© Н.И. Алыменко, Д.Н. Алыменко, 2005

УДК 621.436

Н.И. Алыменко, Д.Н. Алыменко

ГАЗООЧИСТИТЕЛЬ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Семинар № 17

На рудниках в технологии откатки руды используется самоходное оборудование с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). В идеальном ДВС смесь горючего с воздухом полностью сгорает с образованием неядовитой двуокиси углерода и водяных паров. Реальные выхлопы отработавших газов машин с ДВС содержат вредные компоненты: окись углерода, окислы азота, альдегиды/акролеин, несгоревшее топливо (сажа). В системе отвода выхлопных газов машин с ДВС, работающих на подземных горных работах предусмотрен каталитический нейтрализатор (конвертер), обеспечивающий догорание продуктов неполного сгорания топлива. Согласно [1] на машинах, эксплуатируемых при отрицательных температурах, допускается установка только одной ступени газоочистки - каталитических нейтрализаторов. Воздух в действующих выработках [1, 2] не должен содержать более чем предельно-допустимая концентрация (ПДК): окиси углерода (CO) 0,0017 % по объему (20 мг/м^3), окислов азота (оксиды азота) в пересчете на NO2 0,00026 % по объему (5 мг/м^3), акролеина (C_3H_4O) 0,000009 % по объему (0,2 мг/м^3). В подземных условиях [1, 2] допускаются к применению машины с ДВС, в отработавших газах которых на любом допускаемом режиме работы концентрация вредных компонентов не превышает величин: (CO) 0,08 % по объему, окислов азота (оксиды азота) в пересчете на NO_2 0,08 % по объему, акролеина (C_3H_4O) 0,001 %.

Объектом исследований является система отвода отработавших газов подземного технологического автотранспорта, имеющих дополнительную систему газоочистки (газоочистку второй ступени эжекторного типа), рис. 1.

Целью исследований являлось получение информации о работе дополнительной системы газоочистки (газоочистка второй ступени) отработавших газов машин с ДВС, работающих в руднике «Дукат».

Для реализации поставленной цели решены следующие задачи:

- определена концентрация вредных компонентов отработавших газов на разных режимах работы ДВС;
- определена температура отработавших газов до каталитического конвертера, после него и на выхлопе в атмосферу на разных режимах работы ДВС;
- определен объем отработавших газов на разных режимах работы ДВС;
- определено необходимое количество воздуха для разбавления вредных компонентов отработавших газов машин с ДВС до санитарных норм.

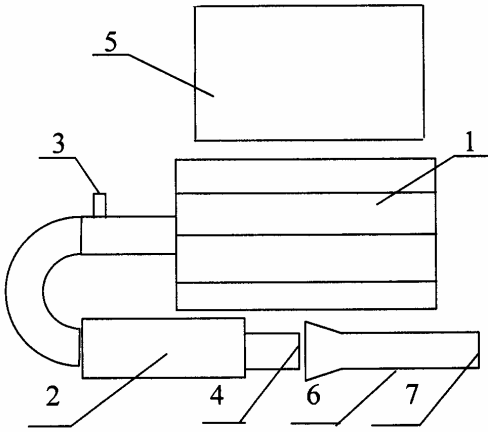
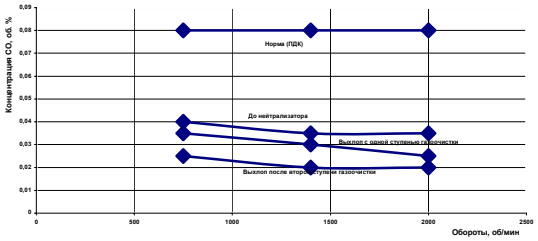
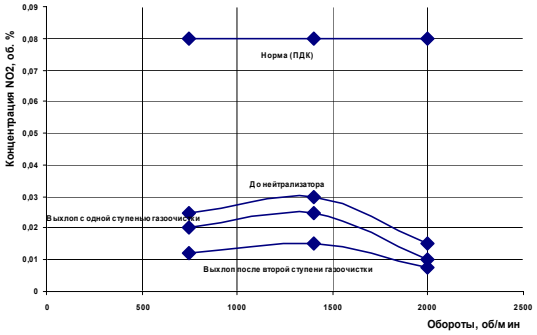
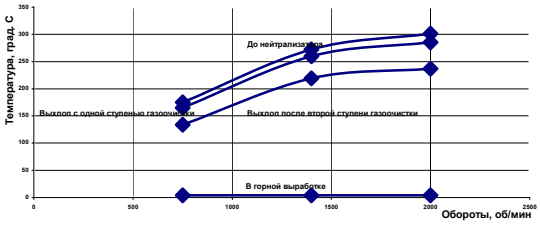


Рис. 1. Схема системы газоочистки отработавших газов машин с ДВС: 1 – ДВС; 2 - каталитический конвертер; 3 – место отбора проб перед каталитическим конвертером; 4 - место отбора проб после каталитического конвертера; 5 – рабочее место водителя; 6 - дополнительная система газоочистки (газоочистка второй ступени) отработавших газов; 7 - место отбора проб на выхлопе газоочистки второй ступени







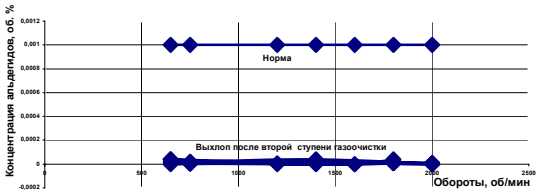


Рис. 2. Зависимость концентрации CO от оборотов двигателя (ST-1010 № 5)

Рис. 3. Зависимость концентрации NO от оборотов двигателя (ST-1010 № 5)

Рис. 4. Зависимость температуры отработавших газов от оборотов двигателя (ST-1010 № 5)

Рис. 5. Зависимость концентрации альдегидов от оборотов двигателя на выхлопе после второй ступени газоочистки (для всех машин)

Исследования проводились на технологическом автотранспорте Tamrock № 1, № 2; MT-431B № 1, № 2; ST-1000 № 1, № 2, № 3; ST-1010 № 4, № 5, по разработанной и утвержденной в установленном порядке методике.

В процессе исследований замерялись все необходимые параметры, характеризующие работу системы отвода отработавших газов с газоочисткой второй ступени, без нее и параметры воздушной обстановки горной выработки, в которой проводились исследования. Исследования проводились на вышеуказанных машинах в трех режимах работы ДВС – холостой ход, средние обороты и максимальные обороты.

По результатам замеров построены графики зависимости концентрации CO, NO_2, альдегидов, сажи в отработавших газах и температуры отработавших газов от оборотов ДВС. В качестве примера на рис. 2-4 приведены графики для погрузочно-доставочной машины ST-1010 № 5, фирмы «Atlas Copco». Во вторую ступень газоочистки эжектировалось 5-6 % свежего воздуха (к объему отработавших газов).

На рис. 2-3 видно, что даже до катали-тического нейтрализатора

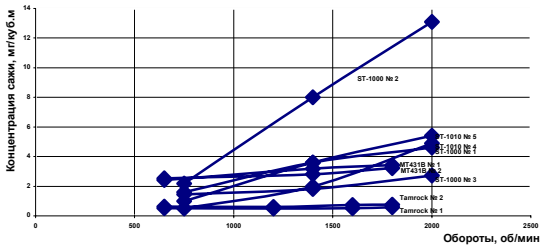


Рис. 6. Зависимость концентрации сажи в отработавших газах от оборотов двигателя

содержание СО меньше ПДК в 2 раза, а NO2 – более чем в 2 раза. Это говорит о хорошем состоянии ДВС.

Зависимости концентрации альдегидов и сажи от оборотов ДВС приведены на рис. 5 и 6 для всех исследуемых машин. Анализ данных рис. 5 говорит о низком содержании альдегидов в отработавших газах подземно-го технологического транспорта с ДВС (в 25 раз и более меньше ПДК). В отработавших газах некоторых машин альдегиды обнаруже-ны не на всех режимах работы. Это говорит о хороших эксплуатационных параметрах ДВС в отношении образования альдегидов в отработавших газах.

Содержание сажи в отработавших газах, как показано на рис. 6, в 14 усредненных замерах даже не превышает санитарные нормы на рабочем месте. На некоторых машинах содержание сажи в отработавших газах превыша-ет ПДК на рабочем месте. Для достижения санитарных норм отработавшие газы необходимо разбавить максимум в 2,7 раза (ST-1010 № 5). На машине ST-1000 № 2 содержание сажи в отработавших газах на максимальных оборотах двигателс составля-ет 13,1 мг/м^3. Это говорит об отложении сажи (продукт горения топлива) в системе отвода отработавших газов при длительной работе в режиме холстого хода. Необхо-димо более часто производить очистку системы отвода отрабо-тавших газов. По другим вред-ным компонентам, содержащимся в отрабо-тавших газах машин с ДВС, разбавление должно быть в десятки раз, поэтому сажа, также как и альдегиды, не может являться определяющим фактором при определении расчетного потребного количества воздуха.

Анализ ситуации по каждой машине при работе дополнительной системы газоочистки показывает снижение концентрации СО и NO + NO2 в отработавших газах при работе ДВС со второй ступенью системы газоочистки.

С учетом действительных данных, полученных в процессе исследований расчитаны потребные расходы воздуха для каждой единицы подземного технологи-ческого транспорта (рис. 7).

Анализ данных рис. 7 показывает, что расчетное потребное количество свежего воздуха для разбавления вредностей зависит от концентрации вредных компонентов в отработавших газах, которая формируется как техническим состоянием работы двига-теля, так и системы отвода отработавших газов.

Исследования показали, что нормируе-мая величина расхода воздуха на 1 л.с. номинальной мощности двигателя завышена для импортного оборудования с ДВС, работающего на руднике «Дукат».

Повышение эффективности работы системы отвода отрабо-тавших газов возможно, как показали исследования, с внед-рением второй ступени газо-очистки. Вторая ступень газоочистки позволяет добавлять (эжектировать) в отработавшие газы после каталитического нейтрализатора свежий воздух, кислород которого способствует

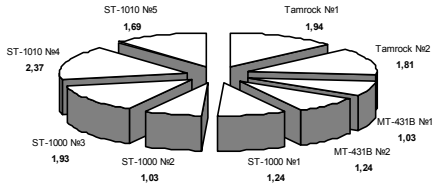


Рис. 7. Зависимость количества свежего воздуха (куб.м/мин на 1 л.с.) по типам машин для подземного технологического автотранспорта

как доокислению вредных компонентов – температура для этого достаточная, так и их разбавлению.

Анализ результатов исследований позволил установить:

1. Концентрация вредных компонентов в отработавших газах на разных режимах работы машин с ДВС при работе со второй ступенью газоочистки ниже чем при работе с одной ступенью газоочистки.

2. Эжектирование свежего воздуха во вторую ступень газоочистки позволяет снизить концентрацию вредных выхлопов и температуру отработавших газов.

3. Необходимое расчетное количество воздуха для разбавления отработавших газов до санитарных норм, по фактическим концентрациям вредных компонентов в отработавших газах, составляет для разных типов машин от 1,03 до 2,37 м3/мин на 1 л.с. Нормативное значение (5м3/мин на 1 л.с.) необходимого количества воздуха значительно выше расчетных.

4. Потребность внесения в графики ППР технологического автотранспорта рудника периодической очистки системы отвода отработавших газов от продуктов горения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом (ПБ-06-111-95). – М.: НПО ОТБ, 1996. – с. 264.

2. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом (ПБ-03-553-03). – М.: НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2003. – с. 199.

Коротко об авторах

Алыменко Н.И. – главный научный сотрудник, доктор технических наук, НВП «Верхнекамье».
Алыменко Д.Н. – доцент, кандидат технических наук, ПермГТУ.

© **К.А. Лукашов, 2005**

УДК 622.232.002

К.А. Лукашов

АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СБШ

Семинар № 17

Одним из основных технологических процессов открытой добычи полезного ископаемого в настоящее время продолжает оставаться бурение взрывных скважин с помощью самоходного оборудования. Наибольшее распространение в мире на открытых работах получил шарошечный способ бурения. Таким способом выполняется до 70% всех объемов работ. Поэтому техническое состояние шарошечного бурового оборудования во многом определяет эффективность всего процесса технологии горного производства.

На горных предприятиях стран СНГ наиболее широко используются шарошечные буровые станки СБШ. Несмотря на значительный опыт производства и эксплуатации машин данного типоразмера, многие отечественные станки отстают от мирового уровня развития буро-

вой техники. Главными недостатками отечественных станков типа СБШ является: низкая надежность, производительность и комфортность. Кроме того, ситуация еще более усугубляется тем, что большинство станков, используемых на карьерах РФ, отработали свой ресурс, и их дальнейшая эксплуатация неизбежно сопровождается высокой аварийностью. Несмотря на указанные недостатки, главным преимуществом отечественных станков остается их доступность для потребителей и относительно невысокая стоимость в сравнении с зарубежными аналогами.

Производительность работы станков шарошечного бурения (техническая скорость бурения скважины $V_{б.т}$ (м/ч)) для интервал крепости пород от 7 до 15 по шкале профессора Протодьяконова, может быть подсчитана эмпирическим путем по известным методикам, например, Р.Ю. Подэрни [1] или К.И. Иванова [2], которые устанавливают зависимости повышения производительности станков шарошечного бурения от осевой нагрузки и частоты вращения. Но в то же время, надежность работы станка, при интенсификации режимов бурения, существенно уменьшается (снижение стойкости долот, става и надежности привода). При значительной интенсификации режимов бурения существует возможность потери устойчивости става, в результате воздействия динамических нагрузок значительно превышающих допустимые нормы. Многочисленными исследованиями было установлено, что основной причиной низкой долговечности узлов станков шарошечного бурения и комплектующего оборудования, установленного на нем, является вибрация, возникающая в процессе бурения. Поэтому, целесообразно создание технических средств снижения вибрации, а также теоретическое и практическое обоснование их конструкций и параметров.

Известно большое число технических средств, использование которых направлено на: снижение вибрации машинного отделения и кабины, повышение ресурса узлов трансмиссии, снижение затрат на ремонт, повышение скорости бурения, повышение стойкости породоразрушающего инструмента.

Техническая реализация поставленных задач на сегодняшний день заключается в использовании: наддолотных амортизаторов; демпфирующих амортизаторов между вращателем и буровым ставом; демпфирующих амортизаторов между канатом и гидроцилиндрами механизма подачи; пневмо–гидро аккумуляторов в напорных магистралях механизма подачи; наддолотных и межштанговых стабилизаторов.

Для выбора оптимальных параметров виброгасящих устройств необходимо качественно и количественно оценить характер вибраций возникающих при бурении. Известно, что вибрационный режим слагается из упругих вибраций самого става и возмущений, возникающих при перекатывании шарошечного долота по забою. Проведено большое число исследований [3, 4, 5] параметров вибрации, возникающей при работе СБШ, основанных на математических моделях, описывающих процесс бурения.

Так в работе [3] рассматривается способ установления величины продольных колебаний бурового става и его устойчивости, возникающих при работе станка, на основании математической модели процесса. Расчет частоты собственных колебаний става по предложенным уравнениям, проведенный для различных режимов бурения показал, что расчетные значения частот укладываются в спектр экспериментально измеренных ($4 < f < 14$ Гц).

На карьерах Центрального рудоуправления комбината “Ураласбест”, на станках 2СБШ 200, опытным путем производилась оценка параметров и спектра возникающих вибраций, и определение границ виброустойчивости. Было установлено, что значения вибрационных параметров бурения, полученные теоретическим путем, коррелируют с экспериментальными данными.

Однако, эксперименты показали значительное превышение фактических значений колебаний, возникающих при бурении пород, крепостью свыше 8 по шкале профессора Протодьяконова над допустимыми нормами.

Для снижения вибрационных параметров в работе [3] было предложено использование пружинных наддолотных амортизаторов, устанавливаемых между шарошечным долотом и буровым ставом. Выбор данного способа снижения вибрации был сделан на основании того, что повышения устойчивости системы можно добиться путем изменения ее динамических параметров.

Проведенные стендовые и промышленные испытания предложенного забойного амортизатора разработанного МГИ и ВНИИБТ на станках СБШ 250 показали, что его использование позволяет форсировать режим бурения и

тем самым повышать механическую скорость бурения до 50%.

Однако, испытания забойных амортизаторов на ОАО “ДГОК”, проведенные в 1996 г., показали их низкую эффективность из-за невысокой стойкости (ресурса) при работе на породах высокой крепости.

В работах [4,6] в качестве средства снижения вибрации, предаваемой через буровой став, предложено использование пневмо-гидравлических амортизаторов, устанавливаемых между вращателем и штангой. В работе [6] приводится строгий, с помощью методов теории колебаний, расчет продольных колебаний бурового става, как стержня с распределенными параметрами, с учетом дополнительного пневмо-гидравлического амортизатора. В результате расчета было получено и проанализировано уравнение для определения резонансных частот (1).

$$A_{x_1} = \frac{k^2}{\nu^2}\sqrt{[\upsilon'(1)]^2 + [\omega'(1)]^2}\ . \qquad (1)$$

где A_{x_1} - амплитуда колебаний верхней массы, ν - безразмерная частота внешнего возмущения.

Значения производных $\upsilon'(1)$ и $\omega'(1)$ на основании расчета [6] преобразовано к виду:

$$\upsilon'(1) = \frac{a\nu}{\Delta}\left[-c\left(c\sin\nu + \delta\nu\cos\nu\right) + \mu^2\nu\left(k^2\cos\nu - \nu\sin\nu\right)\right],$$

$$\omega'(1) = -\frac{a\nu}{\Delta}\mu\left(\nu^2\delta + k^2 c\right). \qquad (2)$$

где μ - безразмерный коэффициент вязкого сопротивления, δ - характеризует «отстройку» системы от основного резонанса, при котором частота собственных колебаний верхней массы на упругом амортизаторе равна *p*.

Приведенные в [6] вычисления показывают, что действие дополнительного амортизатора существенно снижает первую собственную частоту и переводит систему в дорезонансный режим, а резонансные значения коэффициента динамичности продольных колебаний, передающихся от нижнего конца става к верхнему, невелики, особенно для второго и последующих резонансов, что объясняется достаточно большим вязким сопротивлением демпфера. Надо отметить также, что наличие такого амортизатора может уменьшить колебания, предаваемые на кабину бурового станка, но решение этого вопроса требует учета дополнительных механических связей, достаточно мягких, между ставом и кабиной.

Испытания пневмо-гидравлического амортизатора проведенные Э.А. Загривым [4] показали, что его использование способствует снижению коэффициента жесткости системы подачи, повышает производительность бурения не менее чем на 18%, приводит к значительному снижению вибрации бурового става и станка в целом, создавая предпосылки дальнейшего форсирования режима бурения.

Использование упругих элементов, снижающих коэффициент жесткости системы подачи, позволяет снизить лишь продольные колебания става. Одним из способов защиты станка и скважин от динамических нагрузок, возникающих в результате увеличения поперечных вибраций штанги, является применение стабилизаторов устанавливаемых над долотом и между штангами [5]. Испытания таких устройств на карьерах стран СНГ, показали, что их установка способствует равномерному нагружению долота, лучшей очистке от шлама, снижению динамических нагрузок и соответственно увеличению стойкости и надежности работы узлов станка.

К числу средств, позволяющих интенсифицировать процесс бурения, относится так же и пневмоударник. В сентябре 2003 года на Восточном руднике ОАО «Апатит» были проведены исследования по определению влияния погружного пневмоударника (ППУ) на скорость бурения станком СБШ-250 МНА. В бригаду, проводящую измерения, вошли представители рудника и СПГГИ (ТУ). В соответствии с разработанной методикой, были проведены измерения скорости бурения станком СБШ-250 МНА при различных режимах его работы. Затем, на станок был установлен ППУ и проведены замеры скорости бурения в сопоставимых условиях. Результаты замеров представлены на рис. 1, рис. 2.

Анализ полученных данных показал, что использование ППУ при работе СБШ-250 МНА способствует повышению скорости бурения в среднем на 13% и приводит к увеличению стойкости долота ан 9–12 %.

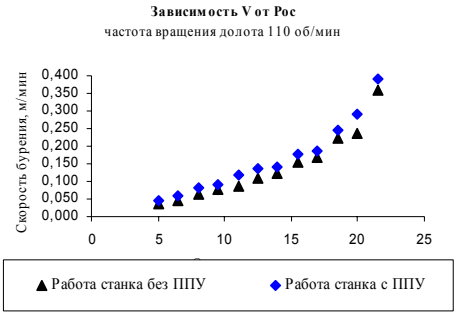


Рис. 1. Зависимость скорости бурения от осевого усилия.

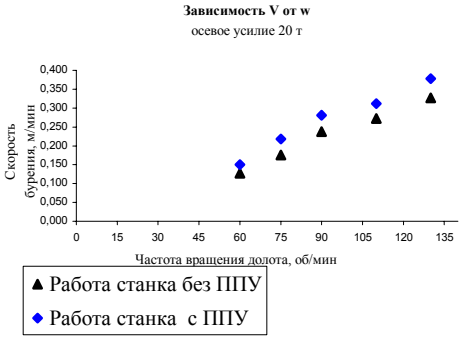


Рис. 2. Зависимость скорости бурения от частоты вращения става.

Дальнейшая интенсификация процесса бурения возможна при создании средств, обладающих возможностью, изменять передний фронт ударного импульса в зависимости от типа разрушаемых пород, а также средств, позволяющих сглаживать ударную нагрузку. Техническая реализация задачи сглаживания ударной нагрузки возможна, например, за счет использования подпружиненного пневмоударника. Использование подпружиненного пневмоударника позволит обеспечить более плотное прилегание лезвий шарошки к забою с учетом его микрорельефа, что, в свою очередь, будет способствовать увеличению стойкости шарошечного долота и интенсификации процесса бурения.

На сегодняшний день представляет интерес возможность процессов работы динамической системы с одновременным применением демпфирования подвески бурового става и нанесения удара по долоту. К тому же, при качественном исследовании параметров вибрации появляется возможность настройки режимов работы ударника в противофазе с динамическими колебаниями системы. Решение данной задачи позволит значительно снизить вибрацию, увеличить производительность работ и стойкость долота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Подэрни Р.Ю.* Горные машины и комплексы для открытых работ ”Недра”. Москва, 1985. 55 с.
2. *Иванов К.И., Латышев В.А., Андреев В.Д.* Техника бурения при разработке месторождений полезных ископаемых ”Недра”. Москва, 1987. 270 с.
3. *Суханов А.Ф., Кутузов Б.Н., Шмидт Р.Г.* Вибрация и надежность станков шарошечного бурения; ”Недра”. Москва, 1969. С. 35 - 55.
4. *Загривный Э.А.* Исследование Электромеханических системстабилизации режимов работы карьерных станков шарошечного бурения // Автореферат диссертационной работы на соискание ученой степени к.т.н. ; СПГГИ. 1974. 25 с.
5. *Рубцов С.К., Шлыков А.Г., Мальгин О.Н., Шеметов П.А., Вахрушев Ю.П.* Опыт применения наддолотных стабилизаторов при бурении взрывных скважин станками СБШ–250МН-32 на карьере “МУРУНТАУ” // Горный журнал. -2001. - №5. С.73 – 75.
6. *Ветюков М.М., Лукашов К.А.* Расчет продольных колебаний бурового става с пневмогидравлическим амортизатором // В сб.: «Машины и механизмы ударного, периодического и вибрационного действия». Материалы II международного научного симпозиума. – Орел: ОрелГТУ, 2003, с.185-190.

Коротко об авторах

Лукашов К.А. – Санкт–Петербургский государственный горный институт.

© Р.Ф. Нагаев, Д.А. Юнгмейстер, Л.Н. Пашкин, В.А. Пивнев, 2005

УДК 622.233.6

Р.Ф. Нагаев, Д.А. Юнгмейстер, Л.Н. Пашкин, В.А. Пивнев

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВМОПЕРФОРАТОРА СО СДВОЕННЫМ УДАРНИКОМ

Семинар № 17

С точки зрения теории колебаний штанга перфоратора ведет себя как стержень, работающий на растяжение-сжатие. После соударения поршня со штангой по длине последней распространяется продольная волна со скоростью $a = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$, где E – модуль Юнга, а ρ - объемная плотность. Следовательно, общее время распространения волны $T_{вол} = l\sqrt{\frac{\rho}{E}}$, где l – длина штанги.

Будем полагать, что данное время значительно меньше времени соударения. Тогда абсолютно неупругое ударное взаимодействие поршня со штангой может быть описано уравнением сохранения количества движения: $m_2V = (m_1 + m_2)V_+$, где m_2 – масса ударника; величину m_1 в соответствии с рекомендациями теории колебаний [1] следует принять равной одной три массы штанги; V - доударная скорость поршня, V_+ - их послеударная совместная скорость.

Отсюда

$$V_+ = \frac{m_2 V}{m_1 + m_2} \qquad (1)$$

После удара процесс продольной деформации штанги описывается в первом приближении дифференциальным уравнением:

$$(m_1 + m_2)\ddot{x} + cx = 0,$$

причем под переменной x следует понимать текущую координату ударника, после удара совпадающую с торцом штанги, $c = \frac{ES}{l}$.

Интегрируя это уравнение при начальных условиях t = 0, x = 0, $\ddot{x} = V_+$, то получим закон движения:

$$x = \frac{V_+}{K}\sin kt, \text{ где } k = \sqrt{\frac{c}{m_1 + m_2}}.$$

Отскок ударника от штанги произойдет в момент перемены знака скорости ударника через полупериод: $t = \frac{\pi}{k}$. В этот момент скорость ударника по-прежнему равна по модулю V_+.

Первоначальная кинетическая энергия ударника в результате ударного взаимодействия переходит в кинетическую энергию его финального отскока, энергию послеударных упругих колебаний штанги и, наконец, работу $A_{уд}$, которая непосредственно идет на разрушение породы. Соответствующее уравнение энергетического баланса имеет вид:

$$\frac{m_2 V^2}{2} = \frac{m_1 V_+^2}{2} + \frac{m_2 V_+^2}{2} + A_{уд}.$$

Отсюда при учете (1) получим:

$$A_{уд} = \frac{m_1 m_2 V^2}{2(m_1 + m_2)} \qquad (2)$$

Именно эта величина характеризует максимальные энергетические возможности ударно-поворотного бурения.

Соответственно максимальный коэффициент полезного действия механизма определяется по формуле:

$$\eta_{уд} = \frac{A_{уд}}{\frac{m_2 V^2}{2}} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \qquad (3)$$

В действительности, однако, единичное ударное взаимодействие ударника со штангой обычно является не вполне абсолютно неупругим. Это приводит к тому, что после соударения ударник отскакивает, унося с собой часть своей первоначальной кинетической энергии. Поэтому в реальных условиях коэффициент

полезного действия существенно меньше определяемого по формуле (3).

Чтобы улучшить ситуацию предлагается использовать модифицированную схему ударника, которая отличается тем, что между собственно ударником m_2 и штангой расположено дополнительное тело (боек) массой $m_2^{//}$. В ходе ударного взаимодействия ударника с бойком промежуточный боек при определенных условиях совершает серию повторных микросоударений, которые приводят к тому, что штанга и ударник «слипаются», зажимая между собой боек. Подобный дребезг был подробно изучен в монографии [2], где получил название квазипластического удара.

Для реализации дребезга в рассматриваемом случае необходимо выполнение следующего неравенства

$$\frac{(\sqrt{R_1}+\sqrt{R_2})^2}{(1+R_1)(1+R_2)} < \frac{m_1 m_2^{/}}{(m_1+m_2^{//})(m_2^{/}+m_2^{//})} \qquad (4)$$

Здесь R_1 и R_2 – коэффициенты восстановления скорости при соударениях бойка соответственно со штангой и с ударником.

В случае $R_1 = R_2 = R$ вместо указанного выше получим:

$$\frac{4R}{(1+R)^2} < \frac{m_1 m_2^{/}}{(m_1+m_2^{//})(m_2^{/}+m_2^{//})}$$

В монографии [2] также показано, что финальные результаты дребезга точно такие же (или почти такие же), как если бы единичное соударение носило чисто пластический, абсолютно неупругий характер. Иными словами, финальное послеударное состояние полностью соответствует состоянию после абсолютно неупругого удара. В частности, по-прежнему справедливо выражение (2) для работы, идущей на разрушение горной породы, а коэффициент полезного действия, согласно (3) имеет максимальное значение. При этом величина m_2 имеет смысл суммарной массы ударника: $m_2 = m_2^{/} + m_2^{//}$.

Для справедливости вышеприведенных формул, характеризующих процесс дребезга, необходимо, чтобы время дребезга было существенно меньше времени между моментом перемены направления действующей на поршень ударник силы сжатого воздуха и моментом первоначального соударения: $t_{др} < (t_{кл} - t_*)$. Здесь t_* - момент первоначального соударения, а $t_{кл}$ – продолжительность рабочего хода поршня.

Для проверки выполнения этого неравенства следует воспользоваться полученной в [2] формулой

$$t_{др} = \frac{1+R_2}{h_1+R_2}\cdot\frac{S}{V}$$

Здесь S – первоначальное расстояние между бойком и штангой, h_1 – характеристическое число, определяемое из квадратичного уравнения

$$h^2 + \left[R_1 + R_2 - \frac{m_1 m_2^{/}(1+R_1)(1+R_2)}{(m_1+m_2^{/})(m_2^{/}+m_2^{//})}\right]h + R_1 R_2 = 0 \qquad (5)$$

При выполнении неравенства (4) оба корня уравнения (5) принадлежит интервалу (0, 1), а величина h_1 – наибольший корень.

В 2002-2003 годах на Кировском руднике ОАО «Апатит» успешно прошли испытания модернизированных перфораторов ПП-63В и ПП-80 (ССПБ) со сдвоенным ударником, причем общая масса ударника и бойка модернизированных перфораторов уравнивалась с массой стандартных одинарных ударников. Экспериментально было установлено, что скорость бурения растет на величину до 30 %, если в зазоре между штангой и ударником находится боек. Таким образом можно ударное взаимодействие сделать квазипластическим и тем самым повысить эффективность бурения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабаков И.М.* Теория колебаний. – М.: Наука, 1965.
2. *Нагаев Р.Ф.* Механические процессы с повторными затухающими соударениями. –М.: Наука, 1985.

Коротко об авторах

Нагаев Р.Ф. – доктор физико-математических наук, СПГГИ (ТУ).
Юнгмейстер Д.А. – доктор технических наук, СПГГИ (ТУ).
Пашкин Л.Н., Пивнев В.А. – ОАО «Апатит».

© **В.Д. Копенкин, Л.В. Копенкина,**

Л.Н. Самсонов, 2005

УДК 622.331:662.271.4 091

В.Д. Копенкин, Л.В. Копенкина, Л.Н. Самсонов

РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ ДОБЫЧИ КУСКОВОГО ТОРФА

Семинар № 17

Кусковой торф для использования его в качестве топлива получали резным, машинно-формовочным способами и способом «гидроторф». Первые сведения о добывании торфа резным способом (в Шотландии) относятся к 1260 г. [1]. Позднее этот способ получил распространение и в других странах – Германии, Швеции, России [1]. Первые сведения об использовании торфа на топливо в России относятся к концу XVII века и связаны со ссылками на распоряжение Петра 1 о производстве опытов по добыванию торфа для использования его в качестве топлива в безлесных местах.

Резка торфа осуществлялась вручную простейшими орудиями – специальными резаками. Вырезанные куски (плитки) с естественной ненарушенной структурой размещались возле карьера для сушки. Когда была затруднена резка торфа, прибегали к заготовке мятого (формованного) торфа. С середины XIX века в России начали создавать кустарные торфяные разработки преимущественно для снабжения торфяным топливом текстильных фабрик. Первыми были механизированы операции переработки (измельчения) торфяной массы и ее формования, затем – доставка торфа из карьера к перерабатывающей установке (применение элеваторов). Применение элеваторных машин с механическим формованием торфа составило длительный этап в развитии добычи торфа в России: так, в 1890 г. было добыто 743 тыс. т торфяного (кускового) топлива, в 1913 г. – 1688 тыс. т [2]. Первая электростанция на торфе – «Электропередача» – мощностью 15 тыс. кВт начала функционировать в 1915 г. (начало строительства – 1912 г.). Практика работы ГЭС показала, что элеваторные машины не могли обеспечить станцию необходимым количеством топлива. Таким способом стал гидроторф. Первые опыты по гидроторфу были начаты в 1914 г. Патент на изобретение гидроторфа был получен Р.Э. Классоном и В.Д. Кирпичниковым в 1916 г. Один агрегат гидроторфа заменял до 10 элеваторных машин и до 300 рабочих. В 1920 г. производство кускового торфа гидравлическим способом составило 5,6 тыс. т. В 1921 г. на «Электропередаче» два агрегата гидроторфа добыли около 17 тыс. т кускового торфа. Реализация своего рода целевой программы «Гидроторф» стимулировалась тем, что по плану ГОЭЛРО (1920) предполагалось строительство пяти (из общего числа тепловых электростанций – 20) электростанций на торфе – в Нижнем Новгороде, Иваново-Вознесенске, Петро-граде, Шатуре и Твери. Немаловажную роль в темпах реализации программы «Гидроторф» играло то обстоятельство, что контроль за ходом работ осуществлял руководитель государства В.И. Ленин [3]. В 1928 г. в основном за счет гидроторфа было добыто 5,3 млн т торфа, в 1950 г. этим способом добыто 9,8 млн т [2]. Благодаря гидроторфу стало возможным строить крупные торфяные предприятия индустриального типа с годовым масштабом производства более 500 тыс. т. Как промышленный способ добычи гидроторф вытеснил ранее существовавшие трудоемкие элеваторный и резной способы и способствовал резкому повышению производительности труда. Однако в 1960-х гг. в связи с широким внедрением фрезерного способа добычи торфа, более эффективного по сравнению с гидравлическим и экскаваторным, добыча гидроторфа была полностью прекращена. Отметим, что за все время существования гидроторфа по данным С.Г. Солопова было добыто 187 млн т кускового торфа для электростанций [4].

Все многообразие машин и комплексов, связанных с добычей кускового торфа, рассмотрим в соответствии со структурой классификации, предложенной С.Г. Солоповым [5]. По методу выемки торфа из залежи различают глубинный (карьерный) (1), поверх-

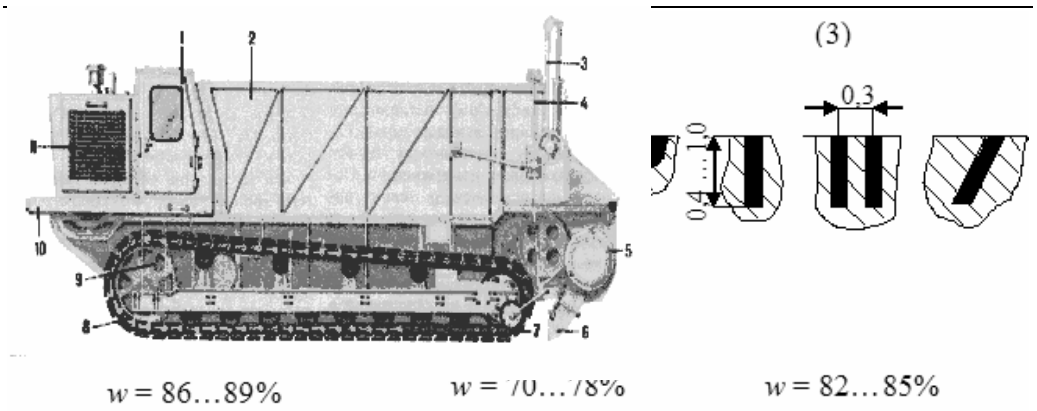


Рис. 1. Сечение выемки (карьера) для глубинного (1), поверхностно-послойного (2) и щелевого (3) добывающих комплексов

ностно-послойный (2) и щелевой (3) добывающий комплексы. На рис. 1 показаны сечения выемки (карьера) для названных комплексов и значения влажности извлеченной массы (*w*).

Глубинный (карьерный) добывающий комплекс включает следующие машины:

- экскаваторы для добычи торфа;
- машины для формования и стилки торфа;
- машины для укладки фигур сушки;
- машины уборочно-транспортирующие.

Поверхностно - послойный добывающий комплекс состоит из машин:

- фрезформовочный комбайн;
- машины для ворочки кусков;
- машины уборочно-транспортирую-щие.

Щелевой добывающий комплекс включает:

- фрезформовочный комбайн, обеспечивающий выемку торфа из щели глубиной от 0,4 до 1 м;
- машины для ворочки кусков;
- машины уборочно-транспортирующие.

Любой из этих комплексов может быть дополнен агрегатом вентиляционной сушки кусков в штабеле [5].

Преимуществом экскаваторного (*глубинный - добывающий комплекс*) торфа являются высокие качественные показатели готовой продукции из-за большей однородности торфяной массы при разработке залежи на всю глубину и механической переработки торфа-сырца, изменяющей дисперсность природного торфа, что влечет повышение плотности и прочности кусков, снижение водопоглощаемости.

В 1920-х годах в Германии был создан экскаватор Виланда с самостилом (аблегером). Экскаватор мог работать только на беспнистой залежи. Из Швеции были доставлены в Россию несколько экскаваторов Экелунда. Экскаваторы перемещались по железнодорожному пути на дне карьера. Торф выгружался в элеваторную машину на берегу карьера. В элеваторной машине осуществлялась переработка, формование торфяной массы, транспорт кирпичей на поле сушки. Стилка кирпичей производилась вручную.

В 1921 г. механиком торфяного предприятия Каданок И.С. Панкратовым элеваторная машина была переделана в экскаватор с четырехрядной ковшовой цепью – самогреб Панкратова. В 1929 г. на торфяных предприятиях работало 11 самогребов.

В 1926 г. на предприятии Пустынское слесарь Д.Я. Бирюков построил на основе элеваторной машины багер с пятирядной ковшовой рамой. В 1928 г. был создан багер Инсторфа с четырехрядной ковшовой рамой. Глубина экскавации и ширина карьера достигали 4 м. Сезонная производительность составляла 12-15 тыс. т воздушно-сухого торфа. В 1930-е годы багеры Инсторфа в большом количестве работали на торфяных предприятиях Урала (Исетско-Аятское, Лосиное, Монетное).

В 1936 г. ВИМТ создал стилочную машину. Таким образом была механизирована операция транспорта, формирования и стилки кусков на поле сушки. Ручной труд применялся на операциях по сушке и уборке торфа.

В 1942 г. ВНИИТП совместно с предприятиями Свердловского торфяного треста разра-

ботал и построил багерно-элеваторную машину БЭМ. Появление БЭМ – это начало создания торфодобывающих экскаваторов нового типа с однорядной поворотной ковшовой рамой. Такое ковшовое устройство позволяло разрабатывать карьер шириной до 10 м. Экскаватор передвигался по рельсам, уложенным на деревянные шпалы.

В 1943 г. была выпущена новая усовершенствованная электростилочная машина ЭСМ-7. Багер Инсторфа обслуживался двумя машинами ЭСМ-7. В 1949 г. ВНИИТП создал экскаватор ТЭМП – торфяной экскаватор многоковшовый поворотный, электрифицированный, на гусеничном ходу. Последняя модель этого экскаватора ТЭМП-2М с двумя электростилочными машинами ЭСМ-8А (с 1952 г.) при трехсменной работе обеспечивала производительность за сезон 30-40 тыс. т воздушно-сухого торфа. На базе машины ЭСМ-8А Белгипроторфом была создана стилочная машина ДС-1А. Новейшей машиной с дизельным двигателем является машина СМД-4 (рис. 2). Мощность двигателей ТЭМП-2М – свыше 350 кВт, машины ЭСМ-8А – 104,5 кВт.

Для предприятий небольшой мощности (менее 50-80 тыс.т) были созданы бункерные экскаваторы: БТЭ-1 с объемом бункера 15 м^3, применяемый на электрифицированных предприятиях с одной электростилочной машиной; БЭП-Г – бункерный экскаватор паровой с объемом бункера 9 м^3, применяемый на неэлектрифицированных предприятиях малой и средней мощности с одной стилочной машиной с дизельным двигателем. Сезонная (годовая) производительность экскаваторов БТЭ при трехсменной работе – 20-30 тыс.т, экскаваторов БЭП-Г при двухсменной работе – 10-18 тыс.т [6].

В 1969 г. Ивановским заводом «Торфмаш» разработан, а Великолукским заводом изготовлен бункерный экскаватор МТК-14, выпускавшийся с 1970 г. серийно. Емкость бункера экскаватора – 8 м^3. Сезонная производительность экскаватора МТК-14 при двухсменной (16 ч) работе – около 15 тыс. т. Экскаваторы могут работать только на беспнистых торфяных залежах. Предполагалось, что с созданием новой модели, обеспечивающей разработку пнистых торфяных залежей, этими экскаваторами будет заменен существующий парк торфодобывающих экскаваторов [2].

Операции по укладке кускового торфа в фигуры сушки до середины 1950-х годов выполнялись вручную. В 1956 г. ВНИИТП разработал машину УМС-2 (универсальная машина по укладке кускового торфа в фигуры сушки). Машина осуществляет ворочку торфа, укладку его в валки, а также повторное выполнение этих операций. Для уборки кускового торфа ВНИИТП был создан комплект машин УКБ-СКС (уборка куска боковая – самоходный кузов саморазгружающийся). В начале 1960-х годов Калининский филиал ВНИИТП разработал электрифицированную уборочную машину УЛК-4, заменившую две машины комплекта УКБ-СКС. На неэлектрифицированных предприятиях применяли машину УЛК-3Д, созданную Белгипроторфом. Калининским филиалом ВНИИТП была разработана прицепная уборочная машина УПК (МТК-32). С 1960-х годов в торфяной промышленности широко внедряется фрезерный способ добычи торфа. Добыча экскаваторного торфа резко сокращалась. Экскаваторный торф рассматривался только как коммунально-бытовое топливо для замены дров.

В 1980-е годы экскаваторным способом в России добывалось ежегодно менее 500 тыс. т кускового торфа [7].

Поверхностно-послойный добывающий комплекс разрабатывался в Московском торфяном институте. Создание техники этого способа было одним из направлений решения проблемы добычи торфа пониженной влажности. Были созданы машины для поверхностно-послойной добычи торфа МПДК (1949) с цилиндрической фрезой, разрабатывавшей залежь на глубину до 140 мм и забрасывавшей сфрезерованный торф в шнековый пресс, и навесная КДН-2 (1955) с торцевой дисковой фрезой с ножами на торце, ось вращения которой совпадала с направлением движения трактора [8, 9].

Рис. 2. Машина для формования и стилки торфомассы: *1* – кабина; *2* – бункер с подвижным дном; *3* – шиберная заслонка; *4* – механизм подъема стилочного аппарата; *5* – корпус шнека; *6* – мундштук; *7* – гусеничный ход; *8* – рама; *9* – лестница; *10* – площадка; *11* – двигатель

Рис. 3. Торфяной экскаватор с гидравлическим приводом: *1* – профильный ковш; *2, 5, 9* – гидроцилиндры; *3* – рукоять; *4* – промежуточная стрела; *6* – стрела; *7* – гусеничный ход; *8* – поворотная платформа; *10* – тяга

Применение этих машин подтвердило возможность осуществления поверхностно-послойного способа добычи кускового торфа и показало его преимущества по сравнению с экскаваторным способом: совмещение полей добычи и сушки, снижение зависимости сушки от погодных условий, полная механизация всего технологического процесса с помощью комбайна. Однако из-за недостаточной переработки торфа пониженной влажности машинами МПДК и КДН, качество кускового торфа у этого комплекса было существенно ниже экскаваторного торфа. Были выполнены глубокие теоретические и экспериментальные исследования, на основе которых было принято направление по созданию щелевого добывающего комплекса. Работы по созданию нового поколения машин для щелевого способа добычи кускового торфа выполнялись в Калининском филиале ВНИИТП (обобщение этих работ представлено в докторской диссертации В.К. Фомина [10]) и в Институте торфа АН БССР [11, 12]. Щелевой принцип экскавации залежи был реализован в машинах Калининского филиала ВНИИТП ДПК-1 (1958), ДПК-5 (МТК-12), ММК-ПГ (1968), МТК-15 (1970), ММК-0 (1970), МТК-16 и белорусских машинах ПМК (1965), МБТ-500А (1982), АНБ-701 (1982-1983) [4]. На сушке и уборке кускового и мелкокускового торфа использовались ранее созданные машины МТК-22 и МТК-32.

Чтобы определить перспективы применения техники добычи кускового торфа в современных условиях падения производства, отсутствия источников финансирования в торфяной отрасли, необходимо принять во внимание следующие обстоятельства. Во-первых, поисковые работы по получению разнообразных видов торфяной продукции, качеством которой можно было бы эффективно управлять. Во-вторых, производственные структуры, связанные с торфяной продукцией, вероятнее всего будут иметь небольшие мощности и смогут работать продуктивно при выборе видов продукции, пользующихся активным спросом, имеющих высокое качество и перспективу повышения качества по мере совершенствования технологий. В-третьих, маловероятно возрождение торфяного машиностроения со специализированными заводами такого профиля, по крайней мере, на перспективу 10-20 лет.

О развитии техники и технологии кускового торфа (в последние годы чаще называемого формованным торфом) во времени можно судить по суммарному числу диссертационных работ, защищенных к определенному моменту времени. Как показал анализ потока диссертационных исследований в этой области [13] поиск способов получения формованной торфяной продукции и композиционных материалов на основе торфа, используемого в качестве связующего, представляется привлекательной областью исследований, а результаты исследований, как правило, имеют научное и практическое значение.

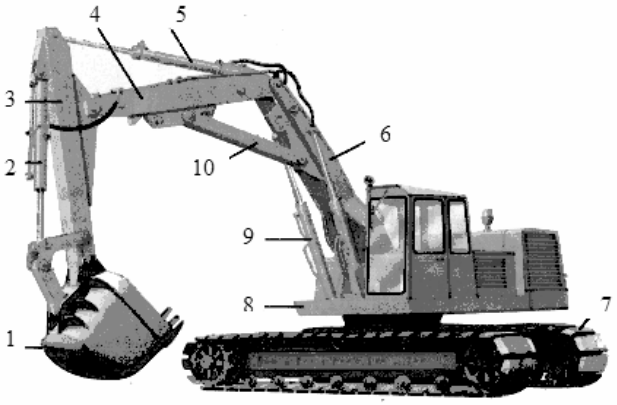
Логистическая кривая потока диссертационных исследований в области техники и технологии кускового торфа имеет вид (первая работа была защищена в 1940 г.):

$y = 80 / (1 + 33{,}8 \exp(-0{,}141\, t))$.

К наиболее значимым работам в области получения композиционных формованных материалов и управления качеством (свойствами) торфяной формованной продукции относятся диссертации [14-18].

Учитывая вышесказанное, можно предположить, что для частных предприятий или акционерных обществ по производству торфяной формованной продукции (как частный случай – кускового торфа) к наиболее востребованной технике следует отнести:

- одноковшовый серийно выпускаемый экскаватор типа МТП-71 (рис. 3);
- стилочную машину типа СМД-4;
- машину для укладки фигур сушки



МТК-22;

- уборочно-транспортирующую машину МТК-32;
- агрегат вентиляционной сушки кусков в штабеле.

Актуальной является задача разработки и опытной проверки схем цехового производства торфяной формованной продукции, главным образом, композиционных материалов с использованием торфа в качестве связующего.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по торфу / Под ред. Н.Н. Самсонова, М.А. Веллера, Д.А. Бегака. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1944. – 596 с.
2. *Власов В.П.* Технология производства кускового торфа. – М.: Недра, 1974. – 152 с.
3. Торф в народном хозяйстве / Под ред. А.М. Матвеева. . – М.: Недра, 1968. – 256 с.
4. *Копенкин В.Д., Копенкина Л.В.* История науки и техники. Торфяное дело. – Тверь: ТГТУ, 2000. – 112 с.
5. *Солопов С.Г., Горцакалян Л.О., Самсонов Л.Н.* Торфяные машины и комплексы – М.: Недра, 1973. – 392 с.
6. *Копенкина Л.В.* Развитие техники добычи кускового торфа в СССР (1917 – 1985 гг.): Автореферат дис… канд. техн. наук. – М.: ИИЕТ АН СССР, 1989. – 18 с.
7. Экскаваторный способ добычи торфа / Горная энциклопедия. – М.: Сов. энциклопедия. Т. 5. 1991. – С. 452.
8. *Беззубов Н.Д., Соколов А.А.* Добыча кускового торфа машиной МПДК. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1955. – 96 с.
9. *Беззубов Н.Д., Соколов А.А.* Добыча кускового торфа машиной КДН-2. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1956. – 71 с.
10. *Фомин В.К.* Научные основы технологии и комплексной механизации производства формованного торфа: Дис. в форме научного доклада… д-ра техн. наук. – Калинин: КПИ, 1989. – 50 с.
11. *Костюк Н.С., Яцевич Ф.С.* Производство мелкокускового торфа. – Минск: Наука и техника, 1975. – 136 с.
12. *Солодухо Н.М.* Фрезформовочный способ добычи торфа. – Минск: Наука и техника, 1980. – 96 с.
13. *Копенкина Л.В., Копенкин В.Д.* Торфяные машины как класс горных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. - №5. – С.219-222.
14. *Журавлев А.В.* Физико-технологические основы повышения эффективности производства формованной торфяной продукции в условиях Урала: Дис…д-ра техн. наук. – Тверь.: ТвеПИ, 1993. – 414 с.
15. *Гамаюнов С.Н.* Процессы структурообразования в технологии формованной продукции из торфа и сапропеля: Автореферат дис… д-ра техн. наук. – Тверь: ТГТУ, 1998. – 40 с.
16. *Гревцев Н.В.* Научные основы технологии торфяных композиционных материалов: Автореферат дис… д-ра техн. наук. – Тверь: ТГТУ, 1998. – 42 с.
17. *Суворов В.И.* Научные основы формирования структуры торфа в технологиях получения продукции с заданными свойствами: Автореферат дис… д-ра техн. наук. – Тверь: ТГТУ, 2000. – 47 с.
18. *Соловьев Н.Л.* Разработка способов модифицирования торфа в технологиях получения продукции с заданными свойствами: Автореферат дис… канд. техн. наук. – Тверь: ТГТУ, 2002. – 24 с.

Коротко об авторах

Копенкин Владимир Дмитриевич – профессор кафедры технологии и комплексной механизации разработки торфяных месторождений,

Копенкина Любовь Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры торфяных машин и оборудования,

Самсонов Лев Николаевич – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой торфяных машин и оборудования,

Тверской государственный технический университет.