

УДК 69.002.5

ОСОБЕННОСТИ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАБОЧИХ
ОРГАНОВ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН И ФАКТОРЫ,
ВЛИЯЮЩИЕ НА ИХ РЕСУРС

Д. А. Попов, С. С. Патюков

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова»

Строительно-дорожные машины (СДМ) длительное время простаивают в плановых и внеплановых ремонтах или в ожидании их из-за недостаточно высокой долговечности их деталей. Так в течение года, при фактическом времени работы бульдозеров, скреперов, экскаваторов 900-2500 ч, они простаивают вследствие неисправности, аварийных поломок, ремонта до 200-300 ч. Затраты труда и денежных средств на техническое обслуживание и ремонт машин за время их эксплуатации в 5-10 раз и более превышают затраты на их изготовление [1]. За амортизационный период затраты на запасные части экскаваторов с ковшом емкостью 0,50-0,65 м³ составляют 117 % от их стоимости, на производство ремонтных работ – 317 % [2].

Повышение долговечности и эффективности этих машин способствует ускорению темпов работы на всех стадиях производства строительных и дорожно-строительных работ. Наиболее актуальными являются задачи, связанные с повышением срока службы быстроизнашивающихся деталей и в частности рабочих органов машин.

Как показали результаты исследований ряда ремонтных предприятий г. Воронежа, Липецка и Тулы срок службы землеройных рабочих органов, которые находятся в активном взаимодействии с грунтом, составляет 5-20 % от срока службы машин до планового ремонта [3]. При исследовании затрат, связанных с ремонтом различных агрегатов и узлов машин и механизмов, было установлено, что на ремонт землеройных рабочих органов затрачивается около 62 % от общих средств на ремонт машины.

Основным видом неисправностей рабочих органов строительно-дорожных машин, являющихся причиной их простоя, является износ [4].

Рабочие органы экскаваторов, бульдозеров, скреперов, автогрейдеров по

характеру выполняемых функций и своему прямому назначению работают в сыпучих, связных, мерзлых и скальных грунтах. При этом они подвержены интенсивному абразивному изнашиванию содержащимися в этих грунтах частицами и динамическим нагрузкам различной величины.

Условия работы деталей машин подразделены на 12 групп, каждой, из которой соответствует определенный вид изнашивания. Рабочие органы СДМ (в дальнейшем ЗРО – землеройные рабочие органы) по данной классификации отнесены к I группе, соответствующей абразивному изнашиванию при скольжении по сыпучему абразиву.

Однако условия работы и нагруженность ЗРО в значительной степени обусловлены физико-механическими свойствами разрабатываемых грунтов, которые, главным образом, зависят от размеров и количественного соотношения содержащихся в них гальки, гравия, песчаных, пылеватых и глинистых частиц, а также воды [5]. Установлено, что в процессе эксплуатации рабочих органов происходит деформирование поверхности трения, которое сопровождается глубинным наклепом. Величина наклепа зависит от степени динамичности нагрузки [6]. Поэтому за основу анализа условий эксплуатации и изнашивания ЗРО нельзя однозначно принимать предложенную схему фрикционных контактов «изнашивание при скольжении по сыпучему абразиву».

В зависимости от трудности разработки грунты разделяют на 8 групп по методу профессора А. Н. Зеленина [5-6], в основу которого положена сопротивляемость грунтов внедрению в них плоского штампа-стержня (табл. 1). Грунты I-IV группы разрабатываются машинами в состоянии природной плотности, а грунты V-VIII группы предварительно разрыхляют взрывом. При разработке песков, легких и средних супесей и суглинков одноковшовым экскаватором удельное сопротивление грунта копанию соответствует 18-80 кПа, а при разработке тех же грунтов траншейным многоковшовым экскаватором 70-230 кПа; при разработке теми же способами тяжелых и очень тяжелых глин соответственно 220-400 кПа и 650-800 кПа. По данным Ковровского экскаваторного завода при работе экскаватора ЭО-4121А усилия на зубья ковша достигают 120 кН. В тоже время на режущей кромке экскаватора ЭО-3322 усилия составляют всего 30-80 кН [8].

Величина износа ЗРО непосредственно связана с их сроком службы. По данным [7] скорость изнашивания рабочих органов колеблется в широких пределах: от 5 до 2000 мкм/ч, а их ресурс от нескольких суток до полугода. Основным признаком, характеризующим повреждение (износ) ЗРО, является измене-

ние формы его рабочей поверхности. По этому признаку производят выбраковку рабочего органа.

Таблица 1 – Характеристики грунтов (по А.Н. Зеленину) [5]

Категория грунта	Вид грунта	Плотность, Мг/м ³	Коэффициент разрыхления	Удельное сопротивление резанию, кПа	Удельное сопротивление копанию, кПа, при разработке	
					прямыми и обратными лопатами	драглайнами
I	Песок, супесь, суглинок мягкий, средней крепости влажный и разрыхленный без включений	1,25-1,50	1,08-1,17	12-65	18-80	30-120
II	Суглинок без включений, гравий мелкий и средний, глина мягкая влажная и разрыхленная	1,40-1,90	1,14-1,28	58-130	70-180	120-250
III	Суглинок крепкий, глина средней крепости влажная и разрыхленная, аргиллиты и алевролиты	1,60-2,00	1,24-1,30	120-200	160-280	220-400
IV	Суглинок крепкий со щебнем или галькой, глина крепкая и очень крепкая влажная, сланцы, конгломераты	1,90-2,20	1,26-1,37	180-300	220-400	280-490
V	Сланцы, конгломераты, глина и лесс отвердевшие, очень крепкие, мел, гипс, песчаники, известняки мягкие, хорошо взорванные скальные и мерзлые породы	2,20-2,50	1,30-1,42	280-500	330-650	400-750
VI	Ракушечники и конгломераты, сланцы крепкие, известняки, песчаники средней крепости, мел, гипс, опоки и мергель очень крепкие	2,20-2,60	1,40-1,45	400-800	450-950	550-1000
VII	Известняки, мерзлый грунт средней крепости	2,30-2,60	1,40-1,45	1000-3500	1200-4000	1400-4500
VIII	Скальные и мерзлые породы, очень хорошо взорванные (куски не более 0,3 ширины ковша)	2,50-2,80	1,40-1,60	–	220-250	230-310

Примечания:

Категории I-IV разрабатываются машинами в состоянии природной плотности.

Категории V-VIII предварительно разрыхляют, преимущественно взрывом

Наиболее интенсивному изнашиванию подвержены зубья и передние стенки ковшей экскаваторов. Продолжительность службы передних стенок в зависимости от условий эксплуатации составляет от 1 г. (на разработке скальных пород) до 8 лет (на разработке слабых грунтов). При этом наибольшему износу подвержена торцевая часть зуба (от нескольких суток до 6-7 месяцев).

Ножи бульдозеров и автогрейдеров изнашиваются по режущей кромке и, в зависимости от абразивности перерабатываемых грунтов, срок их службы составляет период от 10 до 100 суток. У мощных бульдозеров наибольшему изнашиванию подвержены крайние ножи левого крыла отвала. Срок службы их составляет 200-250, а остальных ножей – 300-350 ч. Величина износа ножей по толщине за это время достигает 40-50 мм при работе на суглинистых грунтах II-IV категорий. Средняя скорость изнашивания ножей составляет примерно 160 мкм/ч. При работе в суглинистых грунтах II категории с промерзанием скорость изнашивания увеличивается в 3 раза и более. При значительном износе ножей (на 14-15 мм) увеличиваются сопротивление резанию до 50 % и потребляемая мощность, а производительность машины снижается.

Обычными для СДМ при копании грунта являются скорости резания порядка 0,5-2,0 м/с. В этих пределах удельное сопротивление копанию с увеличением скоростей существенно не изменяется [8].

При разработке вечномерзлых, сезонно-мерзлых и разборно-скальных грунтов в районах Севера и Сибири применяют различные землеройно-рыхлительные агрегаты отечественного (рыхлители Д-570, Д-652АС, Д-673С и др.) и зарубежного производства (тяжелые навесные рыхлители фирм «Катерпилер» Д-9Н, «Фиат-Аллис» 416, «Комацу» Д-355А-1 и др.).

Специфика работы наконечников рыхлителя характеризуется высокой прочностью, абразивностью и контактным давлением породы, а также низкой (до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$) температурой окружающей среды. В зависимости от грунтовых условий и степени промерзания сопротивление копанию может повыситься: на мелкозернистом песке в 15-30, на мергелистом суглинке в 30-50 и на глинистом грунте в 25-40 раз. При работе новым наконечником удельная сила сопротивления копанию достигает 1-6 МПа. Срок службы наконечников рыхлителей при рыхлении мерзлых и скальных пород достигает всего лишь 4-10 ч; при разработке пород типа песчаника, туфа, бурых углей 30-50 ч; при рыхлении известняков и сланцев 100-120 ч. Установлено [6], что уже при износе наконечника рыхлителя на 10-15 % значительно возрастает величина реакции отпора со сто-

роны пород, в результате чего производительность падает в несколько раз. Кроме того, возникают значительные вибрационные нагрузки, которые передаются на базовый тягач и в результате снижается эксплуатационный ресурс машины. В тоже время при износе наконечников на 30-35 % необходима их выбраковка. Это приводит к многократной замене деталей, дополнительному расходу материально-технических средств и удорожанию ремонтных работ.

Среди факторов, влияющих на долговечность рабочих органов СДМ, следует отметить степень динамичности процесса разработки грунта. Характеристика режимов абразивного изнашивания ЗРО в зависимости от степени динамичности нагрузок представлена в таблице 2. В первом приближении степень динамичности нагрузок оценивают по коэффициенту динамичности K_D и коэффициенту общей динамичности K_{OD} , которые определяют по формулам:

$$K_D = \frac{H_1}{H_2}$$

$$K_{OD} = \frac{H_D}{H_O},$$

где H_1 – твердость материала при установившемся процессе изнашивания; H_2 – твердость материала до изнашивания; H_D – глубинная твердость при установившемся процессе изнашивания; H_O – глубинная твердость до начала изнашивания.

Таблица 2 – Характеристика режимов абразивного изнашивания

Режим	Характер динамичности нагрузок, вызывающих абразивный износ	Детали, работающие при данной степени динамичности нагрузок	K_D	K_{OD}
1	Чисто абразивное и слабоударное абразивное изнашивание	Лопасты шнеков, перемешивающих цемент, лопасти растворосмесителей	1,00-1,10	1,00-1,10
2	Абразивное изнашивание, сопровождаемое средними ударами	Отвалы бульдозеров и грей-деров, зубья экскаваторов при работе в грунтах средней твердости	1,11-1,50	1,11-1,30
3	Абразивное изнашивание, сопровождаемое сильными ударами	Зубья экскаваторов при работе в скальных грунтах, била дробилок при работе с породами средней твердости	1,51-2,00	1,31-1,45
4	Абразивное изнашивание, сопровождаемое очень сильными ударами	Зубья экскаваторов при работе в особо твердых, плохо взорванных скальных грунтах, била дробилок при работе с породами высокой твердости	> 2,00	> 1,46

Степень динамичности рабочего процесса наиболее рационально рассматривать на примере зубьев и ковшей одноковшовых экскаваторов. Это связано с тем, что из всех дорожно-строительных машин только одноковшовые экскаваторы работают с таким широким диапазоном грунтов: от разработки песка, где практически отсутствуют динамические нагрузки, до разборки взорванной скалы, которая, как правило, не рассыпается полностью на куски, а частично остается в монолите, пронизанном многочисленными трещинами.

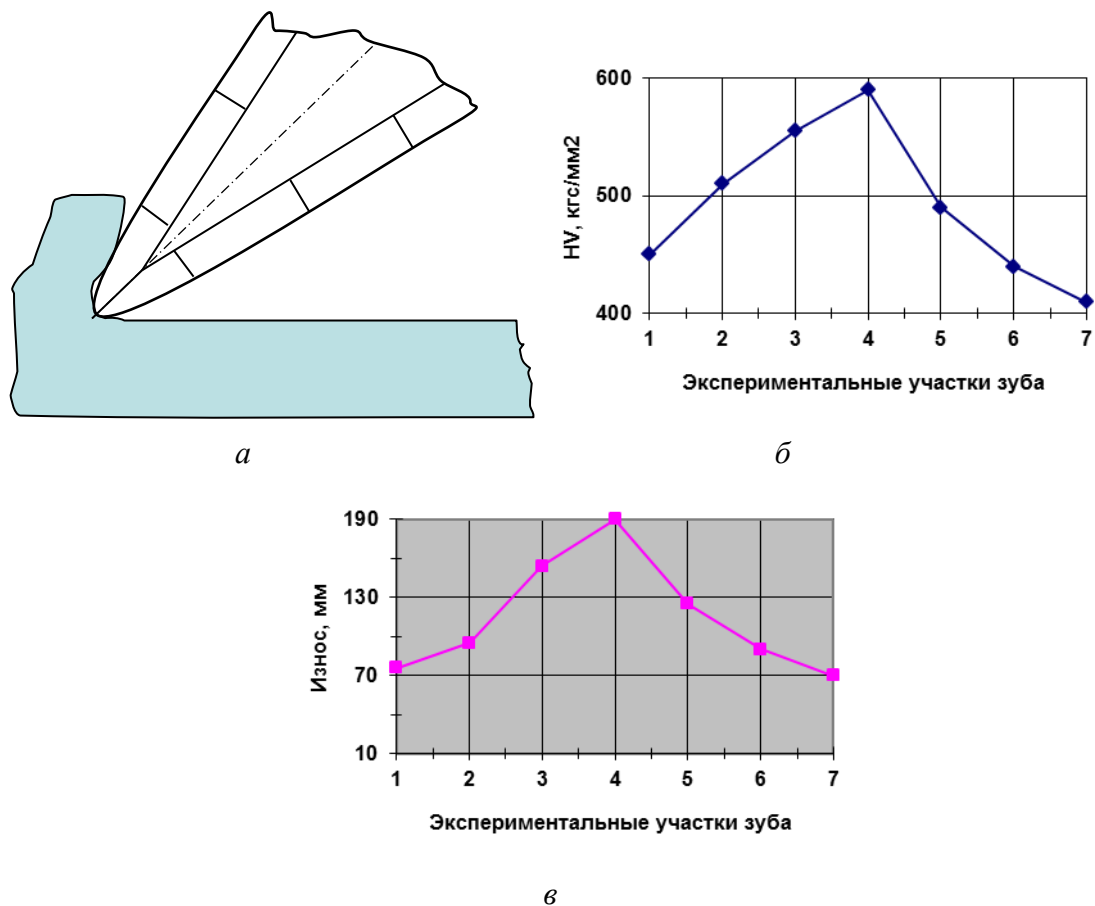
Скорость изнашивания различных участков деталей, непосредственно соприкасающихся в процессе работы машины с абразивом, неодинакова и зависит в основном от степени динамичности нагрузок, вызывающих абразивное изнашивание [9]. Так, если темп изнашивания торцовых частей зубьев ковшей экскаваторов, работающих на скальных грунтах, принять равным 1,0, то их боковые грани будут иметь темп изнашивания в 4-5, а защищенные зубьями торцовые кромки передних стенок – в 15-50 раз меньший.

Численное определение удельных нагрузок вызывает чрезвычайные трудности. Удельные нагрузки оценивают по результату их действия на материал детали, т. е. определяют не величины удельных нагрузок, а вызываемые ими изменения в материале деталей. Так, например, при исследовании зубьев ковшей экскаваторов, работавших в различных условиях абразивного изнашивания, были установлены следующие закономерности: наклеп (рис. 1 и 2) на поверхности и в глубине зуба распределяется неравномерно и возрастает там, где зуб наиболее сильно изнашивается, т. е. степень наклепа оказывается пропорциональной удельным нагрузкам; с повышением степени динамичности нагрузок, вызывающих абразивное изнашивание (табл. 3), возрастает в определенной степени и средняя величина наклепа торцевых участков зубьев.

Таким образом, степень динамичности нагрузок, вызывающих абразивное изнашивание деталей, может быть оценена в первом приближении по вызываемому им наклепу материала деталей, который как бы суммирует их действие.

Характеристика динамичности нагрузок, вызывающих абразивное изнашивание, может быть произведена по данным таблицы 4, составленной на основе исследования зубьев и ковшей экскаваторов, работающих в различных условиях.

Таким образом, в зависимости от трудности разработки грунтов и характера динамичности нагрузок, условия эксплуатации рабочих органов СДМ следует рассматривать по схемам фрикционных контактов (табл. 5).



а – размещение экспериментальных участков по профилю зуба;
б – изменение твердости зуба; *в* – изменение износа зуба

Рисунок 1 – Распределение наклепа по поверхности зуба ковша экскаватора ЭКГ – 4

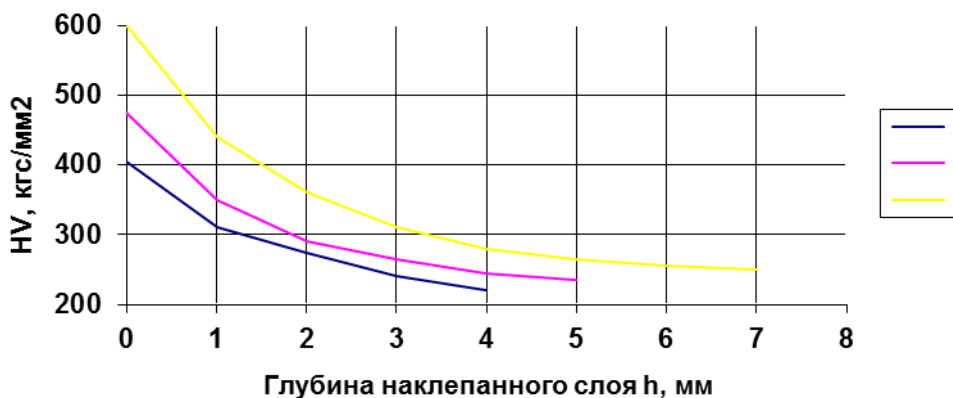


график 1 – верхняя часть зуба; график 2 – нижняя часть зуба; график 3 – торец зуба

Рисунок 2 – Изменение поверхностной и глубинной твердости зубьев ковшей экскаваторов ЭКГ-4, работающих в скальных грунтах

Таблица 3 – Зависимость величины наклепа торцевых участков зубьев ковшей экскаватора от степени динамичности нагрузок

Нагрузка при абразивном изнашивании	Грунт	Экскаватор	Материал зуба	Средняя твердость поверхности зуба, НВ	
				до износа	при износе на 75 %
Средней динамичности	Глина с незначительными каменными включениями	ЭКГ-4	Г13Л	200	350
Высокой динамичности	Скальные грунты	ЭКГ-4	Г13Л	200	550
Незначительной динамичности	Грунты I – III категории	Э-651	Г13Л	200	200
Средней динамичности	Гравий	Э-651	Г13Л	200	300

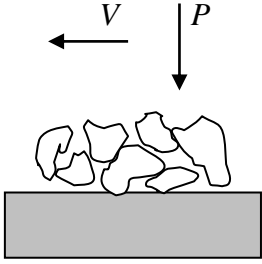
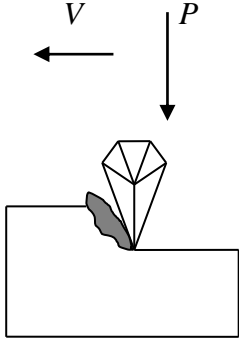
Таблица 4 – Зависимость величины наклепа от условий работы ЗРО

Вид нагрузок	Коэффициент динамичности нагрузок, K_d	Величина наклепа стали Г13Л, НВ
Легкие без ударов	1,0	200
Средние, с незначительными ударами	1,0-1,5	250-350
Тяжелые, с сильными ударами	1,6-2,0	350-500
Очень тяжелые с очень сильными ударами	> 2,1	> 500

Общеизвестно, что интенсивный износ ЗРО является причиной ухудшения качества работы и снижения производительности труда. Износ ограничивает ресурс машин, ухудшает критерии работоспособности (увеличивает силу сопротивления резанию и динамику нагружения), в результате чего энергоемкость процесса разработки грунта возрастает. Например, с износом и затуплением зубьев ковша экскаватора уменьшается сечение срезаемой стружки грунта, увеличивается сопротивление резанию последнего и требуется больший путь для заполнения ковша. Быстрый износ ЗРО лимитирует межремонтные периоды работы машин.

В связи с необходимостью повышения износостойкости рабочих органов СДМ важно знание механизмов абразивного изнашивания и влияющих на него факторов. Это позволит уточнить требования к свойствам рабочих поверхностей ЗРО.

Таблица 5 – Схемы фрикционных контактов и характеристика условий изнашивания рабочих органов СДМ (ЗРО)

Схемы контакта абразивных частиц с поверхностями ЗРО	Вид абразивного изнашивания	Условия работы ЗРО	Тип ЗРО
	В массе абразивных частиц в сочетании со слабоударным воздействием	При работе в сыпучих грунтах (грунты I и II категории)	Отвалы бульдозеров и грейдеров, ножи скреперов, зубья и передние стенки ковшей экскаваторов
	О закрепленные абразивные частицы в сочетании с ударами средней величины	При работе в вязных грунтах (группы III и IV кат.	Отвалы бульдозеров, ножи скреперов, зубья ковшей экскаваторов
	О закрепленные абразивные частицы в сочетании с сильными ударами	При работе в вязных грунтах (грунты V и VI кат.)	Зубья ковшей экскаваторов, детали дробильного оборудования
	О закрепленные абразивные частицы в сочетании с очень сильными ударами	При работе в мерзлых и скальных грунтах (грунты VII – VIII категорий)	Зубья ковшей экскаваторов, детали дробильного оборудования

Библиографический список

- 1 Волков, П. Н. Ремонтпригодность машин [текст] / П. Н. Волков. – М. : Машиностроение, 1975. – 324 с.
- 2 Рейш, А. К. Исследование гусеничных ходовых устройств одноковшовых экскаваторов [текст] : автореф. дис. ... д-ра. техн. наук / Рейш А. К. – М, 1975. – 38 с.
- 3 Машины для земляных работ [текст] : учеб. / Н. Г. Гаркави, В. И. Аринченков, В. В. Карпов [и др.] / под ред. Н. Г. Гаркиви. – М. : Высшая школа, 1982. – 335 с.
- 4 Шмаков, А. Т. Эксплуатация дорожных машин [текст] / А. Т. Шмаков, Г. М. Горовой, Я. П. Боков ; Транспорт. – М., 1971. – 304 с.
- 5 Лившиц, Л. С. Наплавочные материалы и технология наплавки для повышения износостойкости и восстановления деталей машин [текст] / Л. С. Лившиц // Сварочное производство. – 1991. – № 1. – С. 15-17.
- 6 Ремонт строительных машин и механизмов [Текст] : учеб. / И. П. Петров,

А. В. Златопольский, М. Д. Гиллула. – М. : Высшая школа, 1974. – С. 6-187.

7 Донской, В. М. Сменное оборудование для планировки откосов к одноковшовым экскаваторам ЭО-3322 и Э-652Б [Текст] / В. М. Донской, В. Д. Купченко. // Строительные и дорожные машины. – 1974. – № 11. – С. 9-11.

8 Густов, Ю. И. Повышение износостойкости рабочих органов и сопряжений строительных машин [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1993 – 529 с.