

Оригинальное исследование

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-634723>

EDN: XTCICV



Влияние износа режущих элементов на эффективность работы дорожной фрезы

Л.М. Шамахов, Д.В. Фурманов

Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Дорожные фрезы широко используются для удаления верхних слоев асфальтобетонных покрытий. Режущие элементы дорожной фрезы подвержены износу, протекающему не равномерно. Такой износ, чаще всего проявляется по-разному на всем комплекте режущих элементов, расположенных по всей ширине фрезерного барабана.

Целью представленной работы является определение сил сопротивления резанию, возникающих при фрезеровании асфальтобетонных покрытий дорожными фрезами с учётом разных типов износа режущих элементов. Полученные экспериментальные данные позволяют провести сравнительный анализ сил, действующих на изношенные режущие элементы в сравнении с новым режущим элементом.

Методы. Изношенные режущие элементы, выбранные для проведения исследования, разделены на следующие виды: правильный износ; чрезмерный износ; неравномерный износ корпуса резца и наконечника; деформация шайбы и фиксирующей втулки. Экспериментальные исследования проводились на образцах асфальтобетонного покрытия с номинальным размером минерального заполнителя 16,0 мм. Этот материал широко используется для дорог с нормальными условиями движения. Экспериментальные исследования проводились на маятниковом стенде.

Результаты. Отмечается, что неправильный износ режущего элемента может привести к увеличению сил сопротивления резанию более чем в три раза по сравнению с силами, которые возникают на новом режущем элементе. Проведенный анализ позволил выявить наиболее неблагоприятные виды износа режущих элементов дорожных фрез. Полученные данные позволят прогнозировать изменения нагрузок на рабочем органе фрезерных машин в процессе эксплуатации. Это, в свою очередь, позволяет создавать более совершенные конструкции дорожно-фрезерного оборудования.

Заключение. Для разрабатываемых машин появляется возможность предусмотреть необходимый запас прочности элементов фрезерного барабана и обосновать запас мощности его привода. Полученные данные так же позволят обоснованно подходить к выбору интервала замены режущих элементов в процессе эксплуатации фрезерного оборудования. Такие мероприятия в совокупности приведут к повышению удельной производительности оборудования и качества отфрезерованной поверхности. Достигнутые результаты также дают возможность вносить изменения в уже существующие математические модели и методы расчёта фрезерных машин с учетом фактора износа режущих элементов.

Ключевые слова: сила сопротивления резанию; стенд маятникового типа; асфальтобетон; резание материалов; методика исследования.

Как цитировать:

Шамахов Л.М., Фурманов Д.В. Влияние износа режущих элементов на эффективность работы дорожной фрезы // Тракторы и сельхозмашины. 2025. Т. 92, № 2. С. 204–212. DOI: 10.17816/0321-4443-634723 EDN: XTCICV

Рукопись получена: 31.07.2024

Рукопись одобрена: 26.05.2025

Опубликована online: 27.05.2025

Original Study Article

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-634723>

EDN: XTCICV

Influence of Cutter Tool Wear on the Efficiency of the Road Cutter

Leonid M. Shamakhov, Denis V. Furmanov

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Road cutters are widely used for removing the top layers of asphalt concrete pavements. The cutting elements of a road cutter are subject to uneven wear. This kind of wear mostly develops in different ways on the entire set of cutting elements located along the entire width of the milling drum.

AIM: Defining the cutting resistance forces that occur when milling asphalt concrete pavements with road cutters, taking into account different types of wear of cutting elements. The experimental data obtained make it possible to conduct a comparative analysis of the forces acting on worn cutting elements in comparison with a new cutting element.

MATERIALS AND METHODS: The worn cutting elements selected for the study are divided into the following types: correct wear; excessive wear; uneven wear of the cutter body and the tip; deformation of the washer and the fixing sleeve. Experimental studies were conducted on samples of asphalt concrete pavement with a nominal mineral aggregate size of 16.0 mm. This material is widely used for roads with normal traffic conditions. Experimental studies were conducted with a pendulum bench.

RESULTS: It is noted that improper wear of the cutting element can lead to an increase in cutting resistance forces by more than three times compared to the forces that arise on a new cutting element. The analysis made it possible to identify the most unfavorable types of wear of the cutting elements of road cutters. The data obtained will make it possible to predict changes in loads on the working body of road milling machines during operation. This, in turn, allows developing more advanced designs of road milling equipment.

CONCLUSION: For the machines being developed, it becomes possible to provide the necessary safety margin for the elements of the milling drum and to justify the power reserve of its drive. The obtained data also make it possible to choose the replacement interval for cutting elements during the operation of milling equipment reasonably. These measures together will lead to an increase in the specific productivity of the equipment and will improve the quality of the milled surface. The achieved results also make it possible to make changes in the existing mathematical models and the calculation methods of milling machines, taking into account the wear factor of cutting elements.

Keywords: cutting resistance force; pendulum-type test bench; asphalt concrete; material cutting; test methodology.

To cite this article:

Shamakhov LM, Furmanov DV. Influence of Cutter Tool Wear on the Efficiency of the Road Cutter. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2025;92(2):204–212. DOI: 10.17816/0321-4443-634723 EDN: XTCICV

Submitted: 31.07.2024

Accepted: 26.05.2025

Published online: 27.05.2025

ВВЕДЕНИЕ

Качественный ремонт асфальтобетонного покрытия автомобильных дорог требует применения различного оборудования. Для удаления поврежденной поверхности асфальтобетонного покрытия используются дорожные фрезы. Режущие элементы дорожно-фрезерного оборудования подвержены износу, развитие которого протекает не равномерно и зависит не только от расположения режущего элемента на фрезерном барабане. Преждевременный износ, который, как правило, вызван неправильной установкой режущих элементов на барабане, налипанием асфальтобетона из-за несвоевременной очистки, не правильным выбором режущих элементов, недостаточной подачей воды системой орошения фрезерного барабана, заклиниванием оси режущего элемента в державке фрезы [1], проявляется по-разному на всем комплекте режущих элементов, расположенных по всей ширине фрезерного барабана. Поэтому, своевременная оценка степени износа режущего элемента может гарантировать бесперебойное и эффективное проведение работ по удалению изношенных дорожных покрытий.

В результате неправильного и, как следствие, преждевременного износа проявляются потеря производительности, повышаются нагрузки на фрезерный барабан, падает эффективность оборудования в целом. Появление таких неисправностей неизбежно в результате эксплуатации фрезерного оборудования, однако, на этапе проектирования и создания новых машин необходимо учитывать увеличение нагрузок на режущих элементах в процессе фрезерования. И тут возникает вопрос: как силы сопротивления резанию будут изменяться с проявлением различных видов преждевременного износа режущего элемента дорожной фрезы?

Вопросом изнашивания режущих элементов дорожных фрез, а также определением других основных параметров занимались многие ученые и инженеры. Благодаря этому, накоплен значительный опыт, позволяющий качественно и количественно описать различные показатели рабочего процесса фрезерования асфальтобетона с учетом износа режущих элементов.

Так в работе С.П. Осипова [2], авторы представляют ряд выражений и замечаний, которые являются основой алгоритма оценки долговечности вращающихся режущих элементов с износостойкими вставками сложной формы. По исходным данным (форма износостойкой вставки; предельное значение линейного параметра износа; угол между линией резания и осью вращения резца; радиус дорожной фрезы; глубина разрабатываемой траншеи) имеется возможность определить долговечность вращающегося режущего элемента с дальнейшим сравнением результатов и выявлением более благоприятной формы резца. К сожалению, авторы не дают сведений об изменении нагрузок на режущих элементах, возникающих на рабочем оборудовании дорожной фрезы

в процессе взаимодействия изношенных режущих элементов с асфальтобетонным покрытием. Следовательно, предусмотреть требуемый запас прочности и мощности проектируемого фрезерного оборудования еще на этапе проектирования невозможно. Скорее всего, такая задача автором не ставилась. Отметим, что, представленные результаты позволяют описать процесс износа режущего элемента, что в свою очередь уточняет эксплуатационные свойства дорожно-фрезерного оборудования.

Еще в одной работе С.П. Осипова [3] была предложена методика оценки экономической эффективности своевременной замены режущих элементов. Исследователи, в данной работе попытались доказать существование оптимального времени эксплуатации одного комплекта режущих элементов. Однако, поскольку работа не опирается на реальные значения сил сопротивления резанию, невозможно определить дополнительные затраты энергии. Судить об эффективности своевременной замены изношенных режущих элементов по данной методике не корректно. Отметим также, что в работе не было рассмотрено случаев с преждевременным износом режущих элементов дорожно-фрезерного оборудования, поэтому данный вопрос раскрыт не до конца. Тем не менее, полученные данные являются хорошей базой для продолжения исследований в этой области.

Работа [4] отражает результаты полевых экспериментальных исследований, позволяющих статистически определить и оценить динамику износа режущего элемента двух разных производителей. Результат, достигнутый исследователями, показывает, что длина режущего элемента, диаметр твердосплавного наконечника и диаметр стального корпуса резца уменьшается пропорционально площади отфрезерованной поверхности асфальтобетонного покрытия. Для более полного отображения результатов исследования не хватает данных о влиянии таких параметров как, подача и скорость вращения рабочего оборудования. Полученные результаты исследований можно использовать для подбора подходящих режущих элементов дорожной фрезы в зависимости от интенсивности их износа.

Результаты натурного эксперимента по фрезерованию асфальтобетонного покрытия автомобильных дорог отображены в работе [5]. Авторы провели экспериментальные исследования на четырех разных площадках. На каждой изменялись три параметра дорожно-фрезерного оборудования – подача, глубина фрезерования и частота вращения фрезерного барабана. Остальные параметры (тип покрытия, тип фрезерного барабана, тип машины) оставались неизменными. Результаты показывают, что при большей глубине фрезерования, увеличении подачи фрезерного оборудования приводит к образованию более крупной фракции асфальтобетона, а также при небольшой частоте или малой глубине фрезерования размер фракции не зависит от скорости перемещения. Однако, в данной работе, было бы интересно выявить закономерности износа

режущего элемента дорожной фрезы при различных режимах работы дорожно-фрезерного оборудования.

Результатом работы Peng-yu M. [6] стало определение основных параметров дорожных фрез, влияющих на потребление энергии при холодном фрезеровании асфальтобетонной поверхности.

В своей работе Pirnaev S [7], получил математическую зависимость влияния геометрических размеров резца на интенсивность износа режущего элемента дорожно-фрезерного оборудования.

Энергоэффективность дорожно-фрезерной машины показанная в работе Wang X. [8] исследуется путем постановки полевого эксперимента. Основываясь на полученных результатах, выдвинуто предложение использовать модель, которая позволяет адаптировать параметры привода под используемые режимы работы фрезерной машины. Отмечается значительное повышение коэффициента использования мощности привода и увеличению коэффициента полезного действия.

В статье [9], приведена усовершенствованная технология фрезерования трещин в асфальтобетонных покрытиях. Исследователю удалось выявить факторы, возникающие в процессе фрезерования асфальтобетонных подверженному температурному воздействию.

Целью большинства работ является оценка эксплуатационных показателей фрезерных машин. Однако, представленные результаты не позволяют производить параметрические расчёты указанных машин классическими методами. Несмотря на высокую значимость, в представленных работах не получены значения нагрузок, действующих на режущие элементы дорожно-фрезерного оборудования, при фрезеровании асфальтобетонного покрытия. Вместе с тем, авторы рассмотренных работ, а также многих других работ, связанных с фрезерованием асфальтобетонных, описание которых отсутствует в данной статье, не рассматривают влияние поперечных колебаний. Мы можем предположить, что они достаточно незначительны и ими можно пренебречь или они вовсе отсутствуют в процессе фрезерования.

В следующих разделах будет рассмотрена методика проведения экспериментальных исследований, а также полученные результаты.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью данного исследования является экспериментальное определение сил сопротивления резанию асфальтобетона в зависимости от вида износа режущего элемента и глубины фрезерования. Выявление наиболее неблагоприятных видов износа режущих элементов и получение зависимостей для прогнозирования изменения нагрузок на рабочем органе. Исследование направлено на решение основных задач проектирования новых образцов дорожных фрез с учётом возможных изменений нагрузок на рабочем органе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучение рабочего процесса фрезерования асфальтобетонного покрытия дорожной фрезой логично начинать с изучения взаимовлияния отдельного режущего элемента дорожной фрезы с асфальтобетоном. Поэтому, для проведения экспериментальных исследований выбран маятниковый стенд, который по принципу действия схож с маятниковым копром [10] для определения ударной вязкости металла, а также с копром для определения сил, возникающих в процессе фрезерования торфяной залежи [11].

Маятниковый стенд (рис. 1) имеет опоры 1, которые жёстко закреплены на фундаменте с помощью дополнительных растяжек 2. На опоры в подшипниках качения установлен маятниковый рычаг 3. Лимб 4 служит для фиксации угла отклонения маятника и максимального угла отклонения после удара. На дополнительном регулируемом рычаге 5 размещается площадка под разные

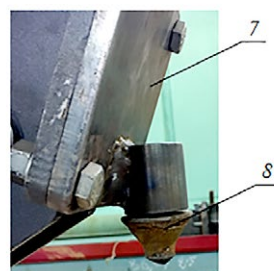
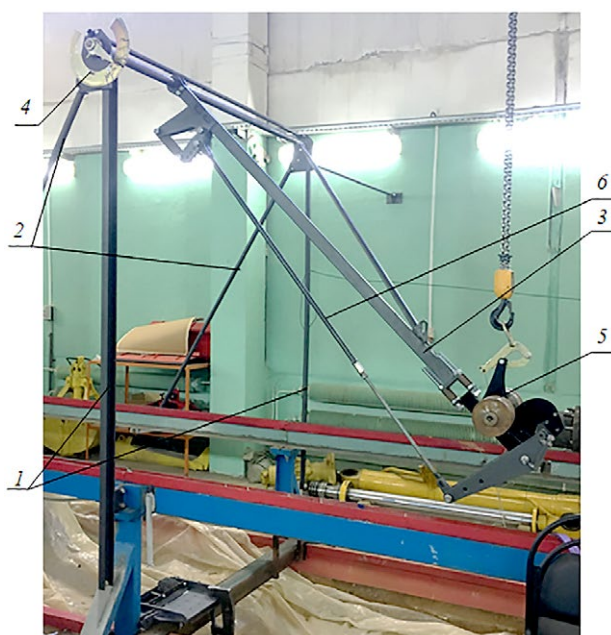


Рис. 1. Стенд маятникового типа: *a* — рама; 1 — опора; 2 — растяжка; 3 — рычаг; 4 — лимб; 5 — регулируемый рычаг; 6 — система рычагов; *b* — резцедержатель: 7 — установочная площадка; 8 — резец. Составлено авторами.

Fig. 1. Pendulum-type test bench: *a*: frame; 1: column; 2: extension rod; 3: lever; 4: limb; 5: adjustable lever; 6: lever system; *b*: tool holder; 7: setting pad; 8: cutter. Compiled by the authors.

типы режущих элементов. Изменение угла входа режущего элемента в асфальтобетон осуществляется за счет системы рычагов 6. На рычаге 5 находится площадка 7 для крепления режущего элемента 8. Подробное описание работы стенда описано в работе [12].

Принцип работы стенда основан на теореме об изменении кинетической энергии. Согласно этой теореме, изменение кинетической энергии механической системы при её перемещении равно сумме работ всех сил, на соответствующих перемещениях точек приложения этих сил:

$$K - K_0 = \sum A, \quad (1)$$

где K — кинетическая энергия, начала процесса резания, Дж; K_0 — кинетическая энергия в момент выхода резца из зоны резания, Дж; A — работа всех сил, Дж.

Кинетическая энергия маятника до и после сбрасывания определяется на основе преобразования потенциальной энергии в кинетическую и обратно. Потенциальная энергия перед сбрасыванием определяется по высоте взведённого маятника h .

$$E_{nom} = m_{np} \cdot g \cdot h, \quad (2)$$

где m_{np} — приведённая масса маятника, кг; g — ускорение свободного падения, м/с²; h — высота сбрасываемого маятника, м.

При сбрасывании маятника потенциальная энергия преобразуется в кинетическую и в момент касания с материалом кинетическая энергия равна начальной потенциальной энергии.

$$K = E_{nom}, \quad (3)$$

После прохождения зоны резания, маятник по инерции поднимается на высоту h' , фиксируя угол отклонения на лимбе. Зная значение угла отклонения маятника, возможно определить высоту подъёма маятника по теореме косинусов. Оставшаяся кинетическая энергия преобразуется в потенциальную.

$$K_0 = m_{np} \cdot g \cdot h', \quad (4)$$

Разница между начальной и конечной кинетической энергией определяет работу сил сопротивления резанию.

$$A = K - K_0 = m_{np} \cdot g \cdot (h - h'), \quad (5)$$

В свою очередь, приведённая масса m_{np} рассчитывается исходя из равенства кинетических энергий реального (физического) маятника с его математическим аналогом. Значение величины момента инерции можно определить аналитически, учитывая положение и форму каждого элемента, составляющего маятник. У физического маятника период колебаний связан с моментом

инерции маятника и его статическим моментом, поэтому массу и центр тяжести находить не требуется. Статический момент маятника определяется достаточно точно, подвесив плечо маятника в произвольной точке к динамометру. Таким образом приведённая масса определяется по формуле.

$$m_{np} = \frac{T^2 \cdot M}{4 \cdot \pi^2 \cdot L^2}, \quad (6)$$

где T — период колебаний; M — статический момент, Н·м; L — расстояние от оси вращения до центра масс, м.

Определим среднее значение горизонтальной составляющей силы сопротивления резания по измеренной длине пути:

$$F_{cp} = \frac{A}{S}, \quad (7)$$

где S — путь, пройденный режущим элементом, м.

При моделировании процессов фрезерования и динамического разрушения асфальтобетона стенд маятникового типа лучше всего подходит для определения энергетических и силовых характеристик процесса резания отдельными режущими элементами. В процессе испытаний, маятник перемещается по дуге и при малых размерах образца асфальтобетона провести качественный замер радиуса дуги контакта образованного следа достаточно трудно. Поэтому, определяется усредненное значение толщины срезаемой стружки.

В качестве исходных данных для проведения экспериментального исследования был выбран следующий ряд параметров: в качестве фрезеруемого материала выбран асфальтобетон марки А16вн, так как он нашел широкое применение в строительстве автомобильных дорог в качестве верхнего слоя и уже сейчас требуется понимать как будут изменяться нагрузки при фрезеровании асфальтобетонных, изготовленных по новому стандарту [13]; образцы асфальтобетона, используемые в исследовании, имеют вид вырубki (рис. 2) из асфальтобетонного покрытия, сделанной через два месяца после его уплотнения и запуска дорожного движения на автомобильной дороге; поверхность образцов асфальтобетона предварительно не подвергалась увлажнению или сушке; неровности на поверхности асфальтобетона отсутствуют, тем не менее присутствует (см. рис. 2) допустимая шероховатость поверхности, вызванная минеральным заполнителем; инородные кусковые материалы на поверхности асфальтобетона отсутствуют; температура образцов асфальтобетона составляет 22°C; начальная скорость резания принята равной 4 м/с для каждого опыта и соответствует нормальному рабочему режиму многих существующих дорожных фрез; для испытаний использовались режущие элементы, прошедшие термостатированные при комнатной температуре и в процессе проведения испытания их температура не изменялась; режущие элементы были отсортированы по виду износа (рис. 3).

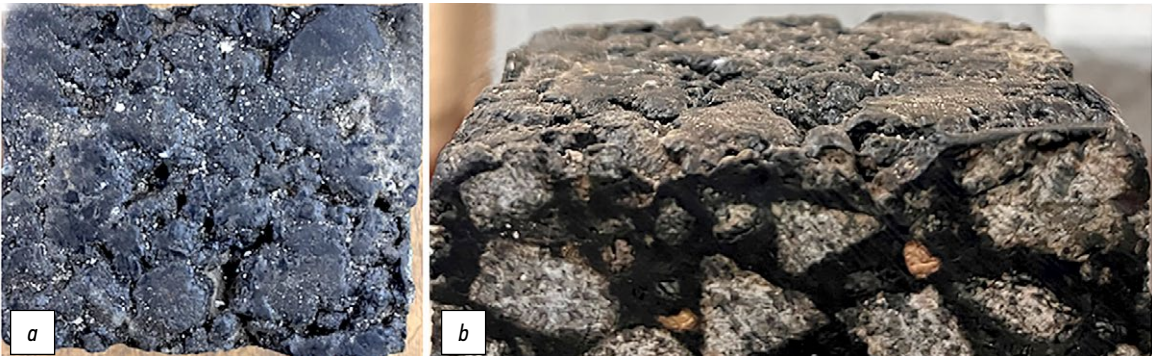


Рис. 2. Внешний вид образца асфальтобетона марки А16вн: *a* — вид сверху; *b* — вид сбоку. Составлено авторами.
Fig. 2. Exterior view of A16vn grade asphalt concrete sample: *a*: top view. *b*: side view. Compiled by the authors.

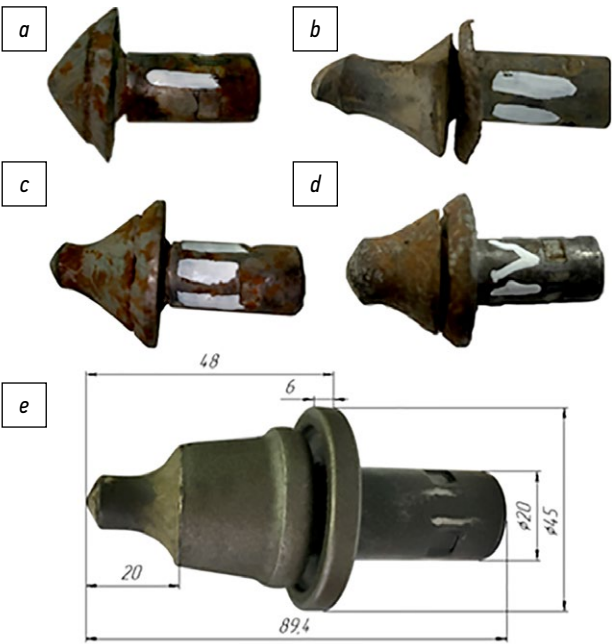


Рис. 3. Разноизношенные режущие элементы дорожной фрезы, используемые для проведения эксперимента: *a* — чрезмерный износ; *b* — неравномерный износ корпуса резца и наконечника; *c* — резец с деформированной шайбой и фиксирующей втулкой; *d* — правильный износ; *e* — режущий элемент модели А8/20. Составлено авторами.
Fig. 3. Cutting elements of road cutters with different degrees of wear used for the experiment: *a*: excessive wear; *b*: uneven wear of the cutter body and the tip; *c*: cutter with deformed washer and locking sleeve; *d*: correct wear; *e*: the A8/20 cutter element. Compiled by the authors.

А именно чрезмерный износ (см. рис. 3, *a*), неравномерный износ корпуса резца и наконечника (см. рис. 3, *b*), деформация шайбы и фиксирующей втулки (см. рис. 3, *c*), правильный износ (см. рис. 3, *d*), классификация которых указана заводом производителем [1]. Сравнение полученных результатов было проведено по новому режущему элементу модели А8/20 (см. рис. 2, *e*) с диаметром твердосплавного наконечника 8 мм производства ОАО «Кировоградский завод твёрдых сплавов» г. Кировоград, Российская Федерация.

На основе исходных данных было проведено экспериментальное исследование, по результатам которого удалось построить зависимость силы сопротивления резанию от вида износа режущего элемента и толщины срезаемой стружки, а также получить некоторые выводы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе проведения исследования определены значения нагрузок, действующих на единичный режущий элемент дорожной фрезы. Полученные результаты, отображены на графике зависимости сил сопротивления резанию от толщины срезаемой стружки и вида износа режущего элемента (рис. 4) и получены уравнения регрессии (табл. 1).

Таблица 1. Результаты исследования. Составлено авторами
Table 1. Study results. Compiled by the authors

Вид износа режущего элемента	Значение силы сопротивления резанию, Н (Уравнение регрессии)	Значение достоверности аппроксимации, R2
Чрезмерный износ (резец №1)	$F = 2342.5 \cdot h^{0.3108}$	0,9749
Неравномерный износ корпуса резца и наконечника (резец №2)	$F = 200.76 \cdot h^{0.7365}$	0,9504
Резец с деформированной шайбой и фиксирующей втулкой (резец №3)	$F = 484.2 \cdot h^{0.6273}$	0,9691
Правильный износ (резец №4)	$F = 566.9 \cdot h^{0.7744}$	0,9955
Новый режущий элемент	$F = 385.2 \cdot h^{0.6892}$	0,9804

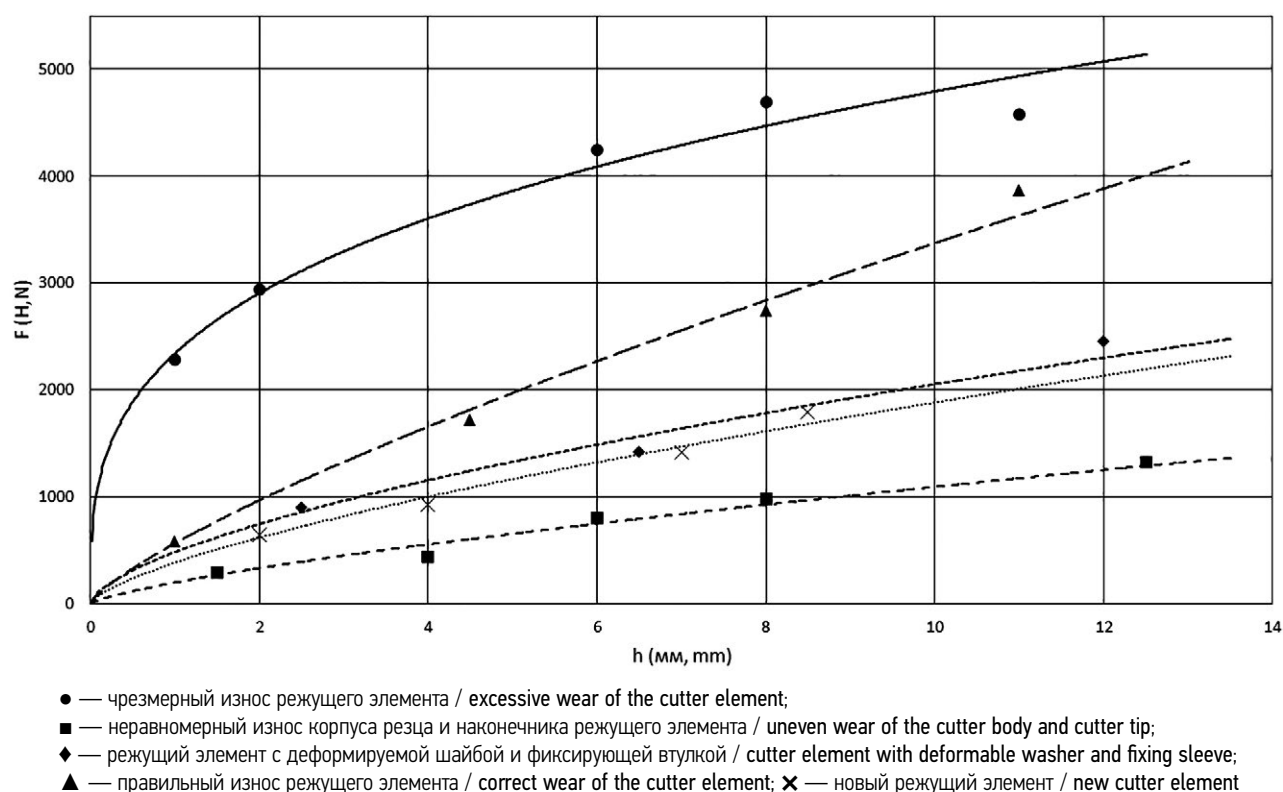


Рис. 4. График зависимости сил сопротивления резанию (F) от вида износа режущего элемента и толщины срезаемой стружки (h) асфальтобетона марки А16вн. Составлено авторами.

Fig. 4 Graph of the dependence of the cutting resistance forces (F) on the type of wear of the cutting element and the thickness of the chip to be cut (h) of the A16vn asphalt concrete. Compiled by the authors.

ОБСУЖДЕНИЕ

Отметим несколько важных выводов, которые вытекают из результатов проделанной работы.

1. Исследования показали, что энергоёмкость процесса фрезерования изношенными режущими элементами дорожно-фрезерного оборудования существенно возрастает. Так, сила сопротивления резанию асфальтобетона марки А16вн в сравнении с новым режущим элементом увеличивается в 3–3,5 раза при фрезеровании чрезмерно изношенными режущими элементами, при правильном износе режущего элемента сила сопротивления резанию возрастает в 1,5–2 раза. Такие последствия следует ожидать и для режущих элементов других производителей. Поэтому режущие элементы с такими видами износа требуется менять в первую очередь.
2. Исходя из полученных результатов и наблюдений в процессе проведения исследования, можно предположить, что неравномерный износ корпуса режущего элемента и наконечника благоприятно влияет на действующие на него нагрузки, однако объём отфрезерованного материала значительно меньше. Это, в свою очередь, существенно отражается на производительности и качестве отфрезерованной поверхности.
3. Результаты, полученные в ходе проведения исследования, позволяют прогнозировать нагрузки

на рабочем оборудовании дорожной фрезы при её работе с изношенными режущими элементами, а также прогнозировать энергоёмкость процесса фрезерования и производительность машины.

Ранее, проводились исследования взаимодействия изношенных режущих элементов дорожной фрезы с асфальтобетоном, результаты которых отражены в работе [14], в которой был проведён сравнительный анализ сил сопротивления резанию в зависимости от износа режущего элемента. Прежде, сравнение было произведено лишь по правильному износу режущего элемента. Испытуемые режущие элементы, были разделены по проценту износа, который определялся разностью масс нового режущего элемента с изношенным. К сожалению, полученных данных было недостаточно для полного раскрытия вопроса определения нагрузок на рабочее оборудование дорожной фрезы при работе с изношенными режущими элементами. Поэтому, было принято решение о дополнительных исследованиях в этой области, результаты которых отображены в этой работе и являются сильно расширенным продолжением предыдущей работы. Также, как и неоднократно доказано предыдущими исследованиями [15], значение силы сопротивления резанию, в зависимости от глубины фрезерования, возрастает нелинейно и имеют затухающий характер. Эти данные дают возможность предположить о возможности оптимизации конструкции

фрезерного барабана и оборудования в целом для снижения энергоёмкости фрезерования. В качестве примера можно привести работу Ну У.В [16], в которой отражено геометрическое моделирование работы дорожно-фрезерного оборудования. В работе показано несоответствие полученных результатов с колебательно изменяющимися значениями суммарной толщины срезаемой стружки от возникающей мгновенной нагрузки на рабочем оборудовании фрезерной машины, что в свою очередь, подтверждает нелинейность изменения сил сопротивления резанию с увеличением толщины срезаемой стружки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые исследования позволили нам определить зависимости сил сопротивления резанию в зависимости от вида износа режущего элемента и глубины фрезерования. Вместе с тем можно сделать вывод, что на практике необходимо задавать дополнительные запасы прочности при конструировании элементов фрезерного барабана с учётом неправильного износа режущего элемента. Так же, следует обращать внимание на правильность установки режущих элементов в державку фрезы в процессе эксплуатации и на качество используемых режущих элементов.

Методика расчёта параметров фрезерных машин должна учитывать влияние вида и степени износа режущих элементов на силы сопротивления резанию в процессе эксплуатации машины. Решение этой необходимой задачи требует дополнительных исследований.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Л.М. Шамахов — обзор предшествующих исследований, разработка и создание испытательного стенда, подготовка и проведение экспериментальных исследований, обработка полученных данных, подготовка материала для статьи; Д.В. Фурманов — организация работы авторского коллектива, формирование направления и формулирование проблемы исследования, постановка задач и методики проведения исследования, разработка и создание испытательного стенда, корректирование материала статьи. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Неприменимо.

Источник финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные). Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: L.M. Shamakhov: review of previous studies, design and development of a test bench, preparation and conducting the experimental studies, processing the data obtained, preparation of the material for the manuscript; D.V. Furmanov: the organization of the work of the authors' team, formation of the direction and formulation of the research problem, the formulation of the tasks and methods of the research, design and development of a test bench, editing the material of the manuscript. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Ethics approval: Not applicable.

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities or interests for the last three years related with for-profit or non-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: When preparing the paper, the authors did not use previously published information (text, illustrations, data).

Data availability statement: Editor's policy in terms of collective use of data is not applicable to this paper, any new data are neither collected nor created.

Generative AI: Generative AI technologies were not used for this article creation.

Provenance and peer-review: The paper was submitted to the journal in a proactive way and was reviewed according to the standard procedure. Two external reviewers, a member of the editorial board and the scientific editor of the journal took part in the review.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. AO "KZTS". *The original design of the road cutters*. [internet]. Accessed: 05/25/2024. Available from: http://www.kzts.ru/core/user_files/Road.pdf (In Russ.)
2. Osipov SP, Shkolny AN, Bida KB, Malkov AV. Evaluation of the durability of rotating cutters with wear-resistant inserts of arbitrary shape. *Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2014;(5):167–174. (In Russ.) EDN: STBMMR
3. Osipov SP, Shkolny AN, Bida KB, Malkov AV. Assessment of the economic efficiency of timely replacement of road milling cutters. *Mechanization of construction*. 2014;(9):22–25. (In Russ.) EDN: SNIGXB
4. Sivilevičius H, Martišius M. Field investigation and assessment on the wear of asphalt pavement milling machine picks. *Transport*. 2022;36(6):499–509. (In Russ.) doi: 10.3846/transport.2021.16443 EDN: EXTCTO

5. Zaumanis M, Loetscher D, Mazor S, et al. Impact of milling machine parameters on the properties of reclaimed asphalt pavement. *Construction and Building Materials*. 2021;307:125114. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.125114 EDN: MAWGOI
6. Peng-yu M, Yong-biao H, Xin-rong Z. Research on adaptive power control parameter of a cold milling machine. *Simulation Modelling. Practice and Theory*. 2008;16(9):1136–1144.
7. Pirnaev S, Sindarov R, Dzhumabeva F, Saidova S. Technique for experimental studies of asphalt concrete milling process. *E3S Web of Conferences*. 2021;02016. doi: 10.1051/e3sconf/202126402016 EDN: ZHODQH
8. Wang X, Hu Y. Numerical calculation on multitool milling resistance of asphalt pavement milling machine. Hsi-An Chiao Tung Ta Hsueh. *Journal of Xi'an Jiaotong University*. 2016.
9. Issabek Z, Kadyrov Z, Kim A. Improvement of a Technology of Use of a Road Milling Machine for Opening Cracks in Asphalt Concrete Pavements. *International Review of Mechanical Engineering*. 2022;16(1):40–47. doi: 10.15866/ireme.v16i1.21067 EDN: FXDRDP
10. GOST 9454-78. METALS. The method of testing for impact bending at low, room and elevated temperatures. (In Russ.)
11. Samsonov LN. *Milling of peat deposits*. Moscow: Nedra, 1985. (In Russ.)
12. Shamakhov LM, Lysakov NE. Features of using a pendulum stand to study cutting processes of road construction materials. In: *Fundamental and applied research of young scientists : Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists, Omsk, February 10–11, 2022*. Omsk: Siberian State Automobile and Road University (SibADI); 2022:38–42. (In Russ.) EDN: UQCRIP
13. GOST R 58406.2–2020. Public roads. Mixtures of hot asphalt concrete and asphalt concrete. Technical conditions. (In Russ.)
14. Furmanov DV, Shamakhov LM, Lysakov NE. The effect of wear of the cutting element of a road milling cutter on the strength of resistance to cutting asphalt concrete. *Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University*. 2023;20(2):204–216. (In Russ.) doi: 10.26518/2071-7296-2023-20-2-204-216 EDN: KLHYLT
15. Furmanov DV, Lysakov NE, Shamahov LM. Effect of asphalt concrete strength properties on energy intensity of milling. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;1901(1). doi: 10.1088/1742-6596/1901/1/012086 EDN: ARQQDE
16. Hu YB, Ma PY, Zhang XR. Modelling and simulating of cold milling machine Chang'an Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban). *Journal of Chang'an University (Natural Science Edition)*. 2008.

ОБ АВТОРАХ

* Шамахов Леонид Михайлович,

аспирант кафедры «Строительные и дорожные машины»;
адрес: Россия, 150023, Ярославль, Московский пр-кт, д. 88;
ORCID: 0000-0001-7559-282X;
eLibrary SPIN: 9115-7950;
e-mail: leonid.shamakhov@yandex.ru

Фурманов Денис Владимирович,

канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедры «Строительные и дорожные машины»
ORCID: 0000-0002-6932-6477;
eLibrary SPIN: 6237-2284;
e-mail: denis_furmanov@mail.ru

AUTHORS' INFO

* Leonid M. Shamakhov,

postgraduate of the Construction and Road Machinery Department;
address: 88 Moskovsky ave, Yaroslavl, Russia, 150023;
ORCID: 0000-0001-7559-282X;
eLibrary SPIN: 9115-7950;
e-mail: leonid.shamakhov@yandex.ru

Denis V. Furmanov,

Cand. Sci. (Engineering), Assistant Professor,
Assistant Professor of the Construction and Road Machinery
Department;
ORCID: 0000-0002-6932-6477;
eLibrary SPIN: 6237-2284;
e-mail: denis_furmanov@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author