

НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ И ГОРНЫЕ НАУКИ

УДК 622.331.002.5

ОПТИМИЗАЦИЯ УГЛА УСТАНОВКИ ФРЕЗЫ ТОРФЯНОГО БРОВКОРЕЗА С ПОЗИЦИИ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ

А.Л. ЯБЛОНЕВ, д-р техн. наук

Тверской государственный технический университет, 170026, Тверь,
наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: alvovich@mail.ru

© Яблонев А.Л., 2024

Добыча торфа фрезерным методом предполагает послойно-поверхностную сработку картовых полей. При этом приканальные полосы из-за повышенной влажности и пониженной несущей способности оказываются необработанными, появляются бровки, затрудняющие удаление влаги с поверхностей полей и работу технологического оборудования. Решить данную проблему можно путем обработки поверхностей полей специальными бровкорезами. Однако существующие модели бровкорезов обрабатывают за один проход только одну бровку. Разработанная нами концепция торфяного бровкореза, способного за один проход обрабатывать оба края полей, примыкающих к картовому каналу, потребовала проведения экспериментальных исследований для установления оптимального угла поворота фрезы по отношению к поперечной оси машины. В представляемом исследовании, содержащем методику проведения и результаты экспериментов, величина данного угла обосновывается с позиции оптимальной энергоемкости фрезерования торфяной залежи.

Ключевые слова: торфяная карта, бровкорез, косоугольное фрезерование, торфяная крошка, картовый канал, энергоемкость, тензометрирование, тензодатчик.

DOI: 10.46573/2658-5030-2024-2-44-55

ВВЕДЕНИЕ

Послойная сработка поверхности торфяных карт при фрезерном способе добычи торфа [1, 2] и отсутствие ее на приканальных полосах из-за повышенной влажности последних вызывает появление необработанных «бровок», затрудняющих естественный процесс удаления поверхностных вод и осложняющих технологический цикл добычи торфа [3, 4] (рис. 1).

Необходимое для осуществления качественного технологического процесса приведение поверхности картовых полей к нормальному состоянию [5] осуществляется либо полным профилированием с использованием широкозахватных профилировщиков [6] – весьма энергозатратной операцией, либо частичным профилированием путем срезания бровок специальными машинами – бровкорезами (профилировщиками краев), наибольшее распространение среди которых получила финская конструкция PRF-240 [7] и ее белорусский аналог ПР-1 [8]. Последняя операция менее энергозатратна и позволяет, благодаря косоугольному расположению

рабочего органа, не только обрабатывать края картовых полей, срезая с них бровки, но и отбрасывать превращенный в крошку торф к центру поля, создавая тем самым рельеф поверхности.

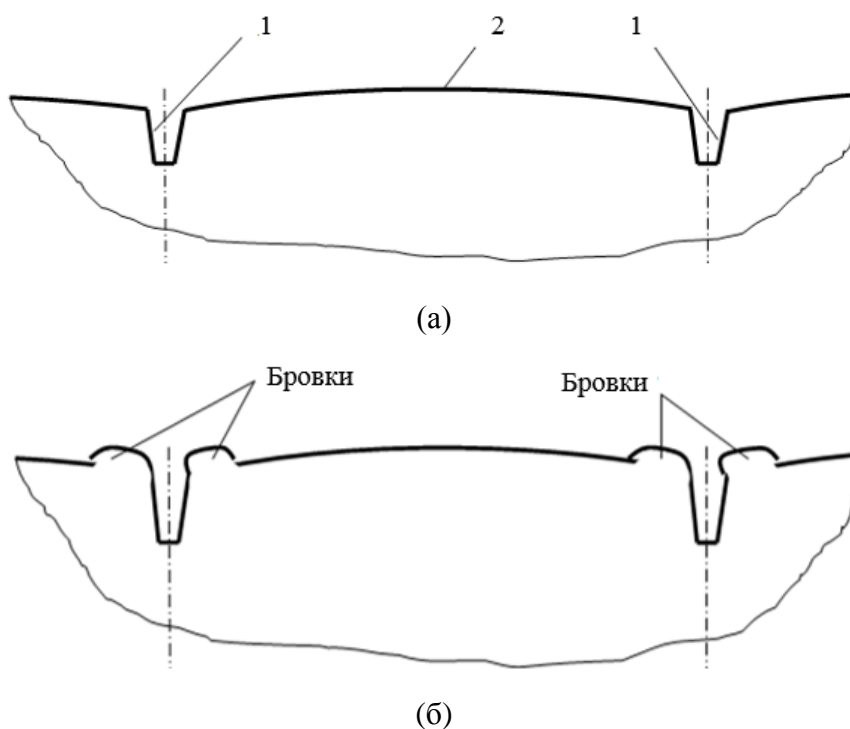


Рис. 1. Нормальный профиль картового поля в поперечной плоскости (а) и образование бровок (б): 1 – картовые каналы; 2 – выпуклая поверхность картового поля

Однако описанные бровкорезы за один проход способны обрабатывать лишь одну кромку картового поля, что весьма неудобно. Для устранения этого недостатка нами была разработана концепция усовершенствованного бровкореза [9] (рис. 2).

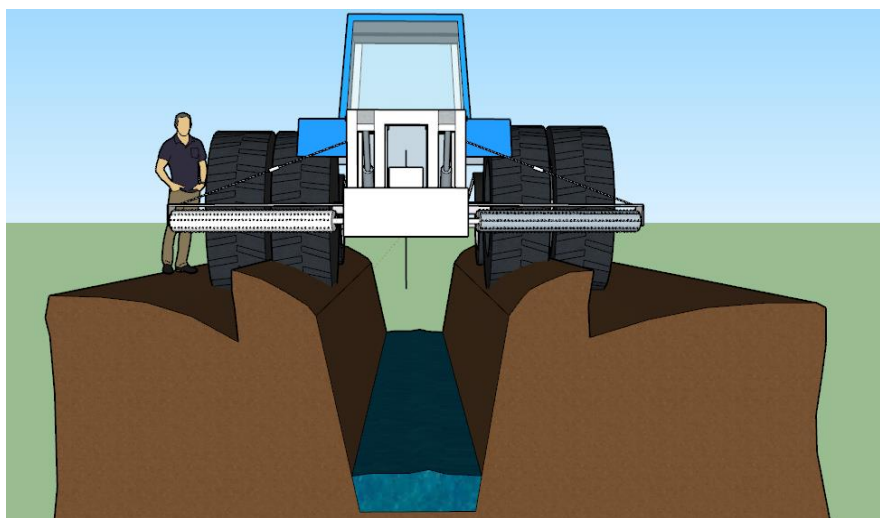


Рис. 2. 3D-модель профилировщика краев торфяных карт

Представленный бровкорез имеет два косоугольно расположенных рабочих органа (фрезы) и, благодаря сдвоенным колесам, двигаясь по бровкам, обрабатывает оба края карт, прилегающих к каналу. При этом остается существенным, на какой угол по отношению к поперечной оси машины должны быть развернуты фрезы [10, 11]. Очевидно, что данный угол должен быть минимальным и достаточным для того, чтобы, во-первых, при работе не происходило забрасывание торфяной крошкой картовых каналов; во-вторых, не наблюдалось интенсивного роста энергоемкости фрезерования [12–14], а следовательно, и боковых усилий, передающихся на ходовую часть машины; в-третьих – не происходило значительного уменьшения активной ширины захвата фрезы, в-четвертых – в конструкции можно было бы использовать не специальные угловые редукторы, как в прототипах [7, 8], а стандартные широко распространенные детали и узлы. С целью определения оптимальной величины этого угла в лаборатории кафедры «Технологические машины и оборудование» были произведены экспериментальные исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В экспериментальных исследованиях применялась значительно модернизированная лабораторная установка, обеспечивающая возможность поворота фрезы на определенный угол (т.е. проведения исследований по косоугольному фрезерованию) и оснащенная системой цифрового тензометрирования ZETLAB [15–18].

Общий план проведения экспериментальных работ включал два этапа, на которых оптимальный угол поворота фрезы относительно поперечной оси машины определялся по факту отсутствия следов вылетающей фрезерной крошки на опытном экране, как гарантия отсутствия эффекта забрасывания картовых каналов при работе, и по критерию оптимальной энергоемкости косоугольного фрезерования.

Методика, особенности и результаты первого этапа подробно описаны в работах [4, 18], поэтому нет смысла вновь повторять их. Отметим лишь, что по фактам отсутствия забрасывания крошкой картовых каналов и отсутствия интенсивного уменьшения активной ширины захвата фрезы, минимальным (а следовательно, и оптимальным) оказался угол поворота фрезы на 20° относительно поперечной оси машины.

Второй этап исследования основывался на определении оптимальной энергоемкости фрезерования при различных углах установки фрезы, для чего использовались тензометрическая станция (анализатор спектра) ZET 017-T8, S-образный тензодатчик PST Loadcell, прикрепленный к поворачивающемуся на подшипниках приводу фрезы, а также ноутбук с установленным программным обеспечением ZETLAB [15–18]. Поскольку для воспроизводства этих экспериментов необходимы знания основных настроек системы и методики проведения, остановимся на них подробнее.

Настройка тензостанции осуществляется следующим образом. На главной панели программы ZETLAB во вкладке «Генераторы» выбирается «Генератор сигналов». В открывшемся окне (рис. 3) выбираются генератор и настройки синусоидального сигнала: частота 1 000 Гц, уровень 0...3 В, смещение 0...3 В.

Нажатием кнопки «Включить» осуществляется включение выбранного генератора сигналов с настройками, после чего открывается окно «Измерение /Отображение», в котором выбирается программа «Тензометр» (рис. 4), предназначенная для проведения всех видов тензоизмерений с помощью тензометрических датчиков

(например, датчиков силы, датчиков крутящего момента, мостовых и полумостовых схем на тензорезисторах) и тензостанции ZET 017-T8 [19].

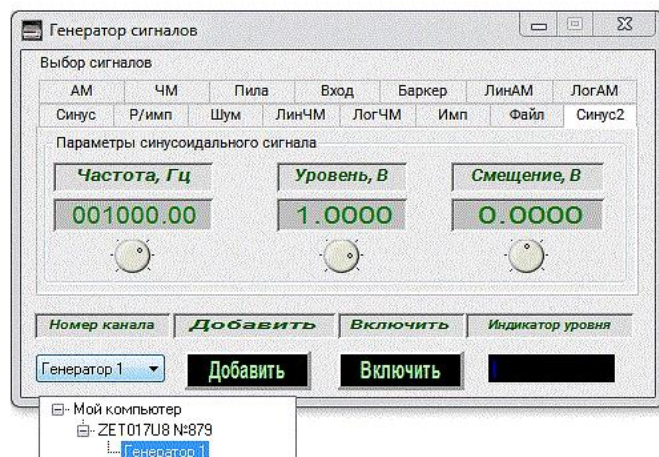


Рис. 3. Окно выбора генератора и параметров синусоидального сигнала

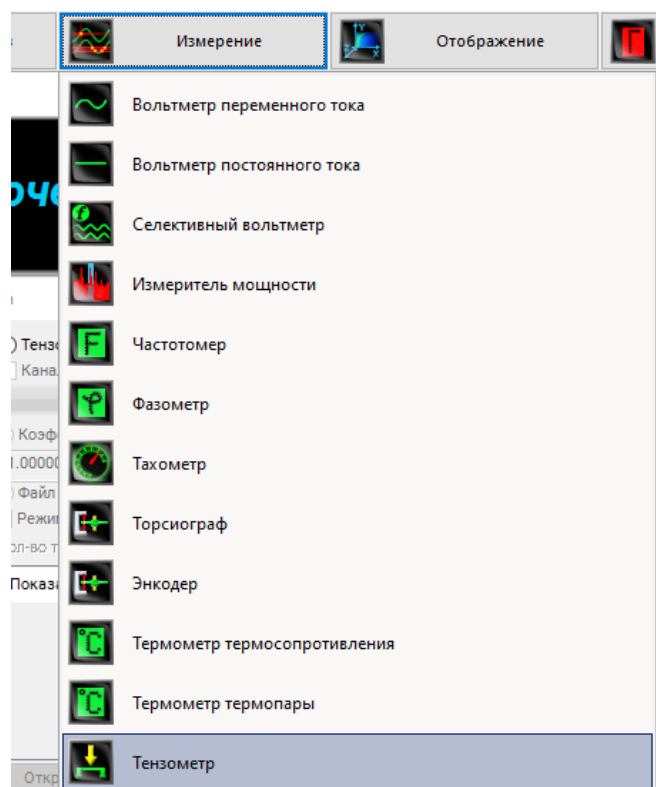


Рис. 4. Окно «Измерение/Отображение»

Программа «Тензомер» создает виртуальный канал, содержащий результаты измерений, и открывает диалоговое окно «Настройка параметров тензометра» (рис. 5).

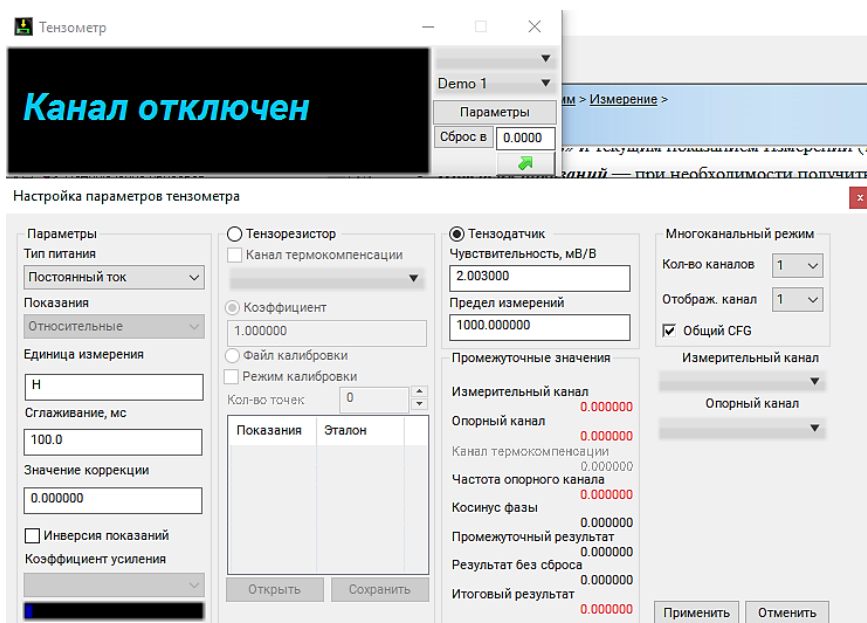


Рис. 5. Диалоговое окно «Настройка параметров тензометра»

В открывшемся окне выбираются:

ток питания датчиков – переменный или постоянный;

показания – абсолютные или относительные (при выборе относительных показаний необходимо задать два канала – измерительный и опорный; опорным по умолчанию является канал генератора; при выборе абсолютных показаний окно «Опорный канал» деактивируется);

единица измерения, которая будет отображаться на индикаторе программы рядом со значением – для рассматриваемого случая это Ньютоны (Н);

сглаживание – период, за который происходит усреднение измеренных значений (если интервал одного измерения составляет 100 мс, то время сглаживания необходимо задавать кратным 100 мс);

значение коррекции – значение, которое не учитывается при проведении измерений в случае активации кнопки на рабочем окне программы «Сброс в» (в данном поле отображается разница между величиной, указанной в поле «Сброс в», и текущим показанием измерений. Например, если в окне «Сброс в» устанавливать «0» а при текущем измерении «3», то в поле коррекции будет значение «3»);

инверсия показаний (в окне при необходимости ставится галочка), позволяющая получить результаты, противоположные по значению;

коэффициент усиления – усиление по измерительному каналу в 1, 10, 100 или 1 000 раз.

При использовании в качестве чувствительного элемента тензорезисторов настройка параметров осуществляется в соответствующем поле «Тензорезистор», при этом поле «Тензодатчик» деактивируется [19]. Для настройки тензодатчиков доступны два параметра, указанных в паспорте тензодатчика: чувствительность, мВ/В; предел измерений – максимальное значение деформации, которое способен зафиксировать датчик (чувствительность тензодатчика PST Load Cell составляет 2,003, а предел измерений 1 000 Н).

После фиксации указанных настроек кнопкой «Применить» открывается окно определения способа регистрации сигнала, где необходимо выбрать программу «Многоканальный самописец» (рис. 6).

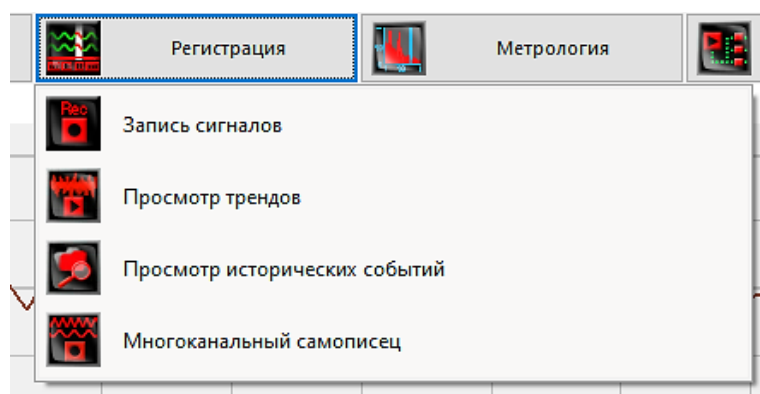


Рис. 6. Окно определения способа регистрации сигнала

Программа «Многоканальный самописец» позволяет непрерывно записывать полученные параметры сигналов в файл – электронный цифровой протокол испытаний. При этом на экране монитора открывается рабочее окно программы, в котором отображаются время и среднее квадратичное значение уровня измеряемого сигнала (рис. 7).

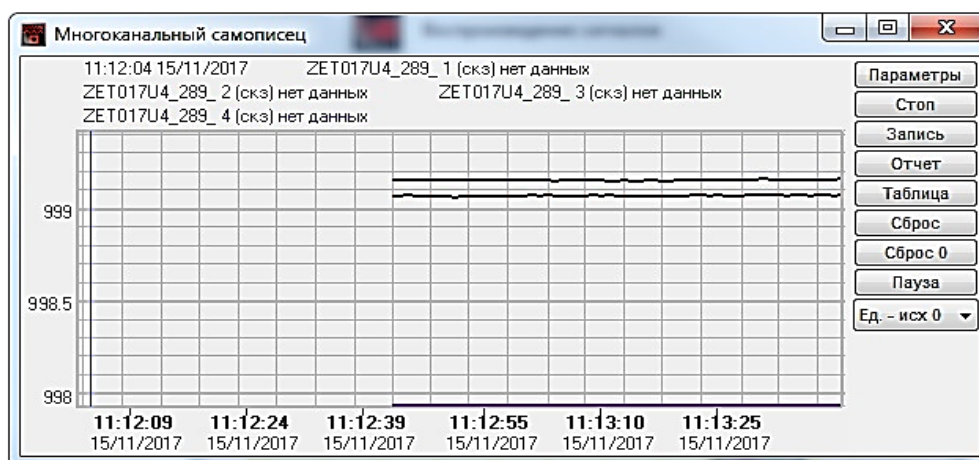


Рис. 7. Рабочее окно программы «Многоканальный самописец»

Нажатием на кнопку «Параметры» осуществляется переход в окно настроек многоканального самописца (рис. 8). В открывшемся окне выбираются следующие параметры измерений:

- интервал – 10,0;
- усреднение – 0,1;
- единица измерения – секунды;
- ширина окна – 1;
- количество измеряемых параметров – 2 (время и сила).

Нажатием кнопки «Применить» все выбранные параметры сохраняются в настройках [19]. После выполнения описанных основных шагов программный комплекс ZETLAB считается настроенным и готовым к работе.

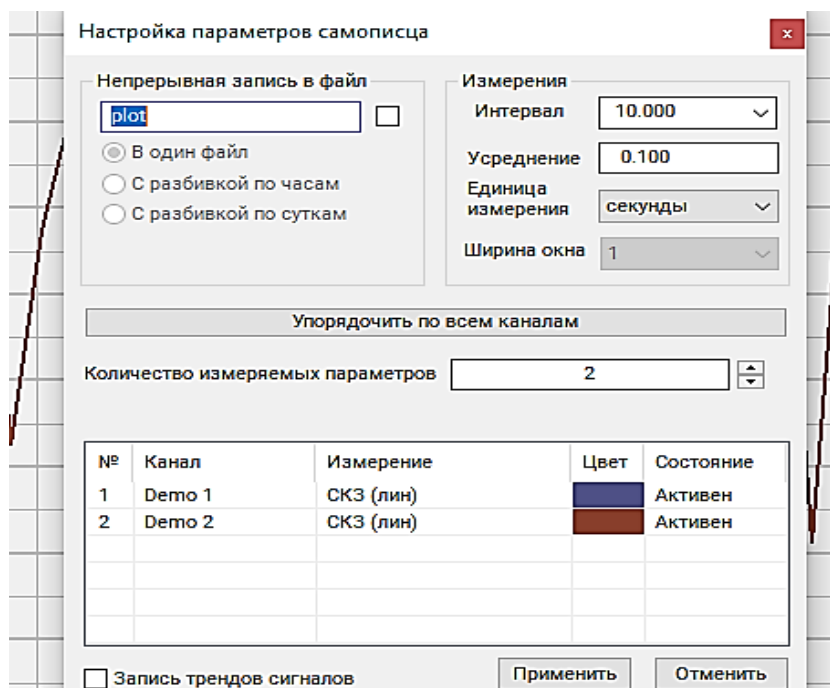


Рис. 8. Окно настроек параметров самописца

Для экспериментального исследования по оценке энергоемкости фрезерования был подготовлен торфяной монолит [4, 18]. После его закрепления и включения электродвигателя привода фрезы лабораторной установки производился предварительный полировочный срез монолита для создания относительно ровной поверхности. От уровня этой поверхности в дальнейшем отсчитывалась глубина первого фрезерования. В качестве настраиваемых параметров установки были выбраны: глубина фрезерования $H = 8$ мм; скорость поступательного движения тележки с монолитом $w = 0,381$ м/с; частота вращения фрезы $n = 1\ 000$ об/мин [4, 18].

Для начала записи сигнала в окне программы «Многоканальный самописец» необходимо нажать кнопку «Запись». Затем включается электродвигатель привода тележки с монолитом. По завершении фрезерования монолита следует остановить тележку и прекратить запись сигнала командой «Стоп». Тележка с монолитом возвращается в исходное положение, электродвигатель привода фрезы выключается.

После каждого опыта следует устанавливать глубину фрезерования равной 8 мм и увеличивать угол поворота фрезы на 5° .

Определение энергоемкости фрезерования осуществлялось по осциллограммам нагрузки F , снятым с помощью тензостанции ZET 017-T8 при девяти положениях фрезы с пятикратной повторяемостью опытов. При этом на каждой осциллограмме, для исключения холостой работы фрезы и пиковых нагрузок, связанных со входом фрезы в монолит и выходом из него, вручную определялись моменты начала и конца измерений. Расчет энергоемкости при фрезеровании A , Дж/м³, выполнялся по формуле

$$A = \frac{N_\phi}{Q_\phi} = \frac{M_\phi \omega}{B_A H w} = \frac{\pi n L F}{30 B_A H w},$$

где N_ϕ – мощность, Вт; Q_ϕ – производительность фрезерной установки, м³/с; M_ϕ – момент сопротивления фрезерованию на валу фрезы, Н · м; ω – угловая скорость

вращения фрезы, c^{-1} ; B_A – активная ширина фрезы, м; $L = 0,2 \dots 0,5$ м – длина плеча двухплечего рычага на статоре электродвигателя привода фрезы (зависит от места установки датчика).

Следует отметить, что в связи с косым расположением фрезы уменьшается ее активная ширина захвата. Методика расчета активной ширины фрезы подробно описана в работе [20], однако этот параметр может быть определен и по упрощенной формуле

$$B_A = B \cdot \cos \varphi,$$

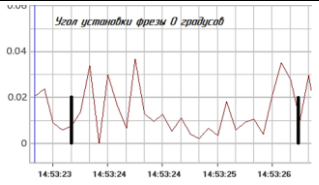
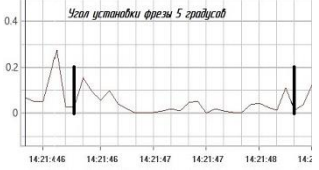


где $B = 0,16$ м – общая ширина фрезы; φ – угол поворота фрезы в плане (изменялся в ходе экспериментов от 0 до 40° с шагом 5°).

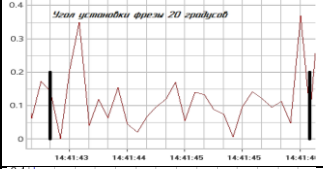

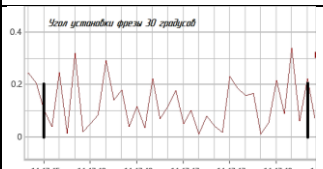
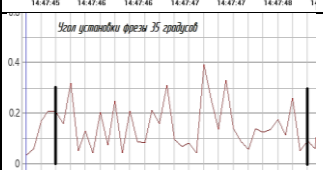

Оценивать уменьшение активной ширины фрезы при ее повороте предлагается коэффициентом использования ширины фрезы K_B , представляющим собой отношение активной ширины захвата фрезы B_A к общей ширине фрезы B [4, 18, 20].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты экспериментов по оценке коэффициента использования ширины фрезы K_B и средней удельной энергоемкости фрезерования A при установке фрезы под углом от 0° до 40° представлены в таблице.

Таблица. Результаты исследования косоугольного фрезерования торфяного монолита

№ серии опытов	$\varphi, ^\circ$	Фрагмент осциллограммы нагрузки фрезы	K_B	$A, \text{кДж/м}^3$
1	0		1,0	1,29
2	5		0,996	3,54
3	10		0,985	4,20
4	15		0,966	4,53

№ серии опытов	$\varphi, ^\circ$	Фрагмент осциллограммы нагрузки фрезы	K_B	$A, \text{кДж/м}^3$
5	20		0,940	6,40
6	25		0,907	8,32
7	30		0,867	12,55
8	35		0,819	12,68
9	40		0,766	19,13

Зависимость удельной энергоёмкости фрезерования торфяного монолита от угла установки фрезы, построенная на основании приведенных в таблице данных, представлена на рис. 9. Как видно из графика, оптимальная величина угла составляет 20° относительно поперечной оси машины.

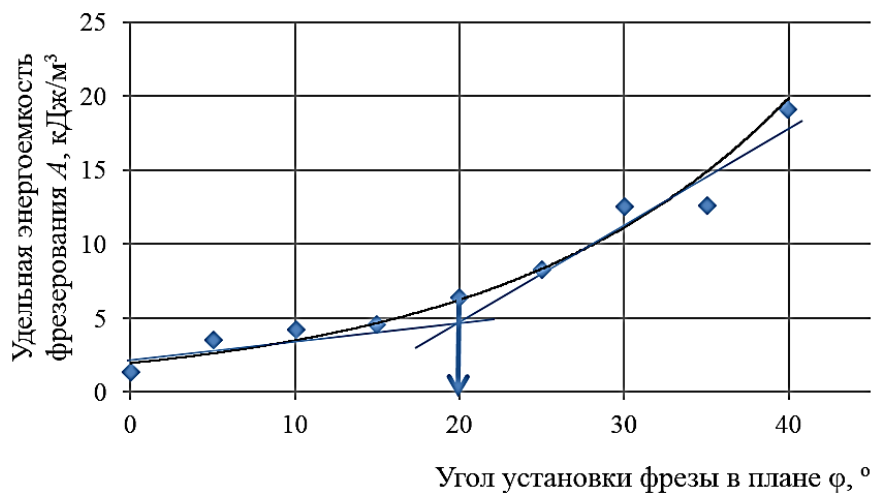


Рис. 9. Зависимость удельной энергоёмкости фрезерования от угла установки фрезы

Как видно из рис. 9, при дальнейшем увеличении угла установки фрезы начинается более интенсивное повышение удельной энергоемкости фрезерования, что может негативно сказаться на всем производственном процессе.

Аппроксимация опытных данных позволила получить математическую модель, описывающую зависимость удельной энергоемкости фрезерования от угла установки фрезы относительно поперечной оси при коэффициенте детерминации $R^2 = 0,936$:

$$A = 1,95e^{0,058\varphi}.$$

Таким образом, угол установки фрезы торфяного бровкореза 20° может считаться оптимальным сразу по ряду критериев – отсутствию забрасывания торфяной крошки прилегающего картового канала, интенсивности уменьшения активной ширины захвата фрезы [4, 18] и интенсивности роста удельной энергоемкости фрезерования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью проведенного экспериментального исследования обоснована величина угла установки фрезы торфяного бровкореза с позиции оптимальной энергоемкости. Этот угол составляет 20° относительно поперечной оси. Следует отметить, что данный результат хорошо согласуется с выводами статей [4, 18].

Угол поворота фрезы на существующих бровкорезах [7, 8] составляет около 30° . Достичь поворота фрезы на такой угол без применения специальных угловых редукторов не представляется возможным. Поскольку на основании комплекса проведенных нами исследований установлено, что данный угол должен быть не 30° , а 20° , то задача значительно упрощается, так как подобный угол можно получить путем установки карданных шарниров неравных угловых скоростей.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность аспиранту Жукову Никите Михайловичу, принимавшему участие в организации и проведении экспериментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мисников О.С., Копенкина Л.В. Возникновение торфяного дела в России // *Горный журнал*. 2020. № 2. С. 95–99.
2. Самсонов Л.Н. Фрезерование торфяной залежи. М.: Недра, 1985. 211 с.
3. Ratamäki O., Jokinen P., Albrecht E., Belinskij A. Framing the Peat: The Political Ecology of Finnish Mire Policies and Law // *Mires and Peat*. 2019. V. 24 (17). P. 1–12.
4. Яблонев А.Л., Жуков Н.М. Экспериментальное обоснование угла установки фрезы торфяного бровкореза // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2023. № 2 (18). С. 21–30.
5. Kozulin A., Tanovitskaya N., Minchenko N. Developing a National Strategy for the Conservation and Sustainable Use of Peatlands in the Republic of Belarus // *Mires and Peat*. 2018. V. 21. Article 05. P. 1–17.
6. Профилировщики торфяные шнековые. URL: <https://amkodor.by/catalog/cat/tehnika-dlya-torfa/profilirovshhik-torfyanoj-shnekovyj/> (дата обращения: 07.01.2024).

7. MERIPEAT. URL: <https://www.meripeat.com/ru/products-ru/milled-peat-production-ru> (дата обращения: 02.11.2022).
8. Профилировщик ПР-1. URL: <https://erm.mogilev.energo.by/ru-ru/продукция/торфозаготовка/профилировщикпр1.aspx> (дата обращения: 07.01.2024).
9. Патент РФ 180545 *Профилировщик краев торфяных карт* / Яблонев А.Л., Жуков Н.М., Гусева А.М.; Заявл. 12.03.2018. Опубл. 18.06.2018. Бюл. № 17.
10. Cheluszka P., Jagieła-Zajac A. Determining the Position of Pick Holders on the Side Surface of the Working Unit of the Cutting Machine in the Robotic Technology of their Assembly // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. № 261. P. 012003.
11. Medolago A., Melzi S. A Flexible Multi-Body Model of a Surface Miner for Analyzing the Interaction between Rock-cutting Forces and Chassis Vibrations // *Int. J. of Mining Science and Technology*. 2021. V. 31. Is. 3. P. 365–375.
12. Фомин К.В. Методика оценки спектральной плотности момента сопротивления на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата // *Записки горного института*. 2020. Т. 241. С. 58–67.
13. Фомин К.В., Рахутин М.Г. Моделирование повреждающих воздействий на режущих элементах рабочего органа фрезерующего агрегата при взаимодействии с торфом // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-техн. журнал)*. 2019. № S39. С. 36–46.
14. Фомин К.В. Моделирование нагрузок на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата с учетом погрешности расстановки режущих элементов // *Горные науки и технологии*. 2022. Т. 7. № 2. С. 161–169.
15. Яблонев А.Л. Цифровое тензометрирование при лабораторном исследовании процесса фрезерования торфяной залежи // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-техн. журнал)*. 2018. № 1. С. 182–189.
16. Мисников О.С., Копенкина Л.В., Зюзин Б.Ф. Научные школы Московского торфяного института и их развитие в Тверском государственном техническом университете // *Горный журнал*. 2022. № 5. С. 9–22.
17. Патент РФ 2755779 *Лабораторный стенд для исследования прямоугольного и косоугольного резания фрезой торфяных монолитов* / Яблонев А.Л., Гусева А.М., Жуков Н.М.; Заявл. 30.12.2020. Опубл. 21.09.2021. Бюл. № 27.
18. Яблонев А.Л., Жуков Н.М. Обоснование угла установки фрезы профилировщика краев торфяных карт // *Горный журнал*. 2023. № 3. С. 55–59.
19. Программное обеспечение ZETLAB. URL: <https://ZETLAB.com/shop/programmnoe-obespechenie/programmnoe-obespechenie-ZETLAB/ZETLAB-tenzo/> (дата обращения: 08.06.2020).
20. Яблонев А.Л., Жуков Н.М. Расчет момента сопротивления фрезерованию торфяной залежи при попадании фрезы на пень и активной ширины рабочего органа // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2021. № 2 (10). С. 51–61.

Для цитирования: Яблонев А.Л. Оптимизация угла установки фрезы торфяного бровкореза с позиции энергоемкости фрезерования // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2024. № 2 (22). С. 44–55.

OPTIMIZATION OF THE INSTALLATION ANGLE OF THE CUTTER OF THE PEAT EDGE CUTTER FROM THE POSITION OF ENERGY INTENSITY OF MILLING

A.L. YABLONEV, Dr. Sc.

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

Peat extraction by milling involves layer-by-layer surface treatment of karst fields. At the same time, the channel strips due to high humidity and reduced load-bearing capacity turn out to be untreated, edges appear that make it difficult to remove moisture from the surfaces of fields and the operation of technological equipment. This problem can be solved by treating the surfaces of the fields with special eyebrow cutters. However, existing models of brow cutters process only one brow in one pass. The concept of a peat brow cutter developed by us, capable of processing both edges of the fields adjacent to the cart channel in one pass, required experimental studies to establish the optimal angle of rotation of the cutter relative to the transverse axis of the machine. In the presented study, which contains the methodology and experimental results, the value of this angle is justified from the perspective of the optimal energy intensity of milling a peat deposit.

Keywords: peat production field, edge cutter, oblique milling, peat field channel, energy intensity, strain gauging, load cell.

Поступила в редакцию/received: 09.01.2024; после рецензирования/revised: 24.01.2024;
принята/accepted: 30.01.2024

УДК 622.232.7

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕКТОРА ВНЕШНЕГО ВОЗМУЩЕНИЯ НА ОСЕВОЙ КОРОНКЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА

О.Е. ШАБАЕВ¹, д-р. техн. наук, А.Ю. ДОВГАНЬ^{1,2}, аспирант

¹Донецкий национальный технический университет,
283001, Донецк, ул. Артема, 58, e-mail: donntu.info@mail.ru

²ГУ «Автоматгормаш им. В.А. Антипова»,
283003, Донецк, пр. Ильича, 93, e-mail: avtomatgormash@mail.ru

© Шабает О.Е., Довгань А.Ю., 2024

Разработана комплексная модель формирования вектора внешнего возмущения на осевой коронке исполнительного органа, учитывающая влияние горно-геологических условий и режимных параметров работы комбайна на процесс разрушения горного массива, которая состоит из моделей разрушаемого массива и поверхности забоя, нахождения координат вершины резца в забое, оценки условия контактирования резца с массивом, определения параметров процесса разрушения массива резцами коронки для определения усилий резания и подачи на резце с учетом