9. Скребки 7 шарнирно подвешены к отвалам 5 и 6 посредством Г-образных тяг и поднимаются в транспортное положение с помощью гидроцилиндра.

Отношение количества скребков основного отвала 5 к количеству скребков бокового отвала 6 изменяется в пределах от 11:9 до 14:6.

Устройство работает следующим образом.

При движении базовой машины с прицепом валкователя по поверхности технологической площадки высушенный фрезерный торф из расстила подбирается скребками 7 основного отвала 5 и перемещается на большее расстояние вдоль валкующей плоскости, одновременно скребками 7 бокового отвала 6 высушенный торф перемещается на меньшее расстояние вдоль валкующей плоскости, в резуль-

тате образуется валок фрезерного торфа в стороне от оси движения базовой машины. В последующих циклах базовая машина 1 проходит вдоль образованного валка фрезерного торфа, собирая высушенный торф скребками 7 основного 5 и бокового 6 отвалов, образуя многоцикловой валок, наращивая его после каждого цикла.

При применении валкователя многоцикловой валок в начале сезона формируется по одну сторону, а во второй половине сезона – по другую сторону от середины карты, за счет изменения направления (по часовой или против часовой стрелки) выполнения операции валкования. Эта технология позволяет срабатывать подвалковую полосу на карте и исключить операцию по ее срезке и равномерному распределению слоя залежи по поверхности карты.

Соединение отвалов между собой и присоединение валкователя к базовой машине осуществляется с помощью вертикального шарнирного соединения, прицепной рамы с регулируемой по длине осью и тяг.

Формирование многоцикловых валков на карте позволяет:

- снизить намокание торфа в валках по сравнению с торфом, находящимся в расстиле или одноцикловых валках. Так, по данным Л.М. Малкова, при выпадении осадков 3...5 кг/м² влагосодержание двухцикловых валков с площадью поперечного сечения 0,254 м² увеличивается на 0,19 кг/кг, что позволяет производить уборку торфа, но прерывает выполнение остальных операций технологического цикла;
- формирование многоцикловых валков в стороне от середины карты позволяет равномерно срабатывать поверхность карт (подвалковой полосы) за счет формирования многоциклового валка по разные стороны от середины карты;
- повысить сезонные сборы за счет досушки торфа на откосах валков и увеличения количества циклов добычи в течение сезона;
- вынести операции уборки и штабелирования за пределы технологического цикла сушки (остаются операции фрезерования,

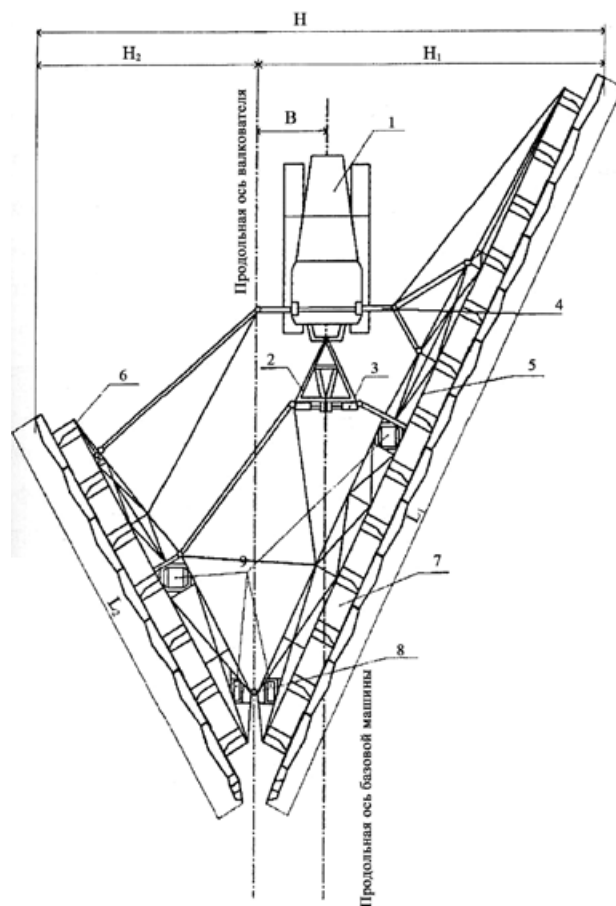


Рис. Валкователь фрезерного торфа

Fig. Windrower of milled peat

ворошения и валкования) и увеличить примерно в два раза сезонную выработку машин, занятых на уборке и штабелировании торфа;

- снизить потери торфа при уборке, составляющие при уборке по механическому принципу не более 7%, что в 3–4 раза меньше, чем при многократной перевалке торфа перевалочными машинами.

Библиографический список

1. Смирнов В.И. Практическое руководство по организации добычи фрезерного торфа: учебное пособие / В.И. Смирнов, А.Н. Васильев, А.Е. Афанасьев, А.Н. Болтушкин. Под ред. В.И. Смирнова. 1-е изд. – Тверь: ТГТУ, 2007. – 392 с.

УДК 622.331

Иванов В.А.

Иванов Валерий Андреевич, аспирант направления 21.06.01 Геология, разведка и разработка полезных ископаемых, профиль Геотехнология (подземная, открытая, строительная), выпускающая кафедра «Геотехнология и торфяное производство» Тверского государственного технического университета (ТвГТУ). geek_rzev@mail.ru

Новикова А.С.

Новикова Анастасия Сергеевна – магистрант 1-го курса направления подготовки 18.04.01 Химическая технология профиль Технологии переработки торфа и сапропеля группа ХТ ТПТС-М-2015, выпускающая кафедра «Геотехнология и торфяное производство» ТвГТУ

**ЗАВИСИМОСТЬ
ДИСПЕРСНОСТИ
ТОРФА ОТ СТЕПЕНИ
МЕХАНИЧЕСКОЙ
ПЕРЕРАБОТКИ**

Аннотация. Проведены лабораторные исследования зависимости степени измельченности торфа от кратности переработки. Оно состояло в определении технологических показателей сырья и качественных показателей готовой продукции. Рассчитаны кривая распределения частиц по размерам и условная удельная поверхность торфяных частиц. Получена зависимость показателя охвата переработкой от содержания в торфе фракций размером менее 250 мкм. Она близка к линейной. Установлено, что показатель охвата переработкой с удовлетворительной точностью может быть рассчитан по данным одного лишь ситового анализа.

Ключевые слова: торф, дисперсность, качество, переработка, готовая продукция.

Ivanov V.A.

Ivanov Valery A., Graduate Student on Geology, Investigation and Development of Minerals, profile Geotechnology (underground, open, construction), Chair of Geotechnology and Peat Production of the Tver State Technical University

Novikova A.S.

Novikova Anastasia S., Undergraduate Student on Chemical Technology, profile of Technology of Processing of Peat and Sapropel, Chair of Geotechnology and Peat Production of the Tver State Technical University

**DEPENDENCE
OF DISPERSION
OF PEAT ON EXTENT
OF MECHANICAL
PROCESSING**

Abstract. Laboratory researches of dependence of extent of dispersing of peat on frequency rate of processing are conducted. The purpose of calculations is definition of technological indicators of raw materials and quality indicators of finished products. A curve of distribution of particles by the sizes and a conditional specific surface of peat particles are calculated. Dependence of an indicator of coverage by processing is received from the content in peat of fractions less than 250 microns in size. It is close to linear. It is established that the coverage indicator with a satisfactory accuracy can be calculated by processing according to only one sieve analysis.

Key words: peat, dispersion, quality, processing, finished products.

При производстве готовой продукции из торфа основу технологии составляют процессы, связанные с удалением значительного количества воды на различных стадиях производства и его механической переработкой¹. Из-за содержания в торфе волокнистых грубодисперсных частиц он поглощает воду, так как крупные полости способны поглощать и удерживать большое количество воды. Механическая переработка уменьшает объем таких полостей, и, следовательно, уменьшается полная влагоемкость торфа.

Характеристикой дисперсных торфяных систем является степень измельченности вещества на частицы, выраженная в процентах, которую порой отождествляют с условной удельной поверхностью частиц S ($\text{м}^2/\text{кг}$) [2, 3]. Ее определение необходимо для характеристики торфа как сырья для промышленности, исследования его физико-химических и механических свойств, а также для изучения различных производственных процессов.

Исследование степени физико-механической переработки торфяного сырья состояло в определении технологических показателей сырья и качественных показателей готовой продукции: дисперсности, зольности и кислотности. Механическая переработка торфа состояла из четырех вариантов диспергирования:

1. перемешивание торфа для придания ему однородности – вариант «непереработанный торф»;
2. однократная переработка в шнековом механизме с ручным приводом;
3. трехкратная переработка в том же шнековом механизме;
4. десятикратная переработка в том же шнековом механизме.

Полная дисперсионная характеристика торфа может быть получена комбинированием трех видов анализа: мокрого ситового, седиментометрического и электронно-микроскопического [3, 4]. Однако для технологических целей результаты электронно-микроскопического анализа, дающие распределение частиц по размерам в коллоидной области (размер частиц менее 1 мкм), не имеют существен-

ного значения. Из первых двух видов анализа на долю седиментометрического анализа пришлось 70–90% всей массы торфа. Отсюда очевидна важная роль седиментометрического анализа при получении дисперсионной характеристики торфа. При седиментометрическом анализе была применена усовершенствованная модель весового седиментометра. Отличительными особенностями этой модели является отсутствие плоской пружины, нередко вносящей помехи в работу седиментометра, и применение чашечки с укороченным стержнем с подвеской на тонкой нити, благодаря чему устранены помехи от испарения.

Для унификации подготовки проб к анализу использовали 5-минутное встряхивание пробы торфяного сырья с водой в 1–1,5-литровой колбе.

Результаты исследований дисперсионных характеристик для каждого варианта представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Процентное содержание фракций в фускум-торфе

Table 1. Percentage of fractions in Sph.fuskum-peat

Фракция, мм	Вес, P_i , г	Содержание, P_i , %
7–3	0,0544	0,53
3–1	0,1540	1,51
1–0,5	0,4908	4,81
0,5–0,25	1,7524	17,16
< 0,25	7,7580	75,99
Сумма	10,2096	100

Потери сухого вещества при ситовом анализе $\lambda = 0,59\%$

Результаты седиментометрического анализа обрабатывались ходе анализа методом расчета процентного количества осевших частиц, что повысило надежность результатов, а также применялось детальное подразделение частиц на фракции, что повышает точность результатов.

Рассматриваемая партия представлена грубо- и среднедисперсными торфами, довольно однородными по составу (коэффициент неоднородности 8–48).

Зольность торфа в большинстве случаев превышает кондиционную. Для верхового торфа это наблюдается в пробах № 1, фускум-торф, $R = 10\%$, $A^c = 2,31\%$; № 2, фускум-торф, $R = 10\%$, $A^c = 3,52\%$.

¹ Научный руководитель: Пухова Ольга Владимировна кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Геотехнология и торфяное производство» ТвГТУ.

Таблица 2. Расчет кривой распределения частиц по размерам и условной удельной поверхности торфяных частиц

Table 2. Calculation of curve of distribution of particles for the sizes and conditional specific surface of peat particles

№ пп	Интервалы времени, см	Интервалы r , мк	$\Delta\delta_Q(T)$, мм	$\Delta m = \Delta\delta_Q(T) \frac{K_1}{K_2}$, %	B , см	$h = \frac{2\Delta m}{B}$, см	$r_{ср}$, см	$S_{уд}$, см/г
1	Ситовой анализ	3500–1500	-	0,53	2,05	0,52	2500	0,5
2		1500–500	-	1,51	2,61	1,15	1000	1
3		500–250	-	4,81	1,64	5,86	375	2
4		250–125	-	17,16	1,68	20,40	187,5	18
5	0,85–3,66	125–50	0,472	16,47	2,18	15,10	87,5	38
6	3,66–5,76	50–25	0,258	9,00	1,64	10,97	37,5	48
7	5,76–8,40	25–10	0,218	7,61	2,20	6,92	17,5	87
8	8,40–10,45	10–5	0,192	6,70	1,66	8,07	7,5	179
9	10,45–12,76	5–2,5	0,197	6,88	1,65	8,34	3,75	367
10	12,76–16,43	2,5–1	0,272	9,49	2,19	8,66	1,75	1084
11	16,43–19,30	1–0,5	0,169	5,90	1,65	7,15	0,75	1572
12	19,30–∞	0,5–0,05	-	13,94	5,51	5,06	0,35	572

Наиболее полно результаты диспергирования отображаются кривыми охвата переработкой (рис.).

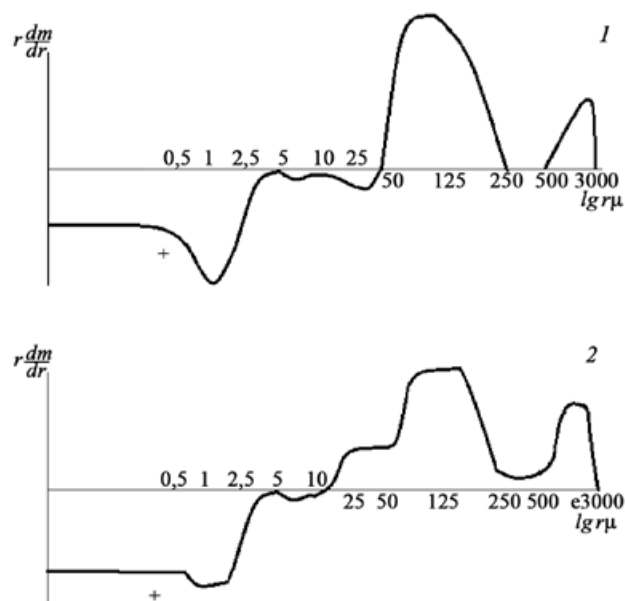


Рис. Кривые охвата переработкой торфяной массы верхового фускум-торфа степенью разложения $R=20\%$: 1 – однократная переработка; 2 – трехкратная переработка

Fig. Curves of coverage of processing of peat mass of Sph. fuskum peat with degree of decomposition $R=20\%$: 1 – single processing; 2 – triple processing

Показатель охвата переработкой определяется выраженным в процентах отношением

массы частиц, подвергшихся переработки, к общей массе. График охвата торфа переработкой наглядно показывает область размеров, в которой происходило диспергирование.

Результаты вычислений и фактические данные охвата переработкой торфяной массы исследуемых видов торфа представлены в табл. 3. Квадратичная ошибка определения M составляет менее 3%. Таким образом, показатель охвата переработкой с удовлетворительной точностью может быть рассчитан по данным одного лишь ситового анализа.

Область «исчезающих» в процессе переработки частиц приходится в основном на фракции надситовые. Зависимость показателя охвата переработкой M от содержания в торфе фракций размером менее 250 мкм близка к линейной. Угол наклона линий зависит от содержания фракций менее 250 мкм в исходном торфе. Эта зависимость удовлетворительно описывается уравнением:

$$M = (0,25 + 0,021P_{250}) \Delta P_{250}, \%$$

где: P_{250} – содержание фракций размером менее 250 мкм в исходном торфе; ΔP_{250} – приращение фракций размером менее 250 мкм в процессе переработки.

На представительном экспериментальном материале показано, что эта связь реализуется с коэффициентом корреляции более 0,9. Для фракции < 10 мкм квадратичная ошибка состава

Таблица 3. Сопоставление фактических и расчетных значений показателя охвата переработкой**Table 3.** Comparison of the actual and calculated values of an index of coverage of processing

№ п/п	№ проб	Переработка	$M_{\text{фак}}, \%$	$P_{250}, \%$	$\Delta P_{250}, \%$	$M_{\text{расч}}, \%$	Расхождение между $M_{\text{фак}}$ и $M_{\text{расч}}, \%$
1	№ 1	Непереработанный	-	68,11	0	0	0
2		однократная	16,1	76,36	8,25	13,8	+ 2,3
3		трехкратная	21,7	80,58	12,47	21,0	+ 0,7
4		десятикратная	29,6	86,95	18,84	31,6	- 2,0
5	№ 2	Непереработанный	-	61,50	0	0	0
6		однократная	22,0	76,05	14,55	22,4	- 0,4
7		трехкратная	27,8	79,10	17,60	27,1	+ 0,7
8		десятикратная	33,8	84,59	23,09	35,6	- 1,8

вила 6,6%, а для фракции < 1 мкм – 4,1%. Таким образом, с приемлемой точностью можно установить содержание тонкодисперсной и коллоидной фракций по данным одного лишь ситового анализа.

Величина показателя «условная удельная поверхность» [5] зависит от разбивки дисперсной системы на фракции и уже по этой причине является условной. При вычислении удельной поверхности пользовались шкалой с детальной разбивкой на фракции. Наибольшая доля поверхности приходится на коллоидную фракцию (размером менее 1 мкм). Поэтому можно ожидать наличие связи, близкой к линейной, между фракцией < 1 мкм и условной удельной поверхностью.

Таким образом, содержание грубодисперсной, в особенности волокнистой, части (фракции > 250 мкм), и тонкодисперсных фракций размером менее 10 мкм является наглядными характеристиками дисперсности фускум-торфа. Конечное состояние в процессе переработки характеризуется тем большим накоплением частиц в тонкодисперсной области, чем больше общее накопление подситовых фракций. При одинаковом накоплении фракций размером менее 250 мкм накопление тонко-

дисперсных фракций будет тем большим, чем выше их наличное количество. Поэтому скорость накопления тонкодисперсных фракций пропорциональна скорости накопления подситовых фракций (менее 250 мкм) и наличному количеству тонкодисперсных фракций.

Библиографический список

1. *Панов В.В., Мисников О.С.* Современные тенденции развития торфяной отрасли России // Труды Инсторфа. – 2015. – № 11 (64). – С. 3–12.
2. *Мисников О.С.* Физико-химические основы торфяного производства: учебное пособие / О.С. Мисников, О.В. Пухова, Е.Ю. Чертова. – Тверь: ТвГТУ, 2015. – 172 с.
3. *Суворов В.И.* Дисперсионный анализ. – Тверь: ТвГТУ. – 2012. – 112 с.
4. *Воларович М.П., Чураев Н.В.* Исследование степени дисперсности торфа // Труды Инсторфа. – 2010. – № 1 (54). – С. 37–51.
5. *Солопов С.Г.* Влияние дисперсности на структуру и физико-механические свойства торфа в связи с задачей получения качественного кускового топлива из залежей с пониженной влажностью // Труды Инсторфа. – 2010. – № 1 (54). – С. 55–74.

УДК 622.73.002.5

Горфин О.С.

Горфин Олег Семенович, к. т. н., профессор кафедры торфяных машин и оборудования (ТМО) Тверского государственного технического университета (ТвГТУ). gorfin.oleg@yandex.ru

Зюзин Б.Ф.

Зюзин Борис Федорович, д. т. н., профессор, зав. кафедрой ТМО Тверского государственного технического университета (ТвГТУ). zbfu@yandex.ru

Яблонев А.Л.

Яблонев Александр Львович, д. т. н., профессор кафедры ТМО ТвГТУ. alvovich@mail.ru

Назаров М.С.

Назаров Максим Сергеевич магистрант кафедры ТМО ТвГТУ. nez0-mexx@mail.ru

УТИЛИЗАТОР ТЕПЛОТЫ И ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ТЭЦ

Аннотация. Предложена конструкция устройства с отсутствующим байпасным газоходом, позволяющая утилизировать теплоту парообразования влаги топлива и полностью ее использовать на нагрев охлаждающей воды, направляемой на нужды паротурбинного цикла без дополнительной обработки. Показана возможность в процессе утилизации теплоты осуществить очистку всех дымовых газов от серной и сернистой кислот, а очищенный конденсат использовать в качестве горячей воды для технологических и бытовых нужд.

Ключевые слова: ТЭЦ, котельные установки, теплоутилизатор, конденсация, парообразование, влага топлива, очистка дымовых газов от кислот.

Gorfin O.S.

Gorfin Oleg S., Dr., Professor of the Chair of Peat Machines and Equipment of the Tver State Technical University (TSTU). Tver, Academicheskaya, 12

Zyuzin B.F.

Zyuzin Boris F., Dr., Prof., Head of the Chair of Peat Machinery and Equipment of the Tver State Technical University

Yablonev A.L.

Yablonev Alexander L., Dr., Professor of the Chair of Peat Machinery of the Tver State Technical University

Nazarov M.S.

Nazarov Maxim S., undergraduate student of the Chair of Peat Machinery of the Tver State Technical University

DEVICE ON UTILIZATION OF HEAT AND PURIFICATION OF COMBUSTION GASES OF HEAT AND POWER PLANT

Abstract. The device design with the absent bypass gas flue is offered allowing to utilize the heat of steam formation of moisture of fuel and completely to use it on heating of the cooling water directed to needs of a steam-turbine cycle without additional processing. An opportunity to carry out purification of all combustion gases of sulfuric and sulphurous acids in the process of utilization of the heat, and to use the purified condensate as hot water for technological and domestic needs is shown.

Key words: heat and power plant, boiler installations, heat utilizer, condensation, vaporization, fuel moisture, purification of combustion gases from acids.

При работе ТЭЦ на топливе с большим содержанием влаги (буром угле, торфе, сланцах) теплота парообразования влаги топлива вместе с дымовыми газами выбрасывается в атмосферу. В газифицированных котельных потери теплоты с уходящими газами при расчете по высшей теплоте сгорания топлива достигают 25%. Применение теплоутилизаторов позволяет не только уменьшить тепловые выбросы в атмосферу, но и использовать высвободившуюся энергию [1].

Теплоутилизаторы скрытой теплоты парообразования влаги топлива, основанные на охлаждении дымовых газов ниже точки росы, являются конденсационными [2]. Их недостатком является то, что для повышения температуры отходящих осушенных дымовых газов, исключая конденсацию остатков паров влаги в дымовой трубе, используется байпасный газоход. По байпасному газоходу часть дымовых газов с начальной температурой 150–160 °С, минуя теплоутилизатор, направляются для смешивания с газами, отходящими от теплоутилизатора. Дымовые газы, проходящие через байпасный газоход, уносят часть теплоты парообразования влаги топлива, снижая КПД процесса утилизации тепловой энергии. Кроме того, в дымовых газах содержатся вредные примеси, например, серной и сернистой кислот, оксиды азота. При смешивании охлажденных дымовых газов с газами, проходящими через байпасный газоход, температура смеси повышается, исключая возможность конденсации остатков паров влаги топлива в дымовой трубе. Средняя температура смеси газов выше точки росы водяных паров, но ниже точки росы кислот, что неизбежно вызывает конденсацию их остатков, которые приобретают коррозионно агрессивные свойства.

Известна конструкция конденсационного теплоутилизатора, в котором обеспечивается удаление вредных примесей в процессе утилизации теплоты парообразования влаги топлива [3]. Через теплоутилизатор проходит 80% всего объема дымовых газов, из которых одновременно с утилизацией теплоты удаляется конденсат серной и сернистой кислот. Повышение температуры отходящих охлажденных дымовых газов, необходимой для исключения возможности конденсации остатков паров влаги в дымовой трубе, достигается использованием 20% газов, идущих по байпасному газоходу [4]. Следовательно, очистки всего объема дымовых газов не происходит.

Для обеспечения очистки всех дымовых газов разработана конструкция утилизатора, который состоит из двух последовательно соединенных теплообменников (рис.) [5]. Первый теплообменник 1 содержит изолированный резервуар 2, заполненный проточной водой. Внутри резервуара 2 расположены параллельные ряды горизонтальных труб (пучки труб) 3 для перемещения по ним дымовых газов в одном направлении. Горизонтальные трубы 3 соединены с рубашками 4 и 5, расположенными с торцевых сторон резервуара 2 и разделенными на секции 6 горизонтальными полками 7. Одинарная секция 6 рубашки 4 соединена трубами 3 с нижней частью двойной секции 6 рубашки 5, расположенной с противоположной стороны резервуара 2, а верхняя часть этой секции соединена пучком труб с нижней частью следующей секции рубашки 4. Пучки труб и секции образуют змеевик, в котором пучки труб, находящиеся в объеме резервуара, периодически чередуются с большими объемами секций рубашек, образуя змеевик переменного сечения для перемещения потока дымовых газов навстречу проточной воде, заполняющей резервуар сверху и удаляемой из него снизу.

Второй теплообменник 8 располагается в непосредственной близости от первого. Резервуар 2 первого теплообменника связан через питатель 9 с резервуаром 10 второго теплообменника 8. Выход остывших дымовых газов первого теплообменника 1 через выходной патрубок 11 из верхней секции 6 рубашки 4 газоходом 12 связан с нижней секцией 13 рубашки 14 второго теплообменника 8. Верхняя секция 15 второго теплообменника 8 газоходом 16 связана с дымовой трубой (на рис. не показана). Сконденсированная кислота из нижней секции теплоутилизатора сливается в конденсатосборник (на рис. не показан). Регулировка температуры охлаждающей воды осуществляется с помощью питателя 9 первого теплообменника 1. Из второго теплообменника 8 вода удаляется насосом 17.

Утилизатор теплоты и очистки дымовых газов ТЭЦ работает следующим образом. Горячие дымовые газы с температурой 150–160 °С, поступающие в нижнюю часть первого модуля, перемещаются по трубам змеевика, охлаждаются и передают всю тепловую энергию парообразования влаги топлива, содержащуюся в них, через металлическую стенку труб змеевика воде, омывающей трубы. Охлаждающая

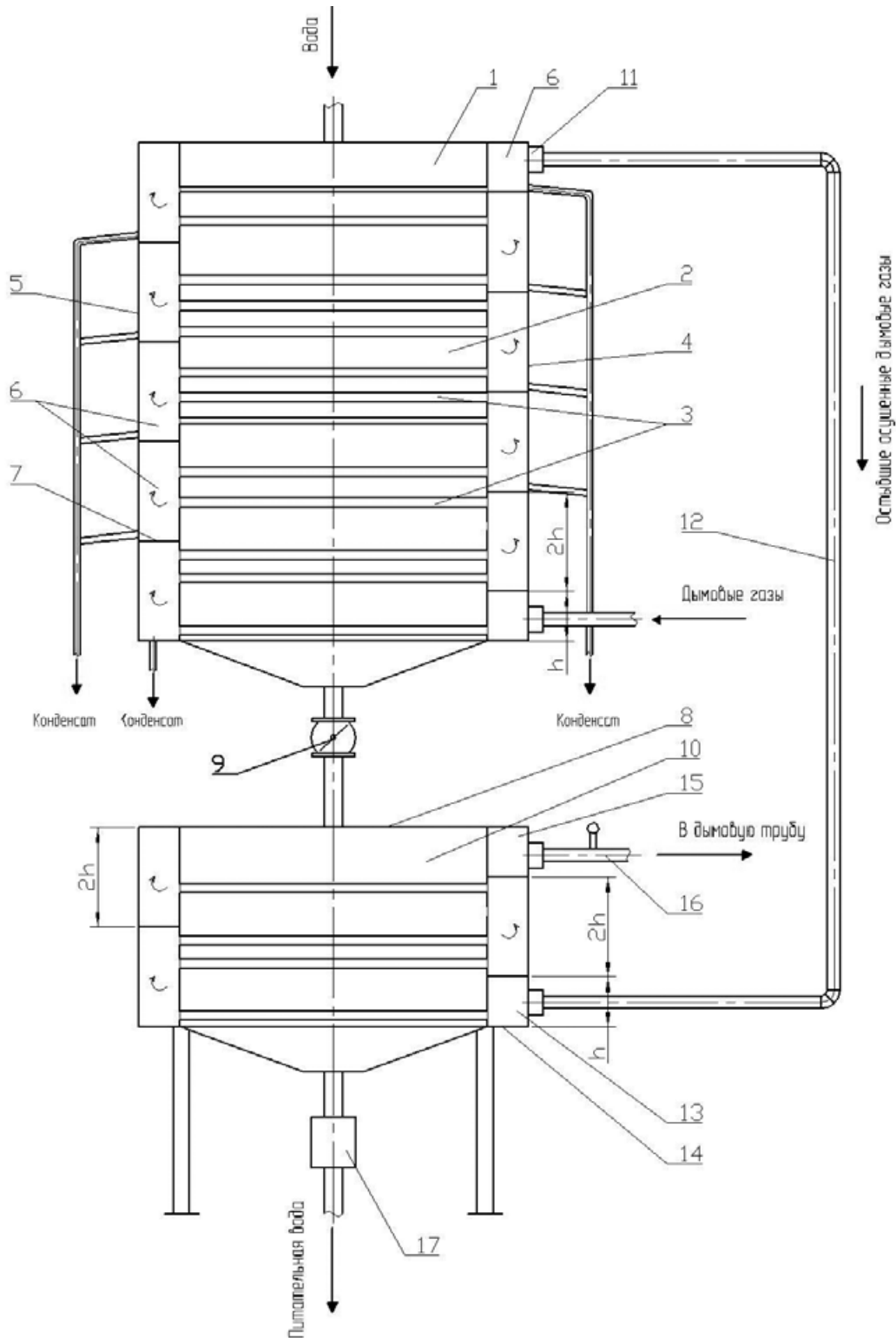


Рис. Утилизатор теплоты и очистки дымовых газов ТЭЦ

Fig. Heat exchanger and flue gas of heat and power plant

вода не контактирует с дымовыми газами, поэтому может без дополнительной обработки использоваться далее в паротурбинном цикле. Трубы змеевика находятся непосредственно в замкнутом объеме охлаждающей жидкости, поэтому происходит глубокое охлаждение

топочных газов до температуры 40–45 °С. При снижении температуры дымовых газов до 130–140 °С происходит конденсация всех паров серной и сернистой кислот. Конструкция теплоутилизатора обеспечивает конденсацию кислот и удаление конденсата через конденса-

тосборник кислот в промышленную канализацию. Трубы нижних секций, где происходит конденсация серной и сернистой кислот, необходимо изготавливать из антикоррозионного материала или с внутренним одноименным покрытием.

Выделение конденсата кислот из потока дымовых газов обусловлено уменьшением температуры дымовых газов ниже точки росы кислот, а удаление – снижением скорости газов в больших объемах секций рубашек 4 и 5, по сравнению с объемами труб 3, и увеличением плотности конденсата, по сравнению с плотностью в газообразном состоянии, а также многократным изменением направления движения газа.

Основная масса конденсата – конденсат водяных паров – выделяется при дальнейшем охлаждении очищенных от конденсата кислот дымовых газов до температуры, обеспечивающей целесообразность использования утилизатора и достаточную утилизацию теплоты парообразования влаги топлива. Конденсат водяного пара, очищенный от серной и сернистой кислот, без дополнительной обработки через конденсатосборник может направляться потребителям бытовой горячей воды.

В теплообменник 1 поступает весь объем дымовых газов и, следовательно, происходит очистка от серной и сернистой кислот и утилизация теплоты парообразования влаги топлива всех дымовых газов при снижении их температуры до величины, обеспечивающей целесообразность использования теплообменника 8. Часть утилизированной теплоты в теплообменнике 1 расходуется в теплообменнике 8 на повышение температуры дымовых газов, исключая конденсацию остатков паров в хвостовых участках системы удаления газов. Для подогрева дымовых газов в верхнюю часть резервуара 10 теплообменника 8 поступает нагретая в теплообменнике 1 охлаждающая вода. Остывшие осушенные дымовые газы из теплообменника 1 направляются в нижнюю одинарную секцию 13 теплообменника 8. Перемещаясь по змеевику теплообменника 8, дымовые газы нагреваются до температуры, исключая возможность конденсации остатков паров влаги в дымовой трубе, и через верхнюю одинарную секцию 15 теплообменника 8 направляются в дымовую трубу. На выходе из теплообменника 8 регистрируется температура дымовых газов. Регулировка температуры осуществляется расходом охлаждающей жидкости с помощью питателя 9. Из теплообменника 8 вода удаляется насосом 17.

Для проверки возможности использования двухмодульного утилизатора теплоты и очистки дымовых газов произведены теплотехнические расчеты котельной установки паропроизводительностью котла 30 т пара/ч (температура – 425 °С, давление – 3,8 МПа). Предполагалось, что в топке сжигается 17,2 т/ч фрезерного торфа влажностью 50% [6, 7].

В торфе влажностью 50% при сжигании образуется $G_{вл} = 8\,600$ кг/ч влаги, которая переходит в дымовые газы.

Расход сухих (дымовых) газов в кг в час (кг сух. г./ч)

$$G_{д.з.} = \alpha LG_{торфа} = 1,365 \times 3,25 \times 17\,200 = 76\,303,5 \text{ кг сух. г./ч,}$$

где $\alpha = 1,365$ – средний коэффициент избытка воздуха; $L = 3,25$ кг сух. г./кг торфа – теоретически необходимое количество воздуха для горения.

Дымовые газы на входе в теплоутилизатор имеют температуру $t_{1д.з.} = 150\text{--}160$ °С, поэтому принимаем $t_{1д.з.} = 150$ °С. При этом теплоемкость пара $c_n = 1,93$ кДж/кг °С, а теплоемкость сухих дымовых газов при температуре 150 °С – $c_2 = 1,017$ кДж/кг °С.

Влагосодержание дымовых газов при температуре 150 °С, d_{150} :

$$d_{150} = G_{вл.}/G_{д.г.} = 8\,600 / 76\,303,5 \times 10^3 = 112,7 \text{ г вл./кг сух. г.}$$

Энтальпия дымовых газов J_{150} :

$$J_{150} = c_{см150} \times t_{д.з.} + 2,5 d_{150} = 1,2345 \times 150 + 2,5 \times 112,7 = 466,9 \text{ кДж/кг,}$$

где $c_{см150}$ – теплоемкость дымовых газов (смеси):

$$c_{см150} = c_2 + 0,001 d_{150} \times c_n = 1,017 + 0,001 \times 112,7 \times 1,93 = 1,2345 \text{ кДж/кг °С [8].}$$

Дымовые газы охлаждаются до температуры $t_{2д.з.} = 40$ °С. Влагосодержание дымовых газов $d_{40} = d_{50} = 50$ г вл./кг сух. г.; энтальпия дымовых газов $J_{40} = 167,68$ кДж/кг.

В утилизаторе теплоты и очистки дымовых газов ТЭЦ нет байпасного газохода, через теплоутилизатор проходят все газы. Энтальпия дымовых газов при подогреве их до температуры 50 °С, J_{50} :

$$J_{50} = c_{см50} \times t_{д.з.} + 2,5 d_{50} = 1,114 \times 50 + 2,5 \times 50 = 180,7 \text{ кДж/кг сух. г.},$$

где $c_{см50} = 1,017 + 0,001 \times 50 \times 1,93 = 1,114 \text{ кДж/кг } ^\circ\text{С}$.

На выходе из теплообменника 1 температура дымовых газов $t_{д.з.} = 40 \text{ } ^\circ\text{С}$; влагосодержание – 50 г/кг сух. г. На I-d-диаграмме этому влагосодержанию соответствует температура точки росы, равная $t_{т.р.} = 40 \text{ } ^\circ\text{С}$. С повышением температуры дымовых газов во втором теплообменнике до $t_{д.з.} = 50 \text{ } ^\circ\text{С}$, конденсация остатков паров влаги топлива происходить не будет, так как влагосодержание не изменилось.

Затраты теплоты на подогрев дымовых газов от 40 до 50 °С, $Q_{под}$:

$$Q_{под} = (J_{50} - J_{40}) \times G_{д.з.} = 0,993 \times 10^3 \text{ МДж/ч.}$$

Теплота утилизации $Q_{утл.}$:

$$Q_{утл.} = (J_{150} - J_{40}) \times G_{д.з.} = 22,83 \times 10^3 \text{ МДж/ч.}$$

Таким образом, затраты теплоты на подогрев дымовых газов составляют 3,3% от общей теплоты утилизации.

Остаточная теплота утилизации $Q_{ост}$ с учетом расхода части теплоты на подогрев дымовых газов:

$$Q_{ост} = (22,83 - 0,993) \times 10^3 = 21,84 \times 10^3 \text{ МДж/ч.}$$

Выход конденсата $G_{конд}$ составляет:

$$G_{конд} = G_{д.з.}(d_{150} - d_{40}) = 4,78 \text{ т/ч.}$$

Количество теплоты, подведенное к теплоутилизатору $Q_{сум.}$:

$$Q_{сум.} = J_{150} \times G_{д.з.} = 35,6 \times 10^3 \text{ МДж/ч.}$$

Коэффициент полезного действия утилизации теплоты парообразования влаги топлива:

$$\text{КПД}_{\text{утл. Q}}^* = (Q_{ост} / Q_{сум.}) \times 100 = (21,84 / 35,6) \times 100 = 61,34\%.$$

Коэффициент полезного действия утилизации влаги топлива:

$$\text{КПД}_{\text{утл. Гвл.}}^* = (G_{конд} / G_{вл.}) \times 100 = 55,58\%.$$

Результаты расчетов в сравнении с теплоутилизатором, имеющим байпасный газоход [4, 6], представлены в таблице.

Таблица. Результаты сравнительных расчетов утилизаторов теплоты

Table. Results of comparative calculations of heat exchangers

Параметры	Теплоутилизатор с байпасным газоходом	Утилизатор теплоты и очистки дымовых газов ТЭЦ
Утилизированная теплота, МДж/ч	$18,26 \times 10^3$	$21,84 \times 10^3$
Выход конденсата, т/ч	3,825	4,78
КПД _{утл. Q} , %	51,3	61,34
КПД _{утл. Гвл.} , %	44,5	55,58

Выводы, заключение

Утилизатор теплоты и очистки дымовых газов с использованием дополнительного теплообменника вместо байпасного газохода позволяет:

- осуществить очистку всего объема дымовых газов от остатков серной и сернистой кислот;
- использовать охлаждающую воду без дополнительной обработки в паротурбинном цикле;
- для котла паропроизводительностью 30 т/ч увеличить выход конденсата до 4,78 т/ч с использованием конденсата без дополнительной обработки в качестве горячей воды;
- увеличить КПД утилизации влаги топлива до 55,58%;
- обеспечить более глубокую утилизацию теплоты парообразования влаги топлива: КПД утилизации теплоты составляет 61,34% с учетом того, что часть утилизированной теплоты затрачивается на подогрев дымовых газов, исключая конденсацию остатков паров влаги топлива в хвостовых участках системы удаления дымовых газов.

В приведенных выше расчетах рассматривается использование в качестве топлива торфа, содержащего 50% влаги. Однако следует иметь в виду, что при сжигании 1 м³ метана образуется 1,6128 кг воды и 1,971 кг углекислого газа. Поэтому при использовании природного газа вопрос утилизации теплоты влаги топлива столь же актуален.

Описанная конструкция утилизатора теплоты и очистки дымовых газов может применяться ограниченной функциональности – только для очистки газов от паров серной и сернистой кислот. Тогда его устройство значительно упрощается: второй теплообменник отсутствует; количество секций сокращается и ограничивается допустимой концентрацией содержания в дымовых газах серной и сернистой кислот. Дымовые газы из последней секции рубашки теплообменника направляются

прямо в дымовую трубу, где охлаждаются чуть ниже температуры 130–140 °С (точка росы серной и сернистой кислот), а для конденсации водяных паров в трубе требуется значительно меньшая температура, поэтому конденсация водяных паров не происходит. Кроме того, из-за значительного сокращения количества секций пучки труб с горячими дымовыми газами будут омываться более холодной водой, что повысит эффективность их охлаждения.

Библиографический список

1. *Кудинов А.А.* Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. – М.: Машиностроение, 2011. – 373 с.
2. *Аронов И.З.* Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа. – Л.: Недра (Ленингр. отд-е), 1990. – 280 с.
3. Пат. 2555919 (RU). (51) МПК F22В 1/18 (2006.01). Теплоутилизатор для глубокой утилизации тепла дымовых газов поверхностного типа и способ его работы / О.С. Горфин, Б.Ф. Зюзин // Открытия. Изобретения. – 2015. – № 19.
4. *Горфин О.С.* Устройство для глубокой утилизации тепла дымовых газов поверхностного типа на примере сжигания фрезерного торфа / Труды Инсторфа. – 2014. – № 10 (63). – С. 48–51.
5. Пат. 2610355 (RU). (51) МПК F22В 1/18 (2006/01). Утилизатор теплоты и конденсата дымовых газов ТЭЦ / О.С. Горфин, Б.Ф. Зюзин, М.С. Назаров // Открытия. Изобретения. – 2017. – № 4.
6. *Горфин О.С., Зюзин Б.Ф., Михайлов А.В.* Устройство для глубокой утилизации тепла дымовых газов поверхностного типа / Труды Инсторфа. – 2015. – № 11 (64). – С. 44–48.
7. *Горфин О.С., Михайлов А.В.* Машины и оборудование по переработке торфа. Ч. 1. Производство торфяных брикетов: учебное пособие. – Тверь: ТвГТУ, 2013. – 248 с.
8. *Наумович В.М.* Искусственная сушка торфа. – М.: Недра, 1984. – 222 с.

УДК 681.56:[662.73.047:622.331]

Лебедев В.В.

Лебедев Владимир Владимирович, профессор кафедры электронных вычислительных машин Тверского государственного технического университета (ТвГТУ), канд. техн. наук, доцент. lebedev_vl.69@mail.ru

Пухова О.В.

Пухова Ольга Владимировна, доцент кафедры геотехнологии и торфяного производства Тверского государственного технического университета канд. техн. наук, доцент. owpuhova@mail.ru

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КАМЕРНОЙ СУШКОЙ ТОРФЯНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ БЛОКОВ

Аннотация. Проведен анализ особенностей технологического процесса сушки строительных блоков из торфяного сырья. Рассмотрены основные подходы построения адаптивных систем управления технологическим процессом сушки. Получены характеристики и требования к математической модели объекта, отображающие технологический процесс и его функционирование. Предложена структура адаптивной системы управления камерной сушкой торфяных строительных блоков. Адаптивная система позволяет осуществлять автоматический контроль технологических параметров сушки и поддерживать заданные (оптимальные) технологические режимы, улучшать качество готовой продукции и существенно снизить затраты сырья, материалов и энергии на производство единицы продукции торфяного строительного блока.

Ключевые слова: адаптивная система, автоматика, управление, камерная сушка, торф, строительные блоки, математическая модель.

Lebedev V.V.

Lebedev Vladimir V., Dr., Professor of the Chair of Electronic and Computing Machinery of the Tver State Technical University

Puchova O.V.

Pukhova Olga V., Dr., Associate Professor of the Chair of Geotechnology and Peat Production of the Tver State Technical University

ADAPTIVE MANAGEMENT OF CHAMBER DRYING OF PEAT BUILDING BLOCKS

Abstract. The analysis of features of technological process of drying of construction blocks of peat raw materials is carried out. The main approaches of creation of adaptive control systems of technological process of drying are considered. Characteristics and requirements to mathematical model of an object displaying technological process and its functioning are received. The structure of an adaptive control system of chamber drying of peat construction blocks is offered. The adaptive system allows to exercise automatic control of technological parameters of drying and to support the set (optimum) technological modes, to improve quality of finished products and to cut raw materials and energy consumption for a unit of the peat construction block.

Key words: adaptive system, automation, control, chamber drying, peat, building blocks, mathematical model.

Полнота охвата рационального использования торфяного фонда определяет возможные направления использования торфяных ресурсов конкретного торфяного месторождения [1]. Природные условия и их изменение от техногенных воздействий на месторождение учитывается при проектировании и работе торфодобывающих предприятий.

В современных условиях весьма актуальными являются вопросы повышения качества продукции, экономии энергетических ресурсов, интенсификации использования технологического оборудования. Одно из направлений решения этих задач – создание систем автоматического контроля и управления технологическими процессами на базе современной электронной аппаратуры.

Торф – это сложная многокомпонентная полидисперсная высокомолекулярная система. Сложность торфа объясняется составом, так как он состоит из органической, неорганической и водной составляющих. Многокомпонентность определяется составом каждой составляющей. Так, органическая часть состоит из битумов, углеводов, гуминовых кислот, целлюлозы и лигнина. Неорганическая часть представлена золой, которая состоит из макро- и микроэлементов. Водная составляющая представлена низко- и высокомолекулярными соединениями.

Первостепенное место при добыче и переработке торфяного сырья занимают процессы, связанные с удалением значительного количества воды на различных стадиях производства [2].

Сушка торфяного сырья является одним из основных этапов, определяющих качество конечного продукта. На этой стадии предусматривается измерение влажности, регулирование расхода поступающего на сушку торфяного сырья, измерение и регулирование температуры топочных газов, измерение температуры в сушилке. При реализации распределенных систем автоматического управления технологическим процессом (АСУТП) сушки торфяного сырья в наиболее полном объеме следует обеспечить:

- автоматизацию транспортных устройств для загрузки, выгрузки и перемещения торфяного сырья;
- автоматизацию логико-программного управления вспомогательными устройствами (вентиляторами, электроприводами, и т. п.);

- автоматическое управление режимами сушки с учетом нестационарности динамических и статических свойств объекта управления по управляемым переменным.

Из перечисленных задач наиболее важной и сложной с точки зрения разработки алгоритмического и программного обеспечения является задача автоматического управления процессом сушки торфяного сырья. Такие отличительные особенности сушильных установок, как многомерность, наличие сложного взаимовлияния каналов, нестационарность процессов и априорная неопределенность их математических описаний, а также наличие разнообразных контролируемых и неконтролируемых возмущающих воздействий, позволяют отнести сушильные установки к сложным объектам управления, для которых стандартные структуры систем автоматического регулирования (САР) обеспечивают лишь удовлетворительное качество управления и требуют постоянного участия оператора.

Перечисленные особенности технологического процесса сушки торфяного сырья, в частности его нестационарность, приводят к необходимости рассмотрения возможности применения адаптивных систем автоматического управления (САУ) для автоматизации данного процесса.

В настоящее время адаптивные системы находят все большее применение для управления объектами и технологическими процессами. Расширение области их применения обусловлено, прежде всего, экономическими причинами: более выгодно поручить системе автоматического управления сбор и обработку информации об объекте управления в процессе его функционирования, чем получать ее с помощью специально поставленных экспериментов.

При построении адаптивных систем управления возможны два подхода [3]: декомпозиция адаптивного управляющего устройства на оптимальный регулятор и устройство самонастройки, и второй – применение алгоритмов дуального управления, т. е. алгоритмов, осуществляющих как управление объектом, так и его изучением.

Адаптивная система [4] первого типа состоит из двух контуров (рис. 1): самонастройки и основного. Контур самонастройки выполняет следующие основные операции: определяет текущие динамические параметры системы, вырабатывает сигнал самонастройки и перестраивает параметры в соответствии с выбранным критерием.

В соответствии с рис. 1 контур самонастройки включает в себя анализатор процесса (АП); анализатор воздействий (АВ), вычислительное устройство (ВУ) и исполнительный элемент (ИЭ).

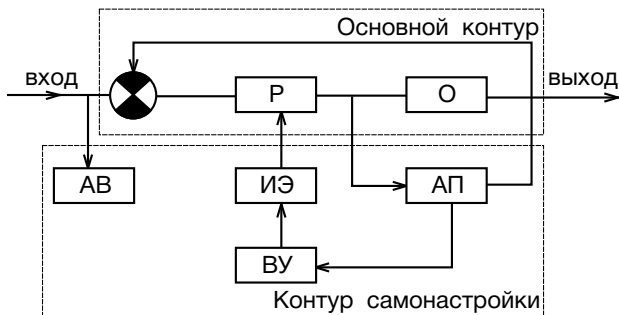


Рис. 1. Структурная схема самонастраиваемой системы: P – регулятор; O – объект; АП – анализатор процесса; АВ – анализатор воздействий; ВУ – вычислительное устройство; ИЭ – исполнительный элемент

Fig. 1. Structural scheme of self-tuning systems: P – controller; O – object; АП – process analyzer; АВ – influences analyzer; ВУ – computing device; ИЭ – executive element

Анализатор процесса служит для полного или частичного определения динамических свойств объекта на основе текущей информации. Когда информации о контролируемых параметрах недостаточно для оценки процесса, то в анализатор процесса включают генератор пробных сигналов. После этого анализатор воздействий определяет причину отклонения динамических свойств процесса, от заданных (оптимальных) значений. В вычислительном устройстве хранится или вырабатывается условие самонастройки (критерий). Исполнительный элемент передает необходимое воздействие с выхода контура самонастройки на изменяемую часть регулятора. Рассмотренные элементы самонастраиваемой системы не строго обязательны, и их количество может изменяться в зависимости от степени совершенства системы самонастройки и критерия оптимизации.

Адаптивной системой второго типа является адаптивная система управления и с идентификатором в цепи обратной связи (АСИ). В таких системах одновременно с управлением происходит уточнение модели объекта, что позволяет использовать ее для управления нестандартными объектами, параметры которых изменяются случайным образом. Применение АСИ дает возможность исследовать объект вне контура управления, а результаты исследования использовать в оперативном идентификаторе. Блок-схема АСИ представлена на рис. 2.

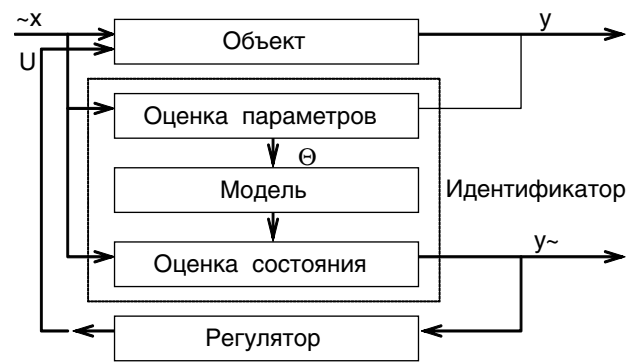


Рис. 2. Блок-схема САУ с идентификатором: $\sim x$ – вход в объект (входной сигнал); y – выход объекта; $y\sim$ – оценка состояния; Θ – оценка параметров; U – сигнал обратной связи

Fig. 2. The flowchart of system of automatic control with the identifier: $\sim x$ – input in an object (input signal); y – output; $y\sim$ – state assessment; Θ – parameters assessment; U – feedback signal

При разработке адаптивных систем управления технологическими процессами [5, 6] важнейшую роль играет получение математической модели объекта, которая отображает существенные стороны процесса его функционирования. Математическая модель технологического процесса (ТП), используемая для целей управления, должна:

- быть адекватной исследуемому объекту управления с точностью, необходимой для целей управления;
- быть информативной для исследования систем управления;
- отражать связь реальных физических управляющих воздействий с параметрами модели.

Построение модели объекта может осуществляться двумя способами: аналитическим и экспериментальным.

Аналитический путь получения математических моделей на основе закономерностей, характеризующих рассматриваемый объект, трудоемок. Кроме того, сложность подобного математического описания и переход от него к уравнениям «вход-выход», а также наличие в моделях переменных, о которых нет информации, определяют трудности их использования для управления в реальных условиях производства. Это обусловлено, с одной стороны, отсутствием измерительных приборов, а с другой – тем, что «физические» составляющие управления выводятся для идеальных условий функционирования объекта.

Другой путь построения математических моделей технологических процессов – это идентификация или экспериментальный

метод определения их параметров и структуры, обеспечивающий совпадение выходных координат модели и процесса при одинаковых входных воздействиях.

Задачами идентификации объектов в торфяной технологии являются:

- реализация процедуры построения математического описания объекта, то есть определение параметров функционального оператора;
- оценка трудноизмеряемых параметров процесса;
- построение адаптивных систем автоматического управления.

Получение математической модели объекта является только одним из этапов решения задачи управления сложными технологическими процессами, таких как сушка торфяных строительных блоков, которая помимо этого включает: формулировку целей управления, синтез, реализацию и адаптацию всей системы управления. Выделение процесса адаптации в качестве отдельного этапа задачи управле-

ния подчеркивает, что без адаптации нельзя эффективно управлять сложными объектами.

Синтез адаптивной системы состоит из следующих стадий:

- определения закона управления;
- выбора структуры системы управления; выбора алгоритма адаптации;
- обоснования работоспособности системы.

Основные задачи, решаемые системой адаптивного управления камерной сушки торфяных строительных блоков:

- 1) контроль технологических параметров процесса;
- 2) регулирование сушильной среды в камере;
- 3) идентификация объекта управления;
- 4) синтез режима сушки;
- 5) определение текущей влажности пилот-материалов.

Предложенная структура адаптивной системы управления камерной сушкой торфяных строительных блоков (рис. 3) является двухуровневой.

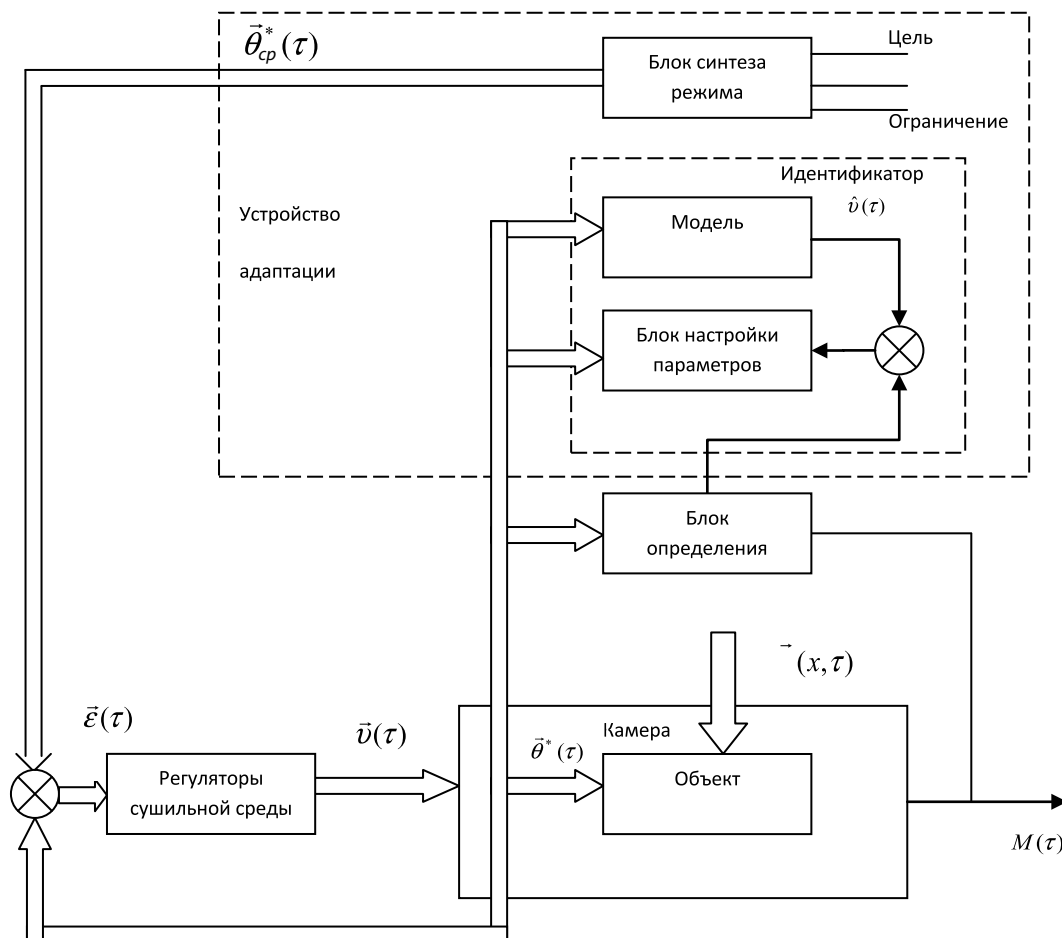


Рис. 3. Структурная схема адаптивной системы управления камерной сушкой торфяных строительных блоков

Fig. 3. Structural scheme of adaptive control system by chamber dryer of peat building blocks

В соответствии с рис. 3 структура включает основной контур и контур адаптации. Задачи контроля технологических параметров и регулирования сушильной среды реализуется на нижнем уровне иерархии системы (основной контур управления). Регулирование осуществляется по отклонениям контролируемых параметров сушильного агента от заданных технологических значений. На верхнем уровне системы осуществляется адаптивная оптимизация процесса камерной сушки путем оперативного синтеза режима с учетом состояния объекта управления. В результате синтеза определяются значения параметров сушильного агента, которые необходимо поддерживать в камере. Эти значения используются в виде установок регуляторов сушильной среды.

Оптимизация процесса требует непрерывной идентификации объекта управления. Задачу идентификации система решает методом адаптивной модели, в качестве которой используется модель сушки торфяного сырья. Схема адаптации аналитической модели к реальному процессу позволяет использовать модель сушки для исследования динамики внутренних процессов торфяного сырья. Входными параметрами модели являются параметры сушильного агента в камере и текущая средняя влажность торфа, контролируемая с помощью весового устройства.

Таким образом, с использованием современной микропроцессорной электронной аппаратуры управления и контроля за технологическими параметрами предложена адаптивная система управления сушильной камерой периодического действия для сушки торфяных строительных блоков. Адаптивная

система позволит осуществлять автоматический контроль технологических параметров и поддержание заданных (оптимальных) технологических режимов, улучшить качество готовой продукции и существенно снизить затраты сырья, материалов и энергии на производство единицы продукции (торфяного строительного блока).

Библиографический список

1. *Панов В.В., Мисников О.С.* Современные тенденции развития торфяной отрасли России // Труды Инсторфа. – 2015. – № 11 (64). – С. 3–12.
2. *Пухова О.В., Исаева Е.Ю.* Сравнительный анализ процессов сушки различных видов торфяной продукции // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: МГГУ, 2006. – Т. 11. – С. 225–230.
3. *Караваева Н.М.* Автоматизация торфяного производства: Учеб. для вузов / Под ред. Н.М. Караваевой – М.: Недра, 1991. – 284 с.
4. *Лебедев В.В.* Адаптивная система управления сушильными камерами периодического действия. Дис. ... канд. техн. наук. – Тверь: ТвГТУ, 2000. – 158 с.
5. *Григорьев В.А., Лебедев В.В., Хабаров А.Р.* Синтез параметрических систем управления нестационарными динамическими объектами // Сборник статей 14-й Междун. научно-тех. конф. «Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике»: сб. науч. ст. – Пенза, 2014. – С. 78–80.
6. *Аксенов Г.С., Фомин В.Н.* Синтез адаптивных регуляторов на основе метода функций Ляпунова // Автоматика и телемеханика. – 1982. – № 6. – С. 126–137.

УДК 622.331

Горячёв В.И.

Горячёв Валентин Иванович, д. т. н., профессор кафедры инженерной графики Тверского государственного технического университета (ТвГТУ). Тверь, ул. Академическая, 12

Михеев И.И.

Михеев Игорь Иванович, доцент кафедры инженерной графики ТвГТУ. mikheev1937@yandex.ru

К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ СКОРОСТНОГО РЕЖИМА ВАЛКОВО-ДИСКОВОГО ГРОХОТА ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ КРУПНОЙ ФРАКЦИИ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА ДЛЯ КИПОВАНИЯ

Аннотация. Предложен скоростной режим валково-дискового грохота для выделения крупной фракции фрезерного торфа для кипования. Частота вращения валов меняется волнообразно от начала к концу движения фрезерного торфа сначала с увеличением, затем с замедлением и снова с увеличением.

Ключевые слова: валково-дисковый грохот, кипование, торф, скоростной режим.

Goryachyov V.I.

Goryachyov Valentin I., Dr., Professor of the Chair of Engineering Graphics of the Tver State Technical University. Tver, Academicheskaya, 12

Mikheyev I.I.

Mikheyev Igor I., Associate Professor of the Chair of Engineering Graphics of the Tver State Technical University

TO THE QUESTION OF JUSTIFICATION OF THE HIGH-SPEED MODE OF THE ROLL AND DISK ROAR FOR ALLOCATION OF LARGE FRACTION OF MILLING PEAT FOR PILLING

Abstract. The high-speed mode of roll and disk roar for separation of large fraction of milling peat for pilling is offered. Rotating speed of shaft changes wavy from the beginning to the end of movement of milling peat with increase, then with decrease and again with increase.

Keywords: roll and disk screening machine, pilling, peat, high-speed mode.

Производство из фрезерного малоразложившегося торфа со степенью разложения до 25% используется в различных отраслях народного хозяйства. Полученный торф транспортируется, в том числе, в виде кип [1], состоящих из смеси частиц фрезерного торфа со средневзвешенным диаметром от 6 до 12 мм, для получения которых целесообразно использовать валково-дисковые грохоты типа ГВД [2].

Для проверки предложенного решения был разработан и изготовлен 9-вальный опытно-промышленный валково-дисковый грохот, конструкция которого (рис. 1) по принципу работы аналогична известным техническим решениям [2, 3]. Частота вращения валов с дисками изменялась по длине грохота в соответствии с рекомендациями [2]: каждый последующий вал вращался в 1,15 раза быстрее предыдущего. В предложенной конструкции частота вращения изменялась от $n_1 = 71$ об/мин на первом валу до $n_9 = 217$ об/мин на 9-м валу (рис. 2).

Проведенные испытания показали, что выделить на грохоте смесь крупных частиц торфа средневзвешенным диаметром 7,0 мм и более (пригодных для кипования) практически невозможно, хотя в исходном торфе таких фракций содержится около 70%. Причиной этого следует считать большое измельчение крупных фракций при оборотах валов выше 100 об/мин, что приводит к увеличению динамических нагрузок на частицы торфа, а также значительный унос частиц средневзвешенного диаметра от 8 до 12 мм в отсев из-за больших окружных скоростей дисков. При этом кипы, изготовленные из полученного продукта, не соответствовали предъявляемым к ним требованиям – были излишне тяжелыми и недостаточно прочными.

Таким образом, испытания показали, что существующий скоростной режим вращения дисков с последовательным нарастанием числа оборотов неприемлем для получения продукта, пригодного к кипованию [3]. Поэтому необходим анализ скоростного режима вращения дисков с принятием соответствующих решений, обеспечивающих получение смеси частиц фрезерного торфа со средневзвешенным диаметром от 6 до 12 мм, что соответствует требованиям технических условий.

Исходя из изложенного, предложен валково-дисковый грохот с волнообразным изменением частоты вращения валов – сначала

обороты увеличиваются, затем уменьшаются и снова увеличиваются. При этом частота вращения не превышает 120 об/мин.

На рис. 1 представлена схема валково-дискового грохота (а – вид спереди; б – вид сверху), который состоит из девяти валов 1–9, которые установлены на корпусе 10. На валах насажены в шахматном порядке диски 11. Валы и диски образуют просеивающую поверхность в виде просеивающих ячеек 12, под которой установлен бункер 13.

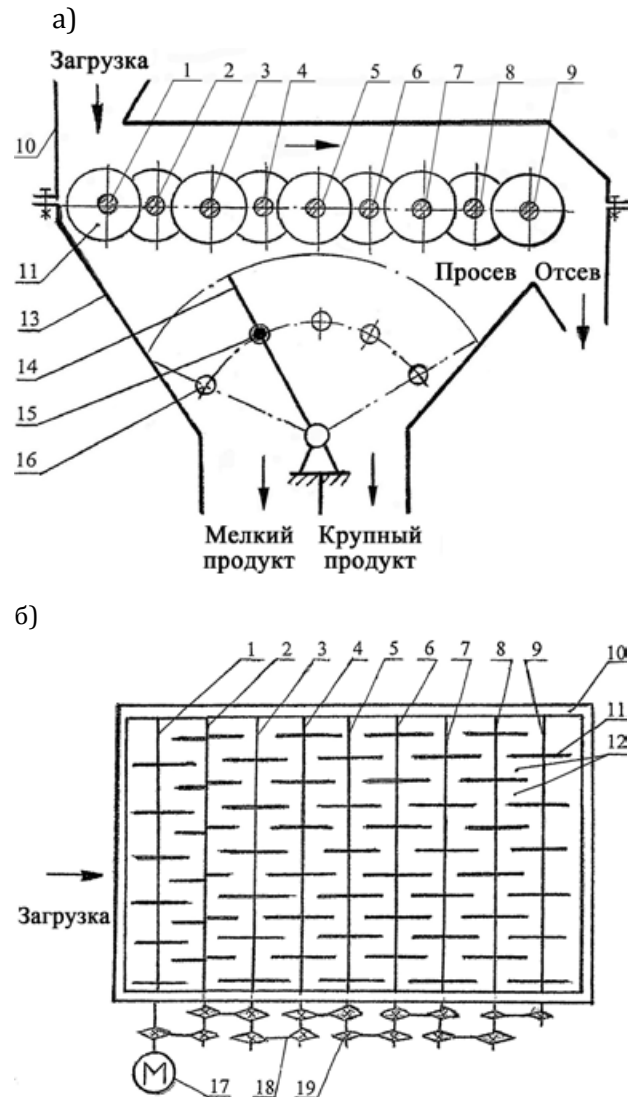


Рис. 1. Схема опытно-промышленного валково-дискового грохота: 1–9 – валы; 10 – корпус; 11 – диски; 12 – ячейки; 13 – бункер; 14 – дроссельная заслонка; 15 – задвижка; 16 – отверстия под задвижку; 17 – привод; 18 – цепные передачи; 19 – звездочки

Fig. 1. Scheme of a trial roll and disk roar: 1–9 – shaft; 10 – case; 11 – disks; 12 – cells; 13 – box; 14 – butterfly valve; 15 – latch; 16 – openings under a latch; 17 – drive; 18 – chain passes; 19 – asterisks

В бункере установлена дроссельная заслонка 14 с задвижкой 15, которая фиксируется в нужном положении в одном из отверстий 16, расположенных по окружности, центр которой находится на оси вращения дроссельной заслонки.

Валы с 1 по 9 приводятся во вращение приводом 17, при этом вращение от вала к валу передается с помощью цепных передач 18. Изменение частоты вращения валов осуществляется изменением числа зубьев звездочек 19 цепных передач 18. Направление подачи и движения материала по грохоту показано стрелками.

Работа валково-дискового грохота для сортировки фрезерного торфа происходит следующим образом.

Дроссельную заслонку 14 устанавливают в положение, соответствующее режиму работы грохота. Включают электропривод 17 и подают равномерно фрезерный торф на просеивающие ячейки 12. Частицы торфа и другие нетехнологические включения (древесные остатки, металлические и другие включения), не прошедшие сквозь ячейки грохота, отводятся в отсев, а просев дроссельной заслонкой 14 делится на мелкий со средневзвешенным диаметром смеси частиц меньше 6 мм, и крупный со средневзвешенным диаметром смеси частиц от 6 до 12 мм.

На рис. 2 представлены графики 4 вариантов скоростного режима частоты вращения 9 валов: 1 – до модернизации (рис. 2а) и 2–4 – после модернизации (рис. 2б).

Как было отмечено выше, скоростной режим до модернизации (рис. 2а) не позволяет получать смесь крупных частиц торфа средневзвешенным диаметром 7,0 мм и более, пригодных для кипования.

В предложенном скоростном режиме (рис. 2б) вращение валов с 1-го по 3-й с увеличивающейся частотой вращения валов до величины не более 120 об/мин обеспечивает беззавальную работу грохота в зоне подачи фрезерного торфа на просеивающую поверхность с выходом в просев мелкой фракции со средневзвешенным диаметром смеси частиц преимущественно менее 6 мм.

На последующих валах происходит выделение крупной фракции фрезерного торфа.

При этом вращение валов с 3-го по 4-й с постоянной частотой вращения обеспечивает выход в просев преимущественно фракции со средневзвешенным диаметром смеси частиц от 6 до 8 мм.

Вращение валов с 4-го вала по 6-й вал с уменьшающейся частотой вращения и с 6-го вала по 7-й вал с постоянной частотой вращения снижает скорость движения фрезерного торфа по просеивающей поверхности, что уменьшает динамическое ударное действие дисков на частицы торфа, обеспечивая поступление в отсев фракции преимущественно со средневзвешенным диаметром смеси частиц от 8 до 10 мм.

Дальнейшее вращение валов с 7-го по 8-й с увеличивающейся частотой вращения и вращение валов с 8-го по 9-й с постоянной частотой вращения способствует просеву фракции преимущественно со средневзвешенным диаметром смеси частиц от 10 до 12 мм при малых динамических ударных нагрузках дисков на частицы фрезерного торфа.

Испытания показали, что наиболее эффективным является 3-й вариант скоростного режима.

На рис. 3 представлены графики изменения выхода просева крупной фракции $P\%$ и изменения средневзвешенного диаметра D , мм смеси частиц по длине грохота при производительности 20 т/ч при наиболее эффективном 3-м варианте скоростного режима, а также график изменения выхода просева крупной фракции P^* , % при первом варианте скоростного режима (до модернизации). Графики, представленные на рис. 3, позволяют определять процентный выход крупной фракции $P\%$ по средневзвешенному диаметру D , мм смеси частиц или наоборот, при предложенном скоростном режиме.

На рис. 3 показан пример определения в процентах P , % выхода крупного продукта, имеющего смесь торфяных частиц средневзвешенного диаметра $D = 7,2$ мм (точка A). Из точки A проводим горизонталь до пересечения с графиком D в точке B . Затем проводим вертикаль до пересечения с графиком P в точке C , из которой проводим горизонталь вправо до пересечения с осью P (точка E). Получаем $P = 56\%$ выхода в просев крупного продукта со средневзвешенным диаметром смеси частиц $D = 7,2$ мм.

Если требуется определить параметры просева смеси крупного продукта, выход которого составляет, например, $P = 22\%$, то, выполняя построения справа налево в обратной последовательности (точки K , M , N , T), получаем средневзвешенный диаметр крупного продукта со средневзвешенным диаметром смеси частиц $D = 10,2$ мм.

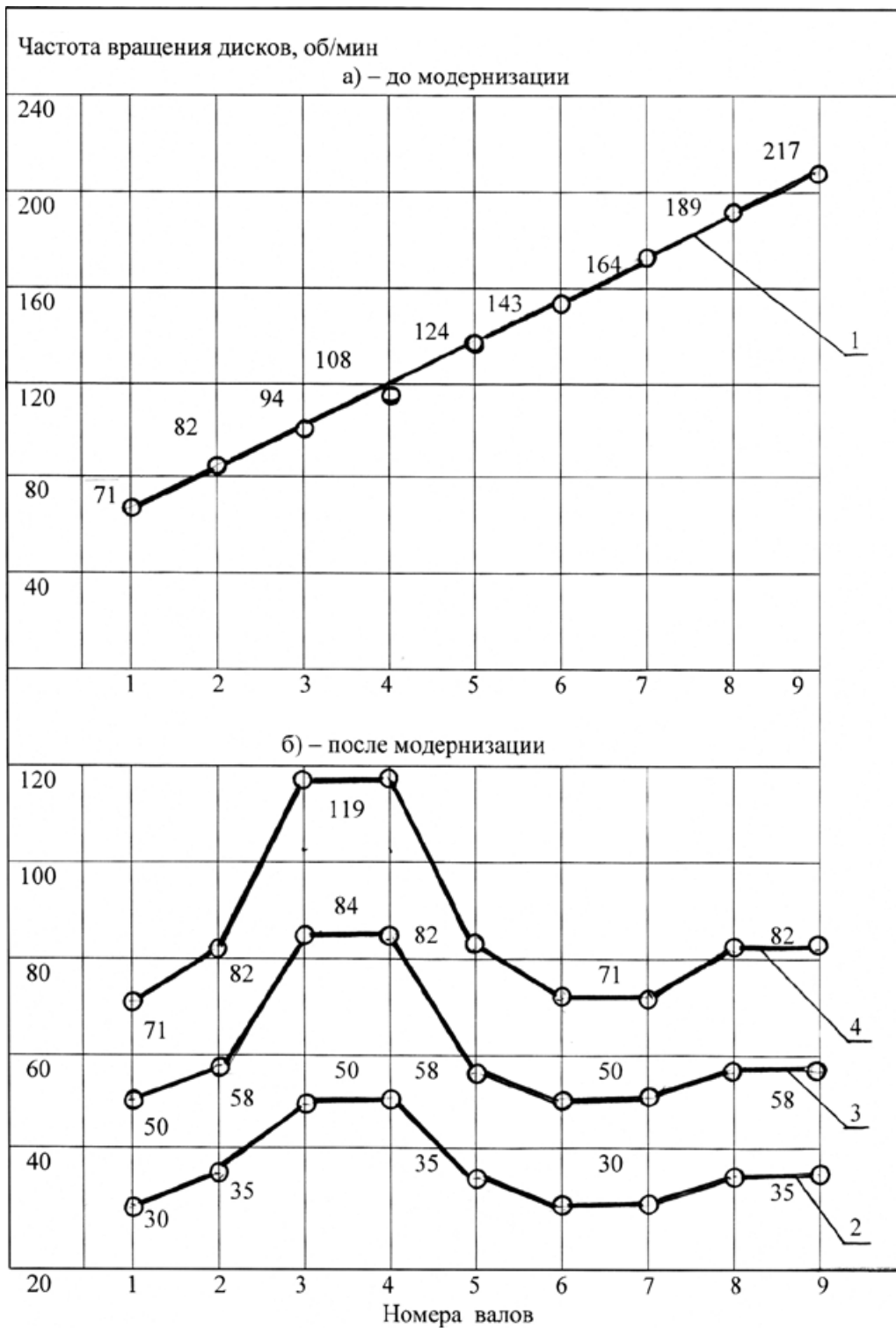


Рис. 2. Скоростной режим валково-дискового грохота до и после модернизации

Fig. 2. High-speed mode of a roll and disk roar before and after modernization

На рис. 3 показан также график изменения процентного содержания средневзвешенных диаметров частиц фрезерного торфа P^* , % при скоростном режиме до модернизации (рис. 2а), т. е. при частоте вращения валов с возрастанием от 71 об/мин на первом валу до 217 об/мин на последнем с последовательным увеличением частоты вращения смеж-

ных валов в 1,06–1,1 раза. Из графика P^* , % видно, что возрастающая частота вращения валов способствует измельчению частиц торфа до такой степени, что средневзвешенный диаметр смеси частиц самой крупной фракции составляет всего 6,5 мм, а ее содержание в процентном отношении составляет порядка 6%.

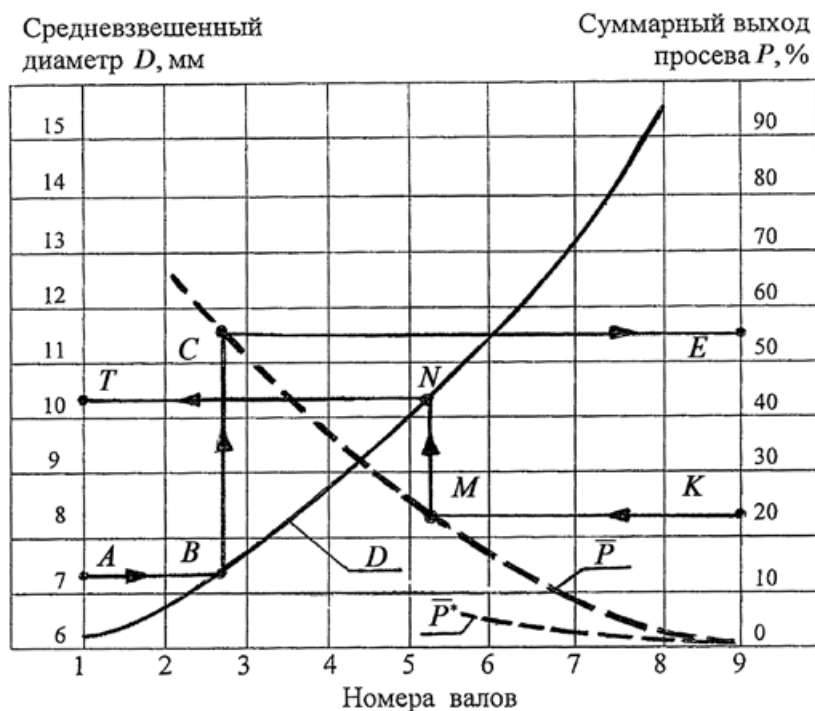


Рис. 3. Графики изменения выхода просева крупной фракции P , % и изменения средневзвешенного диаметра D , мм смеси частиц по длине грохота

Fig. 3. Graphics of change of output of sieving of large fraction P , % and change of the average diameter D , mm of mix of particles on roar length

Выводы

1. Представлен валково-дисковый грохот, в котором скоростной режим вращения валов с насаженными на них дисками обеспечивает выделение крупной фракции фрезерного торфа для кипования.

2. Изменение скоростного режима вращения с уменьшением частоты вращения валов в среднем в 2,5 раза по сравнению с имеющимися оборотами [2] и с волнообразным изменением частоты вращения валов от места загрузки к месту выгрузки увеличивает количество получаемой крупной фракции фрезерного торфа с средневзвешенным диаметром смеси частиц от 6 до 12 мм для кипования.

3. Переработка торфяного сырья со степенью разложения до 25% при предложенном скоростном режиме расширяет сырьевую базу

для производства кипованной продукции, в том числе для поставки на экспорт.

Библиографический список

1. Башилов А.М. Патент на изобретение РФ № 2184759. Способ подготовки фрезерного торфа для кипования / А.М. Башилов, В.И. Горячев // Оpubл. 10.07.2002. Бюл. № 19.
2. Горфин О.С. Машины и оборудование по переработке торфа. Ч. 1. Производство торфяных брикетов: уч. пособ. / О.С. Горфин, А.В. Михайлов // Изд. 2-е, доп. и перераб. – Тверь: ТвГТУ, 2013. – 248 с.
3. Горячев В.И. К вопросу обоснования применения валково-дискового грохота для подготовки к кипованию фрезерного малоразложившегося торфа / В.И. Горячев, И.И. Михеев // Труды Инсторфа. – 2016. – № 14 (67). – С. 22–26.

УДК 622.23.05:622.7

Фомин К.В.

Фомин Константин Владимирович, д. т. н., заведующий кафедрой механизации природообустройства и ремонта машин Тверского государственного технического университета (ТвГТУ). 170023, Тверь, Академическая, 12. fomin_tver@mail.ru

Крылов К.С.

Крылов Константин Станиславович, к. т. н., доцент кафедры механизации природообустройства и ремонта машин ТвГТУ. krylovks74@mail.ru

Харламов В.Е.

Харламов Вячеслав Евгеньевич, к. т. н., доцент кафедры механизации природообустройства и ремонта машин ТвГТУ

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ МОМЕНТА НАГРУЖЕНИЯ НА РАБОЧЕМ ОРГАНЕ МАШИНЫ ДЛЯ ГЛУБОКОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ДРЕВЕСНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Аннотация. В процессе эксплуатации машин глубокого фрезерования нагрузки на их рабочие органы имеют резко переменный, случайный характер. В статье предложены модели формирования момента сопротивления на рабочем органе машины глубокого фрезерования при взаимодействии с древесными включениями и получены выражения для определения его вероятностных характеристик с учетом конструкции фрезы, режимов работы фрезерующего агрегата и параметров распределения древесных включений в залежи.

Ключевые слова: машина глубокого фрезерования, рабочий орган, момент сопротивления, динамические нагрузки, вероятностные характеристики.

Fomin K.V.

Fomin Konstantin V., Dr., Prof., Head of the Chair of Mechanization of Environmental and Repair of Machines of the Tver State Technical University (TSTU). 170023, Tver, Academicheskaya, 12

Krylov K.S.

Krylov Konstantin. S., Dr., Associate Professor of the Chair of Mechanization of Environmental and Repair of Machines of the Tver State Technical University

Harlamov V.E.

Harlamov Vyacheslav E., Dr., Associate Professor of the Chair of Mechanization of Environmental and Repair of Machines of the Tver State Technical University

MODELING AND ANALYSIS OF THE LOADING MOMENT ON THE WORKING BODY OF THE MACHINE FOR DEEP MILLING AT INTERACTION WITH WOOD INCLUSIONS

Abstract. In the process of operation of deep milling machines, the loads on their working bodies have a sharply variable and random character. The article proposes models for forming the moment of resistance on the working body of the deep milling machine when interacting with wood inclusions and obtaining expressions for determining its probabilistic characteristics taking into account the design of the milling cutter, the operating modes of the milling unit and the distribution parameters of wood inclusions in the deposit.

Key words: deep milling machine, working body, moment of resistance, dynamic loads, probability characteristics.

Мшины глубокого фрезерования нашли широкое применение в различных отраслях промышленности (торфяной [1], лесной, в сельском хозяйстве и мелиорации).

При выполнении технологической операции происходит измельчение грунта совместно с произрастающей на поверхности лесохозяйственной растительностью, ее корневой системой и пнями.

Структурная неоднородность обрабатываемой среды, изменчивость ее физико-механических свойств, наличие древесных включений определяют резко переменный, случайный характер момента сопротивления на рабочем органе [2], что в свою очередь приводит к значительным динамическим нагрузкам в элементах их привода и конструкции [3]. Это служит одной из причин недостаточной надежности эксплуатируемых машин [2, 3].

При этом основной вклад дает нагрузка, возникающая на фрезе при взаимодействии с древесными включениями (рис. 1). Она может быть представлена в виде последовательности импульсов со случайными параметрами, каждый из которых состоит из нескольких соответствующих отдельным актам взаимодействия ножей с одиночным пнем [2, 4]

$$M(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S M_{niks}(t - t_{niks}),$$

где n – номер древесного включения; I – число типов условий взаимодействия рабочего органа с древесными включениями (расположение пня по отношению к рабочему органу, форма пня, глубина залегания); K – число плоскостей резания, участвующих во взаимодействии с одиночным древесным включением; S – число актов взаимодействия режущих элементов одной плоскости резания с одиночным древесным включением; $M_{niks}(t)$ – функция, описывающая форму импульса нагружения на режущем элементе, при взаимодействии с n -м древесным включением i -й формы, k -й плоскости резания, соответствующая s -му акту взаимодействия; t_{niks} – интервал времени между началом координат и импульсом, соответствующим s -му акту взаимодействия режущего элемента k -й плоскостью резания.

Величины K и S являются случайными и определяются размерами древесных включений, их формой и глубиной залегания, а также режимами работы фрезерующего агре-

гата. При этом интервалы между импульсами нагрузки при взаимодействии с одиночным древесным включением будут зависеть от его места попадания по ширине рабочего органа и схемы расстановки режущих элементов.

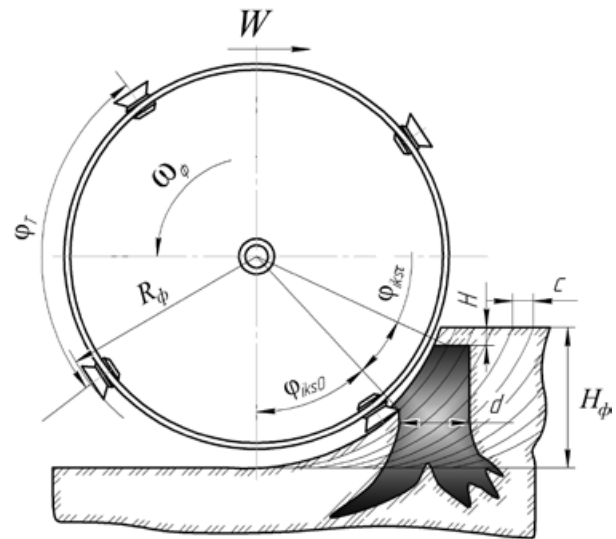


Рис. 1. Взаимодействие режущего элемента с древесным включением

Fig. 1. The interaction of the cutting element with wood inclusion

Форма импульса при одиночном акте взаимодействия режущего элемента определяется в основном изменением толщины стружки по дуге контакта с древесным включением. Длительность элементарных импульсов является случайной величиной и определяется углом контакта режущего элемента с древесным включением. С точностью, достаточной для инженерных расчетов, форма импульсов нагружения определится как [5] (рис. 2)

$$M_{iks}(\varphi) = 0 \text{ при } 0 \leq \varphi \leq \varphi_{iks0}$$

$$M_{iks}(\varphi) = R_{\phi} b_{iks} c \left(k_d + \frac{\gamma_d V_p^2}{2 \cdot 10^3} \right) \sin \varphi,$$

$$M_{iks}(\varphi) = 0 \text{ при } \varphi_{iks\tau} \leq \varphi \leq \varphi_k,$$

где φ – угол поворота рабочего органа; R_{ϕ} – радиус фрезы по концам режущих элементов; b_{iks} – ширина среза древесного включения режущим элементом при s -м акте взаимодействия k -й плоскостью резания; c – подача режущего элемента; k_d – коэффициент резания древесины [1]; γ_d – плотность древесины; V_p – скорость резания; φ_{iks0} – угол, который прой-

дет режущий элемент в залежи до встречи n -м древесным включением при s -м акте взаимодействия k -й плоскости резания; $\varphi_{iks\tau}$ – угол контакта режущего элемента с n -м древесным включением при s -м взаимодействии с k -й плоскостью резания; φ_k – угол контакта режущего элемента с залежью.

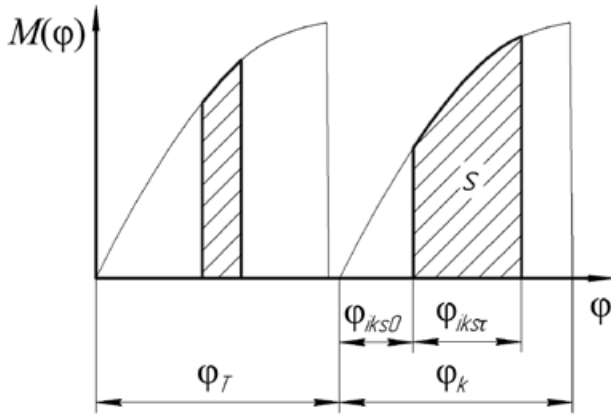


Рис. 2. Формирование нагрузки на режущих элементах в одной плоскости резания при взаимодействии с древесными включениями

Fig. 2. Forming of loading on cuttings elements in one plane of cutting at interaction with wood inclusions

Моделирование нагрузки производится следующим образом. Задается число l различных форм древесных включений и вероятность встретить их в залежи P_i . Для размеров пней d и глубины их залегания H (в пределах глубины фрезерования) задаются распределения $W(d)$ и $W(H)$, которые разбиваются на достаточно малые интервалы $d_j \div d_{j+1}$, $H_l \div H_{l+1}$.

Величина интервалов выбирается таким образом, чтобы изменение величин d и H мало изменяло характер и величину момента нагружения на рабочем органе. Для каждого сочетания $d_{cpj} = (d_j + d_{j+1})/2$ и $H_{cpl} = (H_l + H_{l+1})/2$, для всех форм древесных включений определяются величины φ_{iks0} , $\varphi_{iks\tau}$ с помощью выражений [6]

$$\varphi_{iks0} = \arcsin(Y/R_\phi - c(s+1)/R_\phi),$$

если фреза прошла расстояние менее d_{cpm} ,

$$\varphi_{iks\tau} = \varphi_k - \arcsin(H_{cpl}/R_\phi) - \varphi_{iks0},$$

если фреза прошла расстояние более d_{cpj} , но до выхода фрезы из контакта с древесным включением,

$$\varphi_{iks\tau} = \varphi_k - \arccos(Y/R_\phi - c(s+1)/R_\phi + d_{cpj}/R_\phi) - \varphi_{iks0},$$

где φ_k – угол контакта режущего элемента с залежью;

$$Y = \sqrt{R_\phi^2 - H_{cpl}^2},$$

s – номер акта взаимодействия режущих элементов одной плоскости резания с древесным включением.

При фрезеровании древесного включения взаимодействие носит локальный характер и в процессе участвует несколько соседних плоскостей резания рабочего органа. Рассмотрим наиболее распространенные случаи взаимодействия, когда рабочий орган имеет несколько плоскостей резания, а его ширина значительно больше характерного размера древесных включений. В этом случае можно пренебречь краевыми эффектами, в связи с малой вероятностью их возникновения, связанными с попаданием части древесного включения на первые и последние плоскости резания.

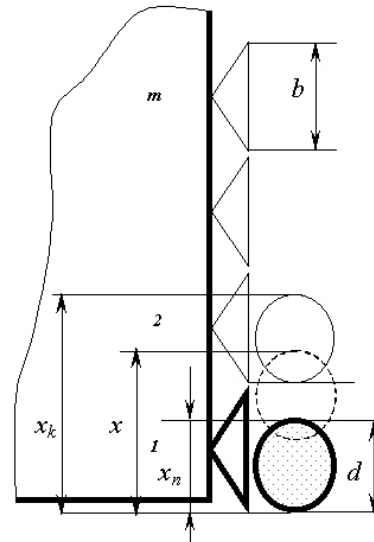


Рис. 3. Схема взаимодействия рабочего органа с древесным включением ($d < b$; $x \geq d$)

Fig. 3. Interaction scheme of the working body with wood inclusion ($d < b$; $x \geq d$)

В зависимости от размера древесного включения и места его попадания по ширине фрезы для момента получим следующие выражения.

Если характерный размер древесного включения $d \leq b$, где b – ширина режущего элемента (рис. 3), для случая $b \geq x \geq d$

$$M_D(\varphi) = RdA_p \sum_{s=1}^{S_1} \delta_{1sc}(\varphi - s\varphi_T);$$

при $x_k \geq x \geq d$, где $x_k = b + d$, с древесным включением взаимодействуют две плоскости резания

$$M_D(\varphi) = R[b - (x - d)]A_p \sum_{s=1}^{S_1} \delta_{1sc}(\varphi - s\varphi_T) + R(x - b)A_p \sum_{s=1}^{S_2} \delta_{2sc}(\varphi - s\varphi_T + (\varphi_2 - \varphi_1)),$$

$$A_p = k_D + \frac{\gamma_D V_p^2}{2 \cdot 10^3},$$

где S_1, S_2 – число актов взаимодействия ножей с древесным включением для первой и второй плоскости резания; φ_T – угол между соседними режущими элементами в плоскости резания; $\delta_{1sc}(\varphi)$, $\delta_{2sc}(\varphi)$ – изменение толщины стружки при s -м взаимодействии для первой и второй плоскости резания; $\varphi_2 - \varphi_1$ – угол сдвига между ножами во 2-й и в 1-й плоскостях резания.

Учитывая одинаковый характер формирования нагрузки для соседних плоскостей резания, момент для произвольного места попадания по ширине фрезы имеет вид: если $b \geq x_m \geq d$ (взаимодействуют ножи одной плоскости резания)

$$M_D(\varphi) = RdA_p \sum_{s=1}^{S_1} \delta_{1sc}(\varphi - s\varphi_T);$$

если $b + d > x_m > b$ (взаимодействуют ножи двух плоскостей резания),

$$M_D(\varphi) = R[b - (x_m - d)]A_p \sum_{s=1}^S \delta_c(\varphi - s\varphi_T) + R(x_m - b)A_p \sum_{s=1}^S \delta_c(\varphi - s\varphi_T + (\varphi_{m+1} - \varphi_m)),$$

где $\varphi_{m+1} - \varphi_m$ – сдвиг между ножами, находящимися в $m + 1$ и в m -й плоскостях резания; x_m – координата попадания древесного включения в интервал $b(m - 1) + d \div bm + d$, где m – номер плоскости резания, (x_m изменяется от $x_n = d$ до $x_k = b + d$).

Если характерный размер древесного включения $b > d \leq 2b$, можно выделить следующие случаи. Для $2b \geq x \geq d$ (рис. 4):

$$M_D(\varphi) = R[b - (x - d)]A_p \sum_{s=1}^{S_1} \delta_{1sc}(\varphi - s\varphi_T) + R(x - b)A_p \sum_{s=1}^{S_2} \delta_{2sc}(\varphi - s\varphi_T + (\varphi_2 - \varphi_1)).$$

При $x_k \geq x > 2b$ взаимодействуют три плоскости резания (рис. 4):

$$M_D(\varphi) = R[b - (x - d)]A_p \sum_{s=1}^{S_1} \delta_{1sc}(\varphi - s\varphi_T) + RbA_p \sum_{s=1}^{S_2} \delta_{2sc}(\varphi - s\varphi_T + (\varphi_2 - \varphi_1)) +$$

$$+ R(x - 2b)A_p \sum_{s=1}^{S_3} \delta_{3sc}(\varphi - s\varphi_T + (\varphi_3 - \varphi_1)),$$

где S_3 – число актов взаимодействия для 3-й плоскости резания; $\delta_{3sc}(\varphi)$ – изменение толщины стружки при s -м взаимодействии 3-й плоскости резания; $\varphi_3 - \varphi_1$ – угол сдвига между ножами во 3-й и в 1-й плоскостях резания.

Для произвольного места попадания древесного включения по ширине фрезы момент равен: при $d \leq x_m \leq 2b$

$$M_D(\varphi) = R[b - (x_m - d)]A_p \sum_{s=1}^{S_1} \delta_{1sc}(\varphi - s\varphi_T) + R(x_m - b)A_p \sum_{s=1}^{S_2} \delta_{2sc}(\varphi - s\varphi_T + (\varphi_{m+1} - \varphi_m)),$$

при $2b < x_m < b + d$

$$M_D(\varphi) = R[b - (x_m - d)] A_p \sum_{s=1}^{S_1} \delta_{1sc} (\varphi - s\varphi_T) + RbA_p \sum_{s=1}^{S_2} \delta_{2sc} (\varphi - s\varphi_T + (\varphi_{m+1} - \varphi_m)) + \\ + R(x_m - 2b) A_p \sum_{s=1}^{S_3} \delta_{3sc} (\varphi - s\varphi_T + (\varphi_{m+2} - \varphi_m)),$$

где $\varphi_{m+2} - \varphi_m$ – сдвиг между ножами, находящимися в $m + 2$ и в m -й плоскостях резания.

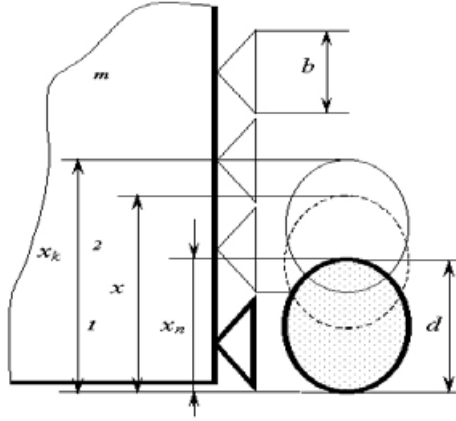


Рис. 4. Схема взаимодействия рабочего органа с древесным включением ($b \leq d \leq 2b$; $x \geq d$)

Fig. 4. Interaction scheme of the working body with wood inclusion ($b \leq d \leq 2b$; $x \geq d$)

Обобщая частные случаи для древесных включений из интервала размеров $Kb < d \leq (K + 1)b$, где $K = 0, 1 \dots K_k$, где K_k определяется отношением максимального размера древесного включения к ширине режущего элемента, для момента получим:

при $Kb + d \leq x_m \leq (K + 1)b$

$$M_D(\varphi) = RbA_p \sum_{k=1}^{K+1} \sum_{s=1}^{S_k} \delta_{ksc} (\varphi - s\varphi_T + (\varphi_{m+k-1} - \varphi_m)) - R(x_m - d) A_p \sum_{s=1}^{S_1} \delta_{1sc} (\varphi - s\varphi_T) + \\ + R(x_m - (K + 1)b) A_p \sum_{s=1}^{S_{K+1}} \delta_{K+1;sc} (\varphi - s\varphi_T + (\varphi_{m+K} - \varphi_m));$$

при $(K + 1)b < x_m < (K + 1)b + d$

$$M_D(\varphi) = RbA_p \sum_{k=1}^{K+2} \sum_{s=1}^{S_k} \delta_{ksc} (\varphi - s\varphi_T + (\varphi_{m+k-1} - \varphi_m)) - R(x_m - d) A_p \sum_{s=1}^{S_1} \delta_{1sc} (\varphi - s\varphi_T) + \\ + R[x_m - (K + 2)b] A_p \sum_{s=1}^{S_{K+2}} \delta_{K+2;sc} (\varphi - s\varphi_T + (\varphi_{m+K+1} - \varphi_m)),$$

где $(\varphi_{m+k-1} - \varphi_m)$, $(\varphi_{m+K} - \varphi_m)$, $(\varphi_{m+K+1} - \varphi_m)$ – соответственно, сдвиги между ножами, находящимися в $(m + k - 1)$ -й и в m -й, $(m + K)$ -й и в m -й, $(m + K + 1)$ -й и в m -й плоскостях резания.

Для определения спектральной плотности момента при фрезеровании древесных включений воспользуемся выражением [2] (система отсчета, связанная с углом поворота рабочего органа)

$$S_d(\omega) = 2\lambda \sum_{i=1}^L \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L P_i P_j P_l m_1 \left\{ |S_{D(ikl)}(j\omega)|^2 \right\},$$

где λ – среднее число древесных включений, попадающих на фрезу в единицу времени; K, L – число интервалов, на которые разбиты распределения $W(d)$, $W(H)$; P_i – вероятность встречи древесного

включения i -й формы; P_k, P_l – вероятность взаимодействия с древесным включением размерами $d_k \div d_{k+1}$ и глубиной залегания $H_l \div H_{l+1}$;

$$P_k = \int_{Kb}^{(K+1)b} W(d) dd, \quad P_l = \int_{H_l}^{H_{l+1}} W(H) dH,$$

$m_l\{\}$ – операция усреднения момента по координате попадания древесного включения x или x_m в пределах ширины рабочего органа; $S_{D(ikl)}(j\omega)$ – спектр момента при взаимодействии с древесным включением размерами из интервала $Kb < d_k \leq (K+1)b$, l -й глубины залегания и i -й формы.

Спектр момента равен:

при $Kb + d \leq x_m \leq (K+1)b$

$$\begin{aligned} S_{D(ikl)}(j\omega) = & RbA_p \sum_{k=1}^{K+1} \sum_{s=1}^{S_k} S_{k\text{lis}}(j\omega) \exp(-j\omega s\varphi_T) \exp[j\omega(\varphi_{m+k-1} - \varphi_m)] + \\ & -R(x_m - d) A_p \sum_{s=1}^{S_1} S_{1\text{lis}}(j\omega) \exp(-j\omega s\varphi_T) + \\ & +R(x_m - (K+1)b) A_p \sum_{s=1}^{S_{K+1}} S_{K+1;\text{lis}}(j\omega) \exp(-j\omega s\varphi_T) \exp[j\omega(\varphi_{m+K} - \varphi_m)], \end{aligned}$$

при $(K+1)b < x_m < (K+1)b + d$

$$\begin{aligned} S_{D(ikl)}(j\omega) = & RbA_p \sum_{k=1}^{K+2} \sum_{s=1}^{S_k} S_{k\text{lis}}(j\omega) \exp(-j\omega s\varphi_T) \exp[j\omega(\varphi_{m+k-1} - \varphi_m)] + \\ & -R(x_m - d) A_p \sum_{s=1}^{S_1} S_{1\text{lis}}(j\omega) \exp(-j\omega s\varphi_T) + \\ & +R[x_m - (K+2)b] A_p \sum_{s=1}^{S_{K+2}} S_{K+2;\text{lis}}(j\omega) \exp(-j\omega s\varphi_T) \exp[j\omega(\varphi_{m+K+1} - \varphi_m)], \end{aligned}$$

где

$$S_{k\text{lis}}(j\omega) = \int_{\varphi_{iks0}}^{\varphi_{iks0} + \varphi_{kst}} \delta_{1sc}(\varphi) \exp(-j\omega\varphi) d\varphi.$$

Окончательно спектральная плотность момента сопротивления на рабочем органе с учетом взаимодействия с торфом, корневой системой лесокустарниковой растительности, определяемых с помощью методик, представленных в [7–11] и древесными включениями, определится выражением

$$S(\omega) = S_T(\omega) + S_K(\omega) + S_d(\omega),$$

где $S_T(\omega)$, $S_K(\omega)$, $S_d(\omega)$ – соответственно, спектральные плотности момента сопротивления при взаимодействии рабочего органа с торфом, корневой системой и древесными включениями.

Дисперсия момента равна

$$D = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega.$$

Предложенный подход позволяет определять вероятностные характеристики момента сопротивления на рабочем органе на стадии проектирования, которые служат исходным материалом для динамического анализа элементов конструкции и привода фрезерующего агрегата с помощью методик представленных в [12, 13].

Библиографический список

1. *Солопов С.Г.* Торфяные машины и комплексы / С.Г. Солопов, Л.О. Горцаколян, Л.Н. Самсонов, В.В. Цветков. Учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1981. – 416 с.
2. *Фомин К.В.* Научные основы статистической динамики торфяных фрезерующих агрегатов: дисс.... докт. техн. наук: 05.05.06: защищена 6.12.02: утв. 14.03.03 / Фомин Константин Владимирович. – Тверь, 2002. – 330 с.
3. *Самсонов Л.Н.* Элементы статистической динамики торфяных фрезерующих агрегатов / Л.Н. Самсонов, К.В. Фомин. Учебное пособие для вузов. – Тверь: ТвГТУ, 2005. – 168 с.
4. *Фомин К.В.* Анализ нагрузок на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата при взаимодействии с древесными включениями / К.В. Фомин // Торфяная отрасль и повышение эффективности использования энергобиоресурсов: мат. науч.-практ. конф. ТвГТУ. – Тверь, 2000. – С. 130–132.
5. *Фомин К.В.* Моделирование нагрузки на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата при взаимодействии с древесными включениями // Сборник научных трудов молодых ученых ТГТУ. – Тверь, 1998. – С. 51–54.
6. *Самсонов Л.Н.* Параметры импульсов нагружения на фрезе при взаимодействии с древесными включениями / Л.Н. Самсонов, К.В. Фомин // В сборнике: Технология и комплексная механизация торфяного производства. Сборник научных трудов. – Тверь, 1997. – С. 146–149.
7. *Самсонов Л.Н.* Определение вероятностных характеристик момента нагружения на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата / Л.Н. Самсонов, К.В. Фомин // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2003. – № 3. – С. 106–112.
8. *Фомин К.В.* Моделирование и анализ момента нагружения на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата / К.В. Фомин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2000. – Т. 2. – С. 222–226.
9. *Фомин К.В.* Расчет спектральной плотности момента нагружения на рабочем органе машины глубокого фрезерования на стадии проектирования [Электронный ресурс] / К.В. Фомин, А.И. Жигульская // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронное научно-техническое издание. – 2014. – № 5. – С. 70–84. DOI: 10.7463/0514.0709758. – Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/709758.html> (дата обращения: 27.06.2017).
10. *Фомин К.В.* Определение спектральной плотности момента на рабочем органе машины глубокого фрезерования при подготовке торфяной залежи эксплуатации / К.В. Фомин, А.И. Жигульская // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 11. – С. 123–126.
11. *Фомин К.В.* Определение вероятностных характеристик момента нагружения на рабочем органе машины глубокого фрезерования при подготовке торфяной залежи к эксплуатации / К.В. Фомин, А.И. Жигульская, Р.Г. Исаев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 9. – С. 36–42.
12. *Фомин К.В.* Моделирование и анализ динамических нагрузок в элементах привода торфяного фрезерующего агрегата / К.В. Фомин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – № 9. – С. 189–191.
13. *Фомин К.В.* Методика анализа динамических нагрузок в элементах привода торфяного фрезерующего агрегата / К.В. Фомин, Л.Н. Самсонов // Вестник Тверского государственного технического университета. – 2002. – № 1. – С. 10–15.

УДК 622.331.002.5

Зюзин Б.Ф.

Зюзин Борис Федорович, д. т. н., зав. кафедрой торфяных машин и оборудования Тверского государственного технического университета (ТвГТУ). Тверь, Академическая, 12. zbfu@yandex.ru.

Копенкина Л.В.

Копенкина Любовь Владимировна, к. т. н., доцент кафедры торфяных машин и оборудования ТвГТУ. lvkopenkina@mail.ru

Ф.С. ЗЮЗИН – ПРОИЗВОДСТВЕННИК, УЧЕНЫЙ, ПЕДАГОГ (к 100-летию со дня рождения)

Аннотация. Статья посвящена биографии Ф.С. Зюзина. Показаны его основные производственные и научные достижения.

Ключевые слова: ремонт торфяных машин, Зюзин Ф.С., история торфяного дела.

Zyuzin B.F.

Zyuzin Boris F, Dr. Sci., Prof., Head of the Chair of Peat Machinery and Equipment, the Tver State Technical University

Kopenkina L.V.

Kopenkina Lubov V, Dr., Associate Professor of the Chair of Peat Machinery and Equipment of the Tver State Technical University.

F.S. ZYUZIN – INDUSTRIALIST, SCIENTIST, TEACHER (to the 100 anniversary since birth)

Abstract. Article is devoted to the biography of Zyuzin F.S., his industrial and scientific achievements.

Keywords: repairs of peat machines, Zyuzin F.S., history of the peat industry.



Зюзин Федор Степанович родился 14 января 1917 года в деревне Тарханово Вязниковского района Владимирской области. Родом из крестьян. Родители: отец – Степан Васильевич, мать – Мария Федоровна.

Вязники – старинный русский город районного подчинения. Современный город располагается на месте древнего города Ярополч-Залесского, разрушенного в 1238 году татаро-монгольскими завоевателями. Статус уездного Вязники получил в ходе административной реформы 1778 года. До революции 1917 года город славился своим ткацким и бумажным производством. В 1941 году начал работать механический завод. В 1971 году в Вязниках открылся завод осветительной автоарматуры (ОСВАР).

Ныне Вязники – крупный районный центр, место сосредоточения всех культурных и производственных сил Вязниковского района.

Трудовую деятельность Ф.С. Зюзин начал с 14 лет, поступив в 1931 году на работу на Ковровский инструментальный завод № 2. Работал в должности ученика счетовода, сигналиста, технического распределителя. В 1933–1934 году работал в городе Горьком на заводе «Красное Сормово» и учился в школе ФЗУ.

«Красное Сормово» – судостроительное предприятие в Сормовском районе Нижнего Новгорода, одно из старейших предприятий в данной отрасли.

В 1935 году он обучался на курсах машинистов экскаваторов при Ковровском экскаваторном заводе. По окончании курсов работал в Новосибирском экскаваторном тресте машинистом экскаватора «Воткинец» на строительстве ударной стройки – линии железной дороги «Эйхе–Сокур».

Паровой полууниверсальный полноповоротный гусеничный экскаватор «Воткинец» с ковшем емкостью 1,5 м³ является первым советским гусеничным экскаватором, серийно выпускавшимся с 1932 года Воткинским машиностроительным заводом по чертежам ВТКЭ (Всесоюзная проектно-техническая контора экскаваторостроения, или Проектэкскаватор, созданная в 1930 году Постановлением Совета Труда и Оборона СССР).

Задача ударной стройки состояла в создании свободного выхода на запад Кузбасского угля и металла в районе станции «Новосибирск». Ударная стройка находилась под непосредственным контролем министра транспорта СССР Л.М. Кагановича. Дорога была сдана в срок – в декабре 1935 года.

В 1936 году Ф.С. Зюзин стал работать на Ковровском экскаваторном заводе машинистом на испытании экскаваторов, затем старшим мастером сборочного цеха. Завод вырос

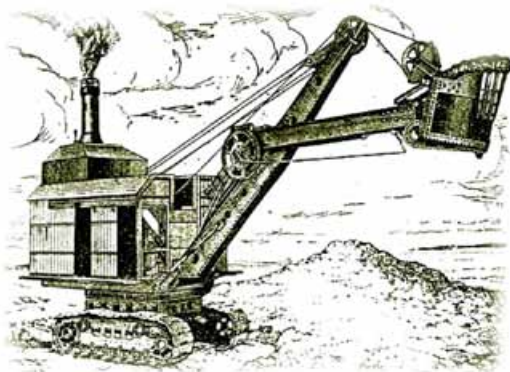


Рис. 1. Экскаватор «Воткинец»



Fig. 1. Excavator «Votcinez»

из железнодорожных мастерских, основанных в 1861 году при станции Ковров Московско-Нижегородской железной дороги. В 1930 году мастерские были реорганизованы в завод по ремонту землеройных машин иностранного производства. 21 апреля 1931 года из его ворот вышел первый советский экскаватор, ставший родоначальником большой семьи Ковровских экскаваторов. Ввод в строй новых цехов, коренная перестройка всего предприятия позволили перейти к массовому выпуску «Ковровцев». К концу 1934 года экскаваторный завод произвел 177 землеройных машин этой марки. Работая на заводе, Ф.С. Зюзин одновременно учился на вечернем энергорабфаке.

В 1938 году он стал учиться на 4-м курсе дневного отделения энергорабфака, с отрывом от производства. Окончив его в 1939 году, поступил на механико-технологический факультет Московского торфяного института, который окончил в 1945 году по специальности «Разработка торфяных месторождений». Ему была присвоена квалификация горный инженер.

В 1942 году в соответствии с решением Государственного Комитета обороны по приказу Наркомата электростанций СССР в целях обеспечения торфяным топливом электростанций Центрального района Ф.С. Зюзин был направлен на торфопредприятия для оказания технической помощи. В сезоне 1942–1944 годов он работал в должности механика и начальника участка добычи торфа на Октябрьском и Марково-Сборном торфопредприятиях Ивановского торфяного треста. По окончании института он работал на торфопредприятии Марково-Сборное в должности начальника механических мастерских. Поселок Марково-Сборное возник в 1928 году.

Еще до революции 1917 года русский инженер Р.Э. Классон впервые в мире был инициатором строительства электростанции на торфе. По плану ГОЭЛРО, принятому в 1920 году, было решено построить электростанцию в окрестностях города Иваново. Начались изыскательские работы геологов по обследованию Марковской группы болот. Места эти были почти непроходимые, но очень богатые торфом. С 1926 года начали рубить просеки, делать настилы по непроходимым местам. Одновременно началось строительство электростанции у села Миловское и прокладка железной дороги. Первые рабочие и инженеры жили по близлежащим деревням. На возвышенных

местах заболоченной местности Писцовские плотники стали строить деревянные бараки.

В сентябре 1945 года по приказу Главторфа Ф.С. Зюзин был назначен главным механиком Орехово-Зуевского торфяного треста, одного из крупнейших в стране. Торф с полей поступал не только на Ореховскую ТЭЦ, фабрики и заводы города и района, но отправлялся на предприятия и электростанции Горьковской, Ивановской, Московской и даже Ленинградской областей.

Началом истории Орехово-Зуево принято считать 1209 год – именно в это время в летописи впервые упоминается селение Волочок Зуев. К 1647 году знатоки истории города Орехово-Зуево относят упоминание о погосте на Орехове, расположенном у берегов Клязьмы. Со временем Волочок Зуев вырос в село, которое дало начало целому городу. Официально же история Орехово-Зуево начинается в 1917 году, когда Временное правительство объединило три населенных пункта: местечко Никольское, села Зуево и Орехово, а также поселок Дубровка. Сентябрь 1917 года стал новой вехой в истории Орехово-Зуево: образование вошло в состав Московской губернии (ранее оно являлось частью Владимирской).

В 1945 году 5 декабря Ф.С. Зюзин женился. Через год в семье родилась дочь Галина, в 1952 году – сын Борис. В 1951 году Ф.С. Зюзин был принят в члены КПСС. В 1955 году в связи с увеличением объема работ, ростом механизации производства, повышением требовательности к технологии торфяного производства он был назначен начальником производственно-технического отдела треста.

В эти годы был предложен скоростной метод уборки торфа, который был внедрен механизатором Яковом Полуховым. Это имя было известно всей стране, дважды ореховозуевцы выбирали его депутатом Верховного Совета РСФСР. Эстафету мастерства принял от него машинист уборочной машины Ореховского торфопредприятия И.И. Иванищев, ставший позднее Героем Социалистического Труда.

В сезоне 1957 года Орехово-Зуевский торфяной трест добыл 2 миллиона тонн торфа! Это был своеобразный рекорд трудового коллектива, который тогда вплоть до середины 1960-х годов возглавлял И.С. Долгих.

Работая главным механиком, затем начальником производственно-технического отдела треста, Ф.С. Зюзин занимался комплексной механизацией торфопредприятий и органи-

зацией вновь создаваемого производства торфоминеральных удобрений для сельского хозяйства. В период работы в Орехово-Зуевском торфяном тресте им были разработаны и внедрены в производство ряд рационализаторских предложений, направленных на совершенствование и развитие комплексной механизации торфяного производства, такие как: прибор для тарировки жиклеров тракторов; восстановление проушин траков торфяных машин; оборудование уборочной машины УМПФ-4 фрезерным барабаном; организация ремонта тракторов поточно-узловым методом и др. Ф.С. Зюзиным было разработано и внедрено изобретение «Способ промышленного производства компостов и устройство для его осуществления» (№132646, 1960) [2]. Внедрение изобретения и рационализаторских предложений (№ 42 и № 53) позволило высвободить большое количество рабочих, обеспечивать в течение многих лет совхозы и колхозы Московской и других областей высококачественными удобрениями и получить экономический эффект 4,7 миллиона рублей.

Производственная и творческая работа сочеталась с научной и общественной деятельностью.

В течение 10 лет Ф.С. Зюзин был членом партбюро и секретарем парторганизации Орехово-Зуевского торфяного треста, два десятилетия активно участвовал в работе секции торфяного производства МП НТОЭ и ЭП, руководил ею. Дважды избирался председателем месткома Орехово-Зуевского торфяного треста.

В течение 5 лет избирался членом Президиума технико-экономического совета Орехово-Зуевского горкома КПСС и членом секции по научной организации труда.

Указом Президиума Верховного Совета СССР за достигнутые успехи в выполнении заданий семилетнего плана по развитию торфяной промышленности в числе работников торфяных предприятий Орехово-Зуевского района Московской области Ф.С. Зюзин был награжден медалью «За трудовую доблесть» (1966).

С ноября 1962 года он являлся соискателем ученой степени кандидата технических наук по кафедре «Торфяная механика» Калининского торфяного института (научный руководитель – заслуженный деятель науки и техники РСФСР, заведующий кафедрой «Торфяная механика», доктор технических наук, профессор Солопов С.Г.).

Многие годы Ф.С. Зюзин и С.Г. Солопов были не только коллегами в науке, но и настоящими друзьями, а город Калинин стал для Ф.С. Зюзина поистине родным.

В 1962–1965 годах Ф.С. Зюзин совмещал основную работу с педагогической деятельностью в качестве преподавателя кафедры «Торфяная механика» в Калининском торфяном институте. Решением совета Калининского торфяного института (протокол № 3 от 23 января 1964 года) единогласно был избран на должность доцента кафедры «Торфяная механика».

Встал вопрос о переходе на работу в город Калинин, но это требовало быть вдалеке от семьи. Перед Ф.С. Зюзиным открывалась новая

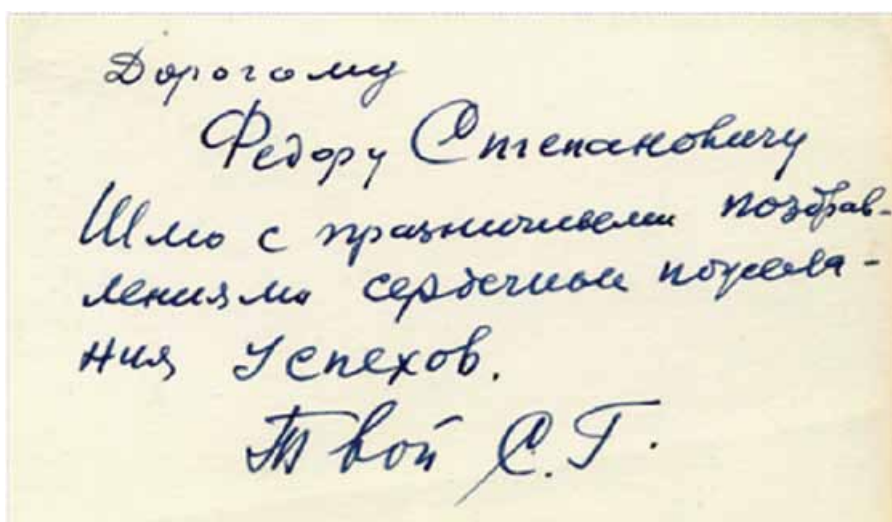


Рис. 2. Семейная реликвия – поздравление профессора С.Г. Солопова.

Fig. 2. Family heirloom – congratulations from Professor S.G. Solopov.

перспективная научная карьера, но он остался в Орехово-Зуеве...

На базе предложений, внедренных в производство, и их научной значимости им была защищена научная диссертация (1965) на тему «Влияние торфяной среды на износ элементов гусеничных движителей торфяных машин» и присвоена ученая степень кандидата технических наук (1966) [5].

Ф.С. Зюзин стал первым ученым-производственником в торфяной промышленности, который защитил кандидатскую диссертацию без отрыва от производства. Им опубликован ряд монографий и учебников по техническому обслуживанию и ремонту торфяных машин [1, 3, 6, 7], которые широко используются при подготовке инженерных кадров для торфяной промышленности.

В 1971 году в связи с расширением научно-исследовательской работы по приказу Главного управления торфяной промышленности Ф.С. Зюзин был переведен в Московский филиал ВНИИТП. Там он заведовал лабораторией математического моделирования производства Московского филиала Всесоюзного научно-исследовательского института торфяной промышленности и руководил разработкой математических моделей торфяного производства. В Московском филиале ВНИИТП он разработал ряд математических моделей, направленных на совершенствование торфяного производства.

В 1975 году в целях улучшения работы по научной организации труда и техническому нормированию Ф.С. Зюзин был назначен директором Республиканского центра по научной организации труда и управления производством (РОСЦЕНТРТОПНОТ). Основными задачами РОСЦЕНТРТОПНОТа являлись проведение научных исследований, разработка нормативных и методических рекомендаций по организации и нормированию труда, в целях дальнейшего повышения производительности труда и эффективности производства. В 1975–1984 годы под его руководством осуществлялись разработка и внедрение проектов по научной организации труда и нормативов по труду для предприятий Минтопрома РСФСР.

На основе разработанных РОСЦЕНТРТОПНОТ типовых проектов норм, нормативов и рекомендаций рабочих и должностей служащих был организован труд 30% рабочих, служащих и инженерно-технических работников отрасли. Удельный вес рабочих-сдельщиков,

работающих по технически-обоснованным нормам, составлял 93,6%. Нормировался труд 57,1% рабочих повременщиков и 85,4% инженерно-технических работников и служащих. Были разработаны и утверждены требования и нормативные материалы НОТ, которые учитывались при проектировании новых и реконструкции действующих предприятий, разработке технологических процессов и оборудования. Была разработана и внедрена единая система организации работ по научной организации труда в отраслях промышленности Минтопрома РСФСР.

Старшим научным сотрудником (1975) Ф.С. Зюзиным было опубликовано 6 монографий и свыше 50 научных статей, в том числе [1–8].

Зюзин Ф.С. принимал активное участие в общественной работе. С 1976 года он ежегодно избирался членом бюро партийной организации. В течение 5 лет избирался заместителем и председателем секции НТО и ЭП торфяного производства. Состоял членом Совета директоров Всесоюзного методического Центра по научной организации труда и управления производством, членом секции торфяной промышленности научно-технического Совета Министерства топливной промышленности РСФСР.

Ф.С. Зюзин был награжден медалями «За трудовую доблесть» (1966); «За доблестный труд в ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина»; «В память 800-летия города Москвы»; «Ветеран труда»; Малой серебряной медалью и ценным подарком ВДНХ СССР. Был отмечен нагрудным знаком «Отличник социалистического соревнования РСФСР».

За многолетнюю плодотворную работу в торфяной промышленности, большой вклад в развитие комплексной механизации производства, научной организации труда и технического нормирования был награжден Почетными грамотами Министерства топливной промышленности РСФСР; Почетной грамотой Московского городского правления научно-технического горного общества за активное участие и мобилизацию научно-технической общественности по решению научно-технических проблем.

С 1984 года решением Исполнительного комитета Московского областного Совета народных депутатов Ф.С. Зюзин был утвержден персональным пенсионером местного значения.



Рис. 3. Научные труды Ф.С. Зюзина

Fig. 3. Scientific papers of F.S. Zyuzin

В 1990 году Ф.С. Зюзин в составе авторского коллектива издал первый в истории торфяной промышленности «Справочник механика торфяного предприятия» [8].

В возрасте 78 лет в 1995 году Ф.С. Зюзин ушел из жизни...

Федор Степанович вместе с женой Анной Самсоновной воспитали двоих детей – дочь и сына, которые, продолжая путь своего отца, окончили Калининский политехнический институт, стали докторами технических наук, профессорами, лауреатами Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники в сфере обороны и безопасности страны за разработку и создание новой техники (2011 год).

Внуки Зюзины получили высшее техническое образование и достойно продолжают славную династию российских инженеров на благо нашего государства...

Библиографический список

1. Зюзин Ф.С., Ярцев А.К. Ремонт машин фрезерного способа добычи торфа. Монография. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1957. – 240 с.
2. Зюзин Ф.С., Варламов А.И., Тупицын К.Н. Способ промышленного производства компостов и устройство для его осуществления. Авторское свидетельство № 132646. Опубл. бюлл. № 20, 1960. – 2 с.
3. Зюзин Ф.С., Ярцев А.К. Ремонт торфяных машин. Монография. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 453 с.
4. Зюзин Ф.С. Производство ТМАУ / Торфяная промышленность. – 1963. – № 4. – С. 16–20.
5. Зюзин Ф.С. Влияние торфяной среды на износ элементов гусеничных движителей торфяных машин. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Калинин: КПИ, 1965. – 14 с.
6. Зюзин Ф.С. Техническое обслуживание торфяных машин. Монография. – М.: Недра, 1966. – 80 с.
7. Зюзин Ф.С., Ярцев А.К. Ремонт торфяных технических машин и обслуживание. Монография. – М.: Недра, 1971. – 240 с.
8. Зюзин Ф.С., Соколов Б.Н., Колесин В.Н., Самсонов Л.Н. и др. Справочник механика торфопредприятия. – М.: Недра, 1990. – 365 с.