УДК 62-112.9:553.97

К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ВНУТРИМАССИВНОГО ТРАНСПОРТА ПРИ ДОБЫЧЕ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ

Грудинин Н.Н., Кремчеев Э.А., Нагорнов Д.О.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», Санкт-Петербург, e-mail: kremcheev@mail.ru

В статье приведены результаты проведенных исследований по оценке рациональной структуры комплекса машин внутримассивного транспорта на пневмоколесной базе при реализации стадийных технологий добычи крошкообразного торфяного сырья. Выполнен критический анализ факторов, влияющих на технологическую надежность комплекса машин транспортного модуля. Сформулировано условие и решена задача по определению рационального расстояния вывозки торфяного сырья и продукции с применением погрузочно-доставочных машин (торфяных фронтальных погрузчиков) на пневмокатках. Численное моделирование с использованием известных технических характеристик машин современных торфяных транспортно-погрузочных комплексов позволило с достаточной для инженерных расчетов точностью определить рациональную длину трассы работы торфяного фронтального погрузчика и граничное условие для перехода на транспортную схему с применением транспортных машинотракторных агрегатов.

Ключевые слова: торф, добыча торфяного сырья, транспортный агрегат, транспортно-погрузочный комплекс, технологическая надёжность

TO THE QUESTION OF ENSURETHE TECHNOLOGICAL RELIABILITY OF TRANSPORT AT PEAT DEPOSITS

Grudinin N.N., Kremcheev E.A., Nagornov D.O.

Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, e-mail: kremcheev@mail.ru

The article presents the results of the evaluation research of rational structure of transport machines complex on a pneumatic wheelbase when implementing technologies of extraction of peat raw materials. A critical analysis of the factors affecting the technological reliability of transport machines complex was performed. The condition is formulated and the task of determining the rational transporting distance of peat raw materials and products with the use of loading and transporting machines on air rollers is solved. Numerical modeling with the use of known technical characteristics of modern peat transport and loading complexes allowed to determine with accuracy sufficient for engineering calculations the rational length of the route of operation of a peated front loader and the boundary condition for the transition to a transport scheme using transport machine-tractor units.

Keywords: raw peat materials, peat mining, transport unit, transport and loading complex, technological reliability

При реализации на практике стадийных технологий экскаваторной добычи торфяного сырья и его сушки в полевых условиях в слоях критической и большей толщины [1, 2] транспортная схема на основе пневмоколесных транспортных машинотракторных агрегатов (далее Тр-ПМТА) является одним из лимитирующих факторов надежности всей технологической схемы.

Развитие торфяной промышленности неразрывно связано с вопросами повышения проходимости технологического и транспортного оборудования при его движении по торфяной залежи [3, 4]. На современном этапе вне зависимости от применяемых технологических схем добычи торфяного сырья вопросы обеспечения необходимых тяговых характеристик пневмоколесного движителя и технологической надежности машин с пневмоколесной базой становятся все актуальнее [3–9].

Цель исследования: оценка рациональной структуры комплекса пневмоколесных машин внутримассивного транспорта торфяного при реализации стадийных технологий добычи крошкообразного торфяного сырья.

Материалы и методы исследования

Опыт эксплуатации пневмоколесного транспорта на основе Тр-ПМТА позволяет констатировать тот факт, что даже при неудовлетворительном состоянии системы осушения торфяного месторождения несущая способность большей части залежи, достигнутая в результате ее уплотнения за годы эксплуатации, может быть достаточной для обеспечения нормального передвижения по ней колесных тракторов, агрегатированных с прицепами и полуприцепами [4, 5, 8, 10, 11].

Основной технической проблемой, возникающей при эксплуатации пневмоколесного транспорта на торфяной залежи является оптимизация тягового усилия трактора-тягача с учетом проходимости транспортного агрегата и массы перевозимого груза в тракторном прицепе.

Таблица 1

Деление тракторов по тяговым классам

Тяговый класс	Номинальное тяговое усилие, 10^{-4} Н	Средняя мощность двигателя (л.с.)	Средняя масса трактора (т)	Модели колесных тракторов
0,2	0,18–0,54	5–20	0,5	Т-012, МТЗ-082, Беларус-132Н
0,6	0,54–0,81	22–25	1,5	Т-25, Т-30, «Беларус» 300-й серии
0,9	0,81–1,26	40–50	2,6	Т-40, Беларус-422, Агромаш (60 ТК, 50 ТК)
1,4	1,26–1,8	55–75	2,9	МТЗ-80/82, ЮМЗ-6, «Беларус» 900-й серии
2	1,8–2,7	75–90	До 5	«Беларус» 1220-й серии, АГРОМАШ (160 ТК), ЛТЗ (ЛТЗ-155, ЛТЗ-95)
3	2,7–3,6	До 90	6,3	Т-150К, «Беларус» 1500-й серии,
4	3,6–4,5	130–165	До 7,9	Беларус 2022, АТЗ (Т-4А, Т-4), ХТЗ (ХТЗ-201)
5	4,5–5,4	250–310	До 11,6	К-744Р1, К-700, Беларус 3023
6	5,4–6,3	320–380	До 15,7	К-744Р2,Т-170М, АГРОМАШ (Руслан)
7	6,3–7,2	390–420	До 17,5	К-744Р3, АТМ 7360
8	От 7,2	420	До 28	К-744Р4, «Versatile» 535, JohnDeere 9430

Известная классификация тракторов по тяговому классу [12] позволяет адекватно разделять машины на несколько групп, что дает возможность осуществлять выбор трактора-тягача без глубокого анализа его технических характеристик. Деление на классы имеет весьма четкие границы, поэтому путаницы с присвоением трактору определенного значения, как правило, не возникает. Тяговые классы тракторов, применяемых в торфяной промышленности, определяются тем же образом, что и для сельскохозяйственных машин, путем измерения максимального тягового усилия, развиваемого машиной на стерне при нормальной влажности и твердости, и буксовании не более 15%. Для промышленной спецтехники этот показатель определяется аналогичным образом, но не на стерне, а на сухом песке, в связи с чем промышленные тракторы всегда имеют более высокий тяговый класс, чем их сельскохозяйственные аналоги, базирующиеся на том же шасси. Пример разделения машин по тяговым классам приведен в табл. 1. В настоящее время принято выделять семнадцать классов тяги, которые охватывают всю технику от небольших мотоблоков до рекордно мощных промышленных тракторов.

При том, что тяговый класс определяет одну из ключевых характеристик трактора – максимальное тяговое усилие, которое может развить машина, необходимо учитывать, что усилие в значительной степени зависит от типа грунта и условий, в которых эксплуатируется трактор. В полной мере эта особенность проявляется при эксплуатации техники на торфяной залежи, где условия сцепления варьируются в достаточно широком диапазоне в зависимости от текущего состояния торфяной залежи – основания, по которому передвигаются все технологические машины. В торфяной промышленности при выборе тягача для Тр-ПМТА на первый план выходит не тяговый класс трактора, а способность машины за счет специфических особенностей конструкции развить усилие на крюке, необходимое для надежного перемещения и маневрирования Тр-ПМТА на торфяной залежи при конкретных условиях эксплуатации.

Успешная эксплуатация транспортной машины во многом зависит и от используемого в составе Тр-ПМТА тракторного прицепа или полуприцепа. Здесь особое внимание следует уделять бортовым универсальным прицепам и полуприцепам, оснащенным откидными бортами различной высоты, что позволяет варьировать объем груза в зависимости от характеристик перевозимого торфяного сырья на различных стадиях процесса добычи (в первую очередь его насыпной плотности, пример характеристик торфяного сырья для одной из стадий его полевого обогащения представлен в табл. 2). Наличие у таких прицепов механизма выгрузки, управляемого с базового трактора, позволяет производить разгрузку с наклоном, иногда даже сразу с трех сторон. Отдельно следует выделить группу активных полуприцепов, в которой колеса прицепа несут не только опорную функцию, но и способны становиться вспомогательной силой для обеспечения движения Тр-ПМТА. Привод колес таких прицепов осуществляется за счет передачи момента от двигателя трактора на ведущие мосты прицепа через вал отбора мощности, с помощью гидропривода или пневмопривода, известны конструкции моторизованных прицепов.

Таблица 2

Насыпная плотность верхового торфа в штабеле промежуточного обезвоживания в начальный момент времени после пропускания через ковшовую просеивающую дробилку

Начальная влажность торфа ω, %	Влагосодержание торфа *W*, кг(в)/кг(с)	Насыпная плотность торфяного сырья после переработки в ковшовой дробилке γ (кг/м³), при степени разложения $R_т$ (%)										
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
98	49,00	514	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
96	24,00	452	515	–	–	–	–	–	–	–	–	–
94	15,67	399	482	520	547	–	–	–	–	–	–	–
92	11,50	359	451	498	515	557	562	–	–	–	–	–
90	9,00	326	422	473	492	527	533	567	572	–	–	–
88	7,33	298	395	453	473	**510**	516	542	549	553	577	–
86	6,14	276	375	433	456	**493**	500	530	534	540	562	569
84	5,25	256	354	415	439	**478**	486	516	523	527	552	558
82	4,56	236	339	399	424	**462**	473	503	511	516	540	547
80	4,00	225	322	388	409	**450**	462	490	498	503	531	538
78	3,55	208	309	370	395	**438**	450	479	487	496	521	528
76	3,17	196	296	359	385	**426**	438	470	479	485	510	521
74	2,85	190	281	346	374	**415**	429	458	467	476	502	510
72	2,57	178	271	334	363	**405**	419	449	458	467	493	502
70	2,33	171	266	325	355	**394**	408	442	449	458	484	496
68	2,13	165	256	316	342	**386**	401	432	442	449	478	487
66	1,94	158	245	306	334	**379**	390	425	435	442	469	481
64	1,78	151	240	296	325	**371**	383	418	425	435	462	475
62	1,63	144	228	291	320	**362**	375	410	418	428	455	466
60	1,50	137	222	286	311	**354**	371	403	414	421	448	459

Примечания: 1. Данные в ячейках со сплошным серым фоном получены экспериментально на верховом торфе; 2. Данные в ячейках с пестрым фоном получены при испытаниях низинного торфа и далее путем пересчета адаптированы к верховому; 3. Данные, выделенные жирным шрифтом, прошли взаимную проверку при экспериментальных исследованиях низинного и верхового торфов. 4. В незакрашенных ячейках представлены данные по насыпной плотности, полученные экстраполяцией и интерполяцией экспериментальных зависимостей. 5. Представленные данные с достаточной для инженерных расчетов точностью могут быть использованы для низинного торфа по аналогии с [13] путем увеличения представленной насыпной плотности на 30 кг/м³, причем первые значения для максимальных влажностей в каждом диапазоне степени разложения следует считать ненадежными.

Для полного использования грузоподъемности высота борта кузова Тр-ПМТА при внутримассивном транспорте может быть определена следующим образом:

$$H_{бп} = \frac{Q_п}{\rho_{тн} \cdot S_п} \cdot k_{рп}, \qquad (1)$$

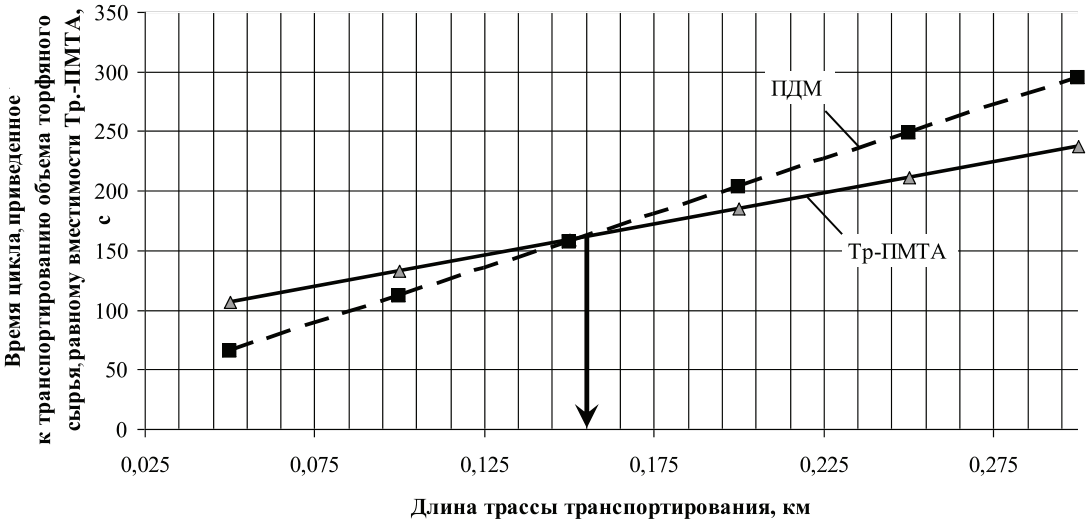
где $Q_п$ – грузоподъемность прицепа с учетом тягово-сцепных свойств машинно-тракторного агрегата и несущей способности торфяной залежи, т [6]; $\rho_{тн}$ – насыпная плотность торфяного сырья после гравитационного обезвоживания (при влажности ω = 80÷84 %), т/м³; $k_{рп}$ – коэффициент разрыхления торфа при погрузке экскаватором или фронтальным погрузчиком; $S_п$ – площадь кузова Тр-ПМТА, м².

При использовании Тр-ПМТА для вывозки торфяного сырья до перерабатывающего предприятия в рамках сезона добычи влажность торфяного сырья будет ниже (ω = 40÷75 %), а следовательно, и нагрузка на транспортную машину будет ниже, поэтому при выборе кузовов тракторных тележек следует руководствоваться значением $H_{бп}$, полученным по формуле (1).

При вывозке торфяного сырья из штабеля, сформированного близко к контуру (границе) добычного поля, потребное количество погрузочных машин (экскаваторов или фронтальных погрузчиков) определяется по следующему выражению:

$$N_п = \frac{P_{сут}}{Q_п \cdot T_{см} \cdot \rho_т} \cdot k_{рп}, \qquad (2)$$

где $P_{сут}$ – суточный грузооборот, т; $Q_п$ – производительность погрузочной машины, м³/ч; $\rho_т$ – насыпная плотность торфяного сырья, кг/м³, $T_{см}$ – продолжительность смены, ч.



Оценка рациональной длины трассы транспортировния для фронтального торфяного погрузчика, работающего в режиме ПДМ в сравнении с работой в комплексе с Тр-ПМТА

Анализ составляющих цикла работы машинно-тракторного агрегата показал, что основное время цикла занимает движение груженого и порожнего агрегата. Фактически время цикла определяется дальностью вывозки (время движения порожней и груженой транспортной машины составляет от 55 % времени цикла при дальности вывозки $S = 0{,}5$ км и до 85 % – при $S = 2{,}5$ км). Таким образом, выбор рациональной схемы размещения штабелей на технологической площадке также является важным фактором обеспечения эффективности транспорта торфяного сырья.

С целью уменьшения издержек производства на перевозку торфяного сырья при его добыче, а также его доставке до предприятия (цеха) переработки предлагается при разработке транспортной схемы в технологическом процессе добычи торфа руководствоваться следующими принципами:

– обеспечить максимальную концентрацию производства, за счёт рациональной компоновки отдельных его участков, что сократит расстояния перевозок как при внутримассивном транспорте, так и при вывозке сырья на предприятие;

– уменьшить количество звеньев транспортной цепи;

– при накоплении сырья во время запланированных (ремонт, техническое обслуживание) и вынужденных (в период с неблагоприятными погодными условиями) простоев добычного оборудования требуется организовывать максимум один промежуточный склад (штабель).

В настоящее время на территории РФ большинство торфодобывающих предприятий относятся к числу малых и средних, они не обладают большими техническими и материальными ресурсами и зачастую количество погрузочной и транспортной техники ограничено, поэтому следует рассмотреть возможность применения фронтального торфяного погрузчика в режиме погрузочно-доставочной машины (ПДМ). Подобный подход уже нашел применение и на крупных предприятиях для вывозки торфяного сырья из штабелей до дорог с устойчивым покрытием или до узкоколейной ж/д, при неблагоприятных погодных условиях.

Результаты исследования и их обсуждение

В связи с вышесказанным для торфодобывающих предприятий требуется решить задачу по определению расстояния, до которого рационально осуществлять вывозку торфяного сырья и продукции при помощи ПДМ. Условие, определяющее целесообразность, может быть описано следующим соотношением:

$$\frac{z \cdot t_{\text{п Тр-ПМТА}}}{60} + \frac{t_{\text{р Тр-ПМТА}}}{60} + \frac{S}{\upsilon_{\text{Тр-ПМТА г}}} + \frac{S}{\upsilon_{\text{Тр-ПМТА п}}} = \frac{t_{\text{п ПДМ}}}{60} + \frac{t_{\text{р ПДМ}}}{60} + \frac{S}{\upsilon_{\text{ПДМ г}}} + \frac{S}{\upsilon_{\text{ПДМ п}}}, \quad (3)$$

где S – длина трассы транспортирования, м; расстояние от места загрузки до места выгрузки ППА (погрузочно-перерабатывающего агрегата), м; z – соотношение объема кузова Тр-ПМТА с объемом ковша погрузочной машины, работающей в режиме ПДМ; $\upsilon_{\text{Тр-ПМТА г}}$, $\upsilon_{\text{Тр-ПМТА п}}$ – скорость во время движения Тр-ПМТА при порожнем и груженом рейсах соответственно, км/ч; $\upsilon_{\text{ПДМ г}}$,

$\upsilon_{ПДМ\ п}$ – скорость движения ПДМ при порожнем и груженом рейсах соответственно, км/ч.

Подставив в соотношение (3) значения переменных для серийной техники, имеющейся на торфяных предприятиях, например ТБЗ «УСЯЖ» (Минская область, Смолевический район, Белоруссия), ООО «Террафлор» (Ленинградская область), ООО «Призма» (Свердловская область) и др., получим решение (рисунок), отражающее возможность применения торфяного фронтального погрузчика при длине трассы до 150 м. При увеличении трассы транспортирования до 300 м эффективность транспортной схемы снижается в 1,23 раза, при трассе 500 м – в 1,39 раза.

Выводы

Для обеспечения надежности работы транспортной схемы на основе пневмоколесных транспортных машинотракторных агрегатов при добыче торфяного сырья, учитывая совокупность факторов, влияющих на проходимость агрегатов, рационально использовать Тр-ПМТА, в составе которых используются прицепы с активным приводом одного из мостов.

При наступлении неблагоприятных условий эксплуатации внутримассивного транспорта для вывозки торфяного сырья из штабелей до дорог с устойчивым покрытием или до узкоколейной ж/д использование фронтального торфяного погрузчика в режиме погрузочно-доставочной машины на дальности в 150 м сопоставимо с использованием полуприцепов стандартной вместимости, что при рациональном расположении штабелей позволяет повысить технологическую надёжность выполнения транспортных операций.

Список литературы

1. Кремчеев Э.А. Гравитационное обезвоживание и полевая сушка в интенсивных технологиях добычи торфа / Э.А. Кремчеев. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. – 175 с.

2. Патент 2470984 РФ. Модульный технологический комплекс добычи торфа и производства окускованного топлива / Э.А. Кремчеев, А.В. Михайлов, Д.О. Нагорнов, А.В. Большунов; 27.12.2012. Бюл. № 36.

3. Яблонев А.Л. Некоторые экономические аспекты, касающиеся проблемы транспорта торфа / А.Л. Яблонев // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2011. – № 3. – С. 48–51.

4. Яблонев А.Л. Обоснование и выбор параметров пневматического колесного хода агрегатов по добыче торфа: автореф. дис…д-ра техн. наук: 05.05.06 / Яблонев Александр Львович. ТвГТУ. – Тверь, 2012. – 329 с.

5. Исследование проходимости и тягово-сцепных свойств колесных тракторов МТЗ в условиях торфодобычи и разработка рекомендаций по их повышению: отчет о НИР: х/д №1560/95 / Г.В. Казаченко, Г.А. Таяновский, Г.А. Басалай. – Минск: БГПА, 1996. – 99 с.

6. Итоги производственных испытаний новой технологической схемы добычи фрезерного торфа / А.Е. Афанасьев, Н.И. Гамаюнов, С.Л. Казаков // Торфяная промышленность. – 1984. – № 1. – С. 8–10.

7. Казаченко Г.В. О статической устойчивости горных машин на колесном ходу / Г.В. Казаченко, Г.А. Басалай, Э.А. Кремчеев // Сборник трудов Международной научно-технической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения заслуженного работника высшей школы Беларуси, доктора технических наук, профессора Кислова Николая Владимировича «Процессы и средства добычи и переработки полезных ископаемых» 17–20 апреля 2012 г. – Минск: БНТУ, 2012. – С. 253–258.

8. Кремчеев Э.А. Принципы построения транспортного модуля торфяного предприятия с карьерной технологией добычи / Э.А. Кремчеев, А.В, Михайлов, Д.О. Нагорнов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 7. – С. 75–81.

9. Лукьянчиков А.Н. Классификация торфяных машинно-тракторных агрегатов / А.Н. Лукьянчиков, В.Е. Харламов // Вопросы проектирования и эксплуатации наземного колесного транспорта. Межвузовский сборник научных трудов, вып. 3. – Тверь: ТГТУ, 2010. – С. 61.

10. Гиршин М.Е. Тяговые показатели трактора Т-150К на торфяной залежи / М.Е. Гиршин, Б.А. Латинский // Труды ВНИИТП. Вып. 65. – Л., 1990. – С. 63–69.

11. Малков Л.М. Анализ факторов производительности транспортного комплекса в схеме с раздельной уборкой / Л.М. Малков, Н.В. Кузнецов, А.И. Галкин // Труды ВНИИТП. Вып.58. – Л., 1987. – С. 16–23.

12. ГОСТ 27021-86 (СТ СЭВ 628-85) Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы.

13. Технология и комплексная механизация разработки торфяных месторождений: Учебное пособие для вузов / А.Е. Афанасьев, Л.М. Малков, В.И. Смирнов и др. – М.: Недра, 1987. – 311 с.