

УДК 621.9.029:674.05

## Изнашивание деталей из железоуглеродистых сплавов при фрикционном контакте с древесиной

Е.А. Памфилов<sup>1\*</sup>, Я.С. Прозоров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Брянская государственная инженерно-техническая академия, пр. Станке Димитрова, д.3, Брянск, Россия  
Статья поступила 17.12.2011, принята 10.02.2012

*Статья посвящена исследованию эксплуатационных условий, механизмов и закономерностей протекания процесса изнашивания поверхностей деталей узлов трения стружечных станков. Наблюдаемый сложный комплекс явлений в зоне трения ножевого вала (или ножевого барабана) и древесины устанавливает коррозионно-механический вид изнашивания как преобладающий. При этом утверждается, что зачастую вклад химических факторов не меньше механических. Установлено, что наибольшее влияние на характер и интенсивность изнашивания оказывают вода, карбоновые кислоты и полифенольные соединения. Механическая составляющая износа при трении о древесину обусловлена вовлечением диспергированных частиц износа в зону контакта, попаданием абразивных частиц (земля, песок и глина) совместно с обрабатываемой древесиной или попаданием абразивных частиц в сопряжения станка из окружающей среды. Показано влияние наводороживания поверхности на износостойкость материала деталей деревообрабатывающего оборудования. Для определения качественных и количественных характеристик механической, коррозионной и синергетической компонент трибокоррозионного износа были разработаны соответствующая методика испытаний и специальная экспериментальная установка. В результате проведенных экспериментальных исследований было установлено, что механическая компонента составляет от 40 до 60 %, химическая – от 15 до 30 % и синергетическая – от 20 до 40 % от совокупного массового износа образца в условиях фрикционного контакта с древесиной. Также отмечены рост химической компоненты изнашивания с ростом кислотности электролита, увеличение химической и синергетической компоненты с ростом скорости скольжения, увеличение механической компоненты при повышении нормальной нагрузки на образец. Проведенный анализ закономерностей и механизмов изнашивания деталей узлов трения стружечных станков позволяет сформулировать требования к выбору способа повышения износостойкости и теоретически обосновать структурно-фазовый состав и физико-химические свойства поверхностного слоя рассмотренных деталей.*

**Ключевые слова:** коррозионно-механическое изнашивание, трибокоррозия, фрикционный контакт.

## Carbon steel parts wear under frictional contact with wood

E. A. Pamfilov<sup>1\*</sup>, Ya. S. Prozorov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bryansk State Engineering Academy, 3, Stanke Dimitrova av., Bryansk, Russia  
Received 17.12.2011; Accepted 10.02.2012

*The article is devoted to the research of the operating conditions, mechanisms, and regularities of the wearing process of friction assembly parts of chippers. The complex phenomena observed in the friction zone between a cutter shaft (or a cutting drum) and wood determines the mechano-chemical type of wear as prevailing. It is also stated that chemical factors frequently contribute to the process no less than mechanical ones. It has been established that water, carboxylic acids, and polyphenol compounds exert the maximum impact on wear rate and behavior. The mechanical wear component under friction on wood is caused by the involvement of dispersed wear particles in the contact area, ingress of abrasive particles (soil, sand, and clay) together with processed wood, or environmental abrasive particles into the machine tool joints. The impact of the surface hydrogen saturation on wear resistance of woodworking machinery parts has been shown. To determine the qualitative and quantitative characteristics of mechanical, corrosion, and synergetic components of tribocorrosion wear, the proper test procedure and a special experimental facility have been developed. As a result of the research it was stated that the mechanical component makes up from 40 to 60%, chemical – from 15 to 30%, and synergetic – from 20 to 40% to aggregate mass wear of the specimen under frictional contact with wood. Also, the increase of the chemical wear component due to the electrolyte acidity growth, the increase of the chemical and synergetic components due to the sliding velocity growth, the increase of the mechanical component due to the growth of normal load on the specimen have been revealed. The conducted analysis of regularities and mechanisms of the wearing process of friction assembly parts of chippers allows to formulate the requirements to the method of wear resistance improvement and to theoretically substantiate structural-phase composition and physicochemical properties of the examined parts surface layer.*

**Keywords:** corrosion and mechanical wear, tribocorrosion, frictional contact.

Технико-экономические показатели производства многих древесных композиционных материалов (расход древесного сырья и связующих, энергозатраты,

качество производимой продукции) в значительной мере формируются уже на стадии производства основной составляющей композита – древесной стружки. Для ее изготовления широко используются стружечные станки различных типов, потеря работоспособного состояния

\* E-mail address: pamfilov@bgita.ru

которых связана с достижением предельного износа рабочих поверхностей деталей узлов трения – ножевого вала, стружечного барабана и т. д. Поэтому важным является выбор износостойких материалов для их изготовления и эффективной технологии упрочнения изнашивающихся поверхностей. Для успешного выполнения указанного условия необходимо выявление закономерностей изнашивания рассматриваемых функциональных поверхностей, на основании чего становится возможной разработка путей снижения износа.

Особенностью работы деталей режущих узлов стружечных станков является то, что они работают в условиях динамической и ударной нагрузок, что связано с высокой частотой вращения (1000 об/мин.), значительными скоростями подачи (900-1800 мм/мин) и скольжения (24-45 м/с), усилиями надвигания, прерывистым и ударным контактированием поверхностей деталей с древесным сырьем [1]. Сила трения между древесиной и функциональной поверхностью детали вызвана возникновением водородных связей между гидроксильными группами древесины и оксидными пленками на поверхности металла [2]. Рабочие температуры эксплуатации станка  $+10...+40^{\circ}\text{C}$ , при этом даже при сравнительно мягких режимах работы узлов трения и резания стружечных станков локальная температура на поверхности может достигать значительной величины (до  $1000^{\circ}\text{C}$ ).

Разнопородный состав сырья и связанные с ним различные физико-механические свойства сказываются на изнашивании деталей в процессе работы. Древесину с достаточным основанием можно считать ортотропным материалом, поэтому ее механические свойства отличаются в различных направлениях приложения нагрузки. Влажность древесного сырья, применяемого в стружечных станках, не должна быть менее 65 %, ее снижение приводит к ухудшению качества стружки. Значение pH водного раствора во влажной древесине пород, применяемых для изготовления ДСтП, находится в интервале от слабокислого до умеренно кислого (6,4 – 3,3) [2].

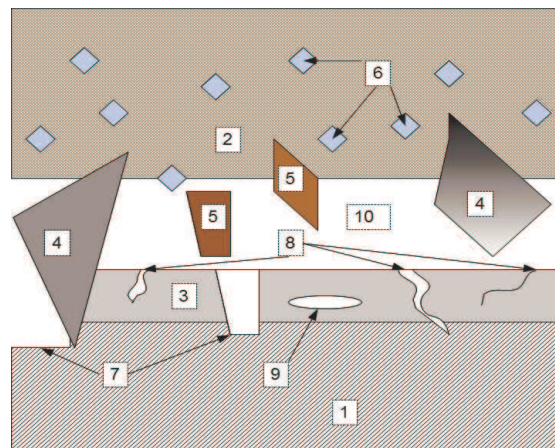
На основании анализа условий эксплуатации стружечных станков для узла трения «деталь – древесина» преобладающим был признан коррозионно-механический вид изнашивания, иначе называемый трибокоррозией [2, 3, 4]. Для трибокоррозии характерен эффект совместного влияния (синергизм) механических и химических явлений, результат проявления которых не может быть определен простым суммированием эффектов отдельных составляющих. Механизм изнашивания рассматриваемых поверхностей может быть представлен как совокупность коррозионных процессов окисления (химического и электрохимического) и процессов разупрочнения, разрыхления и разрушения поверхностей трения с параллельно текущей газификацией поверхностных слоев. Разработанная нами схема механизма изнашивания представлена на рис. 1. При реализации такого вида изнашивания металлических поверхностей, фрикционно контактирующих с древесиной, можно выделить три следующих основных этапа:

- образование слоев оксидов на рабочих

поверхностях деталей;

- механохимическое разрушение образовавшихся слоев;

- взаимодействие древесного сырья с образовавшейся ювенильной поверхностью металла и его репассивация.



**Рис. 1.** Схематическое изображение фрикционного контакта поверхности детали и древесины. 1 – исходный металл детали; 2 – древесина; 3 – оксидный слой; 4 – внешние абразивные частицы; 5 – диспергированные частицы металла; 6 – естественные абразивные частицы древесины; 7 – ювенильная поверхность металла; 8 – зоны коррозионного разрушения; 9 – области молибдирования водорода, 10 – агрессивная внешняя среда.

Согласно этой схеме, на поверхности металла находится слой оксидов, который образуется при взаимодействии металла с кислородом воздуха. Этот тонкий слой прочно связан с поверхностью металла и повторяет его топографию. Толщина такой оксидной пленки для железоуглеродистых сплавов составляет  $10^{-7}-10^{-8}$  м. Оксидная пленка состоит из вюстита  $\text{FeO}$  (оксид железа (II)), магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и гематита  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (оксид железа (III)). Непосредственно к металлу примыкает  $\text{FeO}$ , далее следуют  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Соотношение толщин оксидов  $\text{FeO}:\text{Fe}_3\text{O}_4:\text{Fe}_2\text{O}_3$  близко к 100:10:1 [5].

Указанные оксиды имеют кристаллическое строение, они теплопроводны, являются электрическими изоляторами, а коэффициент их линейного расширения меньше, чем самого металла. Пленки таких оксидов способны пассивировать и защищать поверхности рассматриваемых рабочих органов от поверхностного разрушения.

На втором этапе фрикционного контакта металла и древесины в результате протекания сложного комплекса химических и механических воздействий защитная пленка разрушается, что и обуславливает процесс изнашивания.

Исследователями [3, 4] отмечено, что характер механохимического механизма изнашивания в значительной степени определяется условиями внешнего воздействия, при этом вклад химических факторов вполне сопоставим с ролью механических. Известно, что при высоких давлениях и температурах в зоне фрикционного взаимодействия древесина может разлагаться. При этом в начале процесса разложения

при температуре 120...150 °С испаряется свободная влага, затем происходит разложение гемицеллюлоз (275...300 °С) и распад древесного волокна (около 400 °С), сопровождающийся выделением кислот, спиртов и смол [2].

Поэтому помимо оксидов на контактирующих поверхностях формируются адсорбированные слои химических соединений, образовавшихся при трибодеструкции древесины, в совокупности с полярными молекулами полимерных органических (свободных радикалов) и экстрактивных веществ. Согласно ряду исследований, среди разнообразных химических соединений, выделяющихся в процессе контакта сталей с древесиной, наибольшее влияние на характер и интенсивность изнашивания оказывают вода, карбоновые кислоты и полифенольные соединения [6, 7, 8]. Химическая компонента изнашивания определяется не только непосредственной потерей металла из-за анодного растворения, но и косвенно – путем последующего механического разрушения химически разупрочненной функциональной поверхности детали.

Химическая активность древесного сырья определяется не только количеством органических кислот и полифенольных компонентов. Проведенные исследования, в которых сравнивались древесный экстракт и «синтетическая» смесь с аналогичным уровнем кислотности и содержанием танинов, показали, что коррозионная активность древесного экстракта на порядок выше модельного раствора [8]. Отсюда можно сделать вывод, что химизм взаимодействия пары «древесина – сталь» протекает по более сложному механизму. Отметим, что ряд современных исследовательских работ [8] указывает на то, что в зоне фрикционного контакта «древесина – сталь» присутствуют циклические металлоорганические соединения, образующиеся при взаимодействии гидроксидов железа с продуктами гидролиза целлюлозы.

Наряду с коррозионными процессами, причиной износа деталей деревообрабатывающего оборудования является насыщение функциональных поверхностных слоев такими газами, как водород, кислород, азот и др. Особую опасность для стальных деталей представляет наводороживание, вызывающее водородное изнашивание инструмента. Наводороживание металлической поверхности деталей узлов трения стружечного станка может происходить не только за счет действия ионов водорода, выделяющегося при диссоциации различных веществ, но и в результате химических реакций, в которых принимают участие компоненты древесины и продукты разложения древесины (органические кислоты, углеводороды, спирты, альдегиды и др.) в процессе фрикционного контакта. Экспериментальные исследования пары трения «древесина – сталь» выявили следующий состав образовавшихся неконденсированных газов, %:  $H_2$  – 4.2...6,  $CH_4$  – 2,  $CO$  – 70...72,  $CO_2$  – 20 [9].

Механическая составляющая износа во фрикционном контакте между древесным сырьем и металлическими поверхностями деталей обусловлена нижеизложенным.

Во-первых, попаданием в зону контакта частиц минеральных компонентов из состава почвы с недостаточно очищенной обрабатываемой древесиной. Попадающие частицы почвы обладают зачастую высокой твердостью (по шкале Мооса): глинозем (оксид алюминия) – 9 единиц Мооса, кремнезем (диоксид кремния) – 7 единиц Мооса, что превышает твердость поверхности металла деталей. Во-вторых, попаданием абразивных частиц в сопряжения станка из окружающей среды. Известно, что в 1 м<sup>3</sup> воздуха содержится от 0,04 до 5 г пыли, на 60...80 % состоящей из взвешенных частиц минералов – кварца, корунда, оксидов и диоксидов кремния, соединений алюминия, кальция и других элементов. В-третьих, вовлечением диспергированных частиц износа в зону контакта. Частицы износа металлической поверхности деталей в основном состоят из оксидов железа. При твердости функциональных поверхностей деталей около 370 HV твердость вюстита составляет 320 HV, магнетита – 460 HV, гематита – 1030 HV. В-четвертых, свой вклад вносят естественные минеральные компоненты древесины, в первую очередь кремнезем. Однако содержание неорганических включений ( $SiO_2$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $MgO$ ,  $CaO$  и др.) в древесине пород умеренных широт, используемых для получения стружки, мало, и поэтому их вклад в суммарный абразивный износ незначителен [2, 5, 6].

При нарушении сплошности окисного слоя открывается доступ к свободным от оксидов участкам поверхности металла, так называемой ювенильной поверхности. Основной причиной высокой интенсивности взаимодействия агрессивной внешней среды с ювенильной поверхностью являются особые каталитические свойства и высокая адсорбционная и химическая активность последней в купе с высокими температурами и давлениями в зоне фрикционного контакта.

Важным фактором, определяющим физико-химическую активность чистых, неокисленных поверхностей металла, являются наличие и непрерывная генерация в контактной области реакционных частиц – атомов, ионов и радикалов, образующихся при разрушении молекул древесины, внешней среды и материала детали. Процесс образования радикалов осуществляется различными путями: вследствие разрыва связей в молекуле среды свободными валентностями; в результате взаимодействия электронов, эмитируемых ювенильными поверхностями, с молекулами среды; термическим пиролизом и т. д. [10].

Таким образом, процесс взаимодействия ювенильной поверхности металла с древесным сырьем в целом подобен контакту с оксидной пленкой, но сопровождается значительно более интенсивным протеканием катодных процессов водородной и кислородной деполяризации, способствующей активации анодных процессов растворения металла дорожки трения и, соответственно, снижению износостойкости материала деталей.

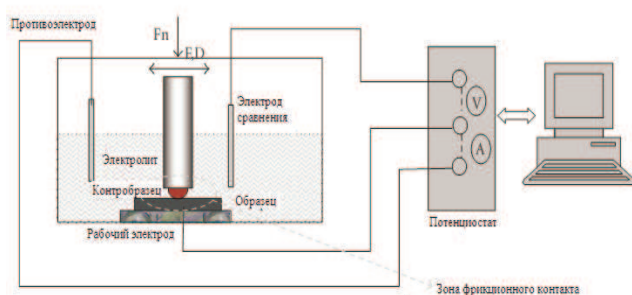
Для определения качественных и количественных характеристик механической, коррозионной и синергетической компонент трибокоррозионного износа на основе источников [11, 12] была разработана соответствующая методика испытаний. Для исследования



коррозионно-механического изнашивания применялась особая экспериментальная установка.

Экспериментальная установка для изучения химических и силовых параметров взаимодействия системы «древесина – сталь» (рис. 2) представляет собой аппаратно-программный комплекс, состоящий из следующих основных частей:

- 1) малогабаритный цифровой потенциостат-гальваностат IPC-Pro M, контролирующий напряжение на ячейке и измеряющий ток, протекающий в ячейке;
- 2) персональный компьютер, использующийся для управления потенциостатом и регистрации результатов измерения;
- 3) специально сконструированная для исследования трибокоррозии трехэлектродная электрохимическая ячейка с подвижным рабочим электродом;
- 4) программа управления потенциостатом и обработки результатов IPC2000.



**Рис. 2.** Принципиальная схема экспериментальной установки для исследования трибокоррозии.

Для проведения экспериментов использовались образцы, представляющие собой цилиндрические стальные пластинки. Материал образцов определялся набором распространенных сплавов, применяемых в лесном комплексе. Контрольным образцом служила заготовка из стали 40X, остальные образцы изготавливали путем наплавки на образец из стали 40X наплавочного материала и дальнейшей механической обработки для придания одинаковой формы, объема и параметров шероховатости.

В соответствии со справочными данными по породному составу древесного сырья при производстве технологической стружки были приняты различные варианты контрольных образцов из следующих пород древесины:

осины, ольхи, березы, сосны и ели. Исследуемые контрольные образцы представляли собой древесные чураки цилиндрической формы.

При проведении исследований использовались два вида электролитов. Первый вид электролита – ацетатный буферный раствор, представляющий собой раствор уксусной кислоты  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и ацетата натрия  $\text{NaCH}_3\text{COO}$ . Для проведения экспериментов выбирались растворы со следующими значениями pH: 3.5; 4.5; 5.5; 6.5.

Второй вид электролита – так называемый «древесный сок». Представляет собой водный раствор, изготовленный в соответствии с работами [13, 14] и максимально приближенный по свойствам и химическому составу к естественным жидкостям древесины. Процедура изготовления раствора включает в себя переработку древесины в мелкие опилки, настаивание их в течение одной недели в закрытом контейнере в дистиллированной воде с регулярными перемешиваниями, последующую фильтрацию смеси. Было изготовлено несколько подобных растворов соответственно из древесины осины, ольхи, березы, сосны и ели; для ряда экспериментов использовалась их смесь в различных пропорциях.

В результате проведенных экспериментальных исследований было установлено, что механическая компонента составляет от 40 до 60 %, химическая – от 15 до 30 % и синергетическая – от 20 до 40 % от совокупного массового износа образца в условиях фрикционного контакта с древесиной. Также отмечен рост химической компоненты изнашивания с ростом кислотности электролита, увеличение химической и синергетической компоненты с ростом скорости скольжения, увеличение механической компоненты при повышении нормальной нагрузки на образец.

Проведенный анализ закономерностей и уточнение возможных механизмов изнашивания деталей узлов трения стружечных станков позволяет определить подходы к обоснованию наиболее перспективных технологических методов их упрочнения, сформулировать требования к выбору способов повышения износостойкости и теоретически обосновать структурно-фазовый состав и физико-химические свойства поверхностного слоя рассмотренных деталей, что позволит существенно повысить долговечность деревообрабатывающего оборудования и инструмента.

## Литература

1. Вольнский В. Н. Технология древесных плит и композитных материалов. СПб.: Лань, 2010. 336 с.
2. Зотов Г.А., Памфилов Е.А. Повышение стойкости дереворежущего инструмента. М.: Экология, 1991. 304 с.
3. Сорокин Г.М., Ефремов А.П., Саакян Л.С. Коррозионно-механическое изнашивание сталей и сплавов. М.: Нефть и газ, 2002. 424 с.
4. Klamecki B.E. A Review of Wood Cutting Tool Wear Literature [Электронный ресурс] // Электрон. б-ка изд-ва Springer. URL: <http://www.springerlink.com/content/v120741328777300/> (дата обращения: 12.12.2011).
5. Машков Ю.К., Поleshchenko К.Н., Поворознюк С.Н., Орлов П.В. Трение и модифицирование материалов трибосистем. М.: Наука, 2000. 280 с.

## References

1. Volynsky V.N. Wood-based panels and composites technology. SPb.: Lan', 2010. 336 s.
2. Zotov G.A., Pamfilov E.A. Wood-cutting tools stabilization. M.: Ekologiya, 1991. 304 s.
3. Sorokin G.M., Efremov A.P., Saakyan L.S. Mechano-chemical wear of steel and alloys. M.: Neft' i gas, 2002. 424 s.
4. Klamecki B.E. A Review of Wood Cutting Tool Wear Literature // Elektron. b-ka izd-va Springer. URL: <http://www.springerlink.com/content/v120741328777300/> (access date: 12.12.2011).
5. Mashkov Yu.K., Poleshchenko K.N., Povoroznyuk S.N., Orlov P.V. Friction and material modification of tribosystems. M.: Nauka, 2000. 280 s.

6. Krilov A., Gref R. Mechanism of sawblade corrosion by polyphenolic compounds [Электронный ресурс] // Электрон. б-ка изд-ва Springer. URL:<http://www.springerlink.com/content/n15418jl82377147> / (дата обращения: 14.12.2011).
7. Zelinka S.L., Stone D.S. The effect of tannins and pH on the corrosion of steel in wood extracts [Электронный ресурс] // Электрон. б-ка изд-ва Wiley. URL:<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/maco.201005845/> (дата обращения: 12.12.2011).
8. Porankiewicz B., Sandak J. Tanaka C. Factors influencing steel tool wear when milling wood // Wood Science & Technology. 2005. № 39(3). P. 225-234.
9. Памфилов Е.А., Петренко М.Н. Некоторые вопросы водородного изнашивания инструмента // Долговечность трущихся деталей машин: сб. ст. М., 1986. Вып.1. С. 148-153.
10. Латышев В.Н., Наумов А.Г. Механизм радикально-цепных реакций при лезвийном резании металлов // Физика, химия и механика трибосистем: межвуз. сб. науч. тр. Иваново, 2010. Вып. 9. С. 5- 14.
11. ASTM standard G119. "Standard guide for determining amount of synergism between wear and corrosion," in Annual Book of ASTM Standards. Volume 03.02: Wear and Erosion, Metal Corrosion, ASTM, West Conshocken, Pa. USA, 2001.
12. Mischler S. "Triboelectrochemical techniques and interpretation methods in tribocorrosion: a comparative evaluation" // Tribology International. 2008. Vol. 41, № 7. P. 573–583.
13. Gauvent M. E., Rocca P.J. Meausoone and P. Brenot Corrosion of materials used as cutting tools of wood. [Электронный ресурс] // <http://www.sciencedirect.com/> URL:<http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2006.03.036> (дата обращения: 12.12.2011).
14. Ziomek-Moroz M. Wood Solution for Studies of Corrosive Wear of Woodcutting Tools // Corrosion. 1994. Vol. 50 (4). P. 276–278.
6. Krilov A., Gref R. Mechanism of sawblade corrosion by polyphenolic compounds // Elektron. b-ka izd-va Springer. URL:<http://www.springerlink.com/content/n15418jl82377147/> (access date: 14.12.2011).
7. Zelinka S.L., Stone D.S. The effect of tannins and pH on the corrosion of steel in wood extracts // Elektron. b-ka izd-va Wiley. URL:<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/maco.201005845/> (access date: 12.12.2011).
8. Porankiewicz B., Sandak J. Tanaka C. Factors influencing steel tool wear when milling wood // Wood Science & Technology. 2005. № 39(3). P. 225-234.
9. Pamfilov E.A., Petrenko M.N. Some issues of tools hydrogen wear // Dolgovechnost' trushchikhsya detaley mashin: sb. st. M., 1986. Vyp. 1. S. 148-153.
10. Latyshev V.N., Naumov A.G. Radical reactions mechanism in the process of metals edge cutting // Fizika, khimiya i mekhanika tribosistem: mezhvuz. sb. nauch. tr. Ivanovo, 2010. Vyp. 9. S. 5-14.
11. ASTM standard G119. Standard guide for determining amount of synergism between wear and corrosion in Annual Book of ASTM Standards. Volume 03.02: Wear and Erosion, Metal Corrosion, ASTM, West Conshocken, Pa. USA, 2001.
12. Mischler S. Triboelectrochemical techniques and interpretation methods in tribocorrosion: a comparative evaluation // Tribology International. 2008. Vol. 41, № 7. P. 573–583.
13. Gauvent M. E., Rocca P.J. Meausoone and P. Brenot Corrosion of materials used as cutting tools of wood // <http://www.sciencedirect.com/> URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2006.03.036> (access date: 12.12.2011).
14. Ziomek-Moroz M. Wood Solution for Studies of Corrosive Wear of Woodcutting Tools // Corrosion. 1994. Vol. 50 (4). P. 276–278.

УДК 625.76.08

## Методика расчета гидравлического механизма реверса самоходных виброплит

В.А. Кузьмичев<sup>1\*</sup>, В.Д. Кузьмичев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербург, Политехническая, 29, Россия  
Статья поступила 21.12.2011, принята 20.01.2012

*Рассмотрены особенности конструкций вибровозбудителей реверсивных виброплит и механизмов реверса. Описан процесс работы механизма переключения и его основные конструктивные элементы. Поворот дебаланса на 180 градусов осуществляется специальным устройством – гидравлическим блоком, представляющим собой сообщающиеся сосуды (гидроцилиндры), один из которых расположен на ведомом валу вибровозбудителя, другой – в рукоятке управления виброплитой. Поворотное устройство состоит из поршня со штоком, в котором запрессован штифт. Последние размещены в пустотелом дебалансном валу с возможностью их осевого перемещения вдоль паза на валу. Относительное вращение ограничивается штифтом. В ступице ведомого зубчатого колеса профрезерован винтовой паз, центральный угол которого позволяет выполнить поворот дебалансного вала относительно зубчатого колеса на 180 градусов при перемещении штока со штифтом вдоль его продольной оси. Устройство, обеспечивающее перемещение поршня, состоит из зубчатых колеса и рейки, совмещенной с поршнем. При повороте оператором рукоятки, неподвижно связанной с зубчатым колесом, поршень перемещается и обеспечивает подачу масла. Полости поршней соединены гибким трубопроводом. Составлены уравнения вынуждающих усилий и построены графики для реального прототипа вибровозбудителя. Представлена методика расчета гидравлического механизма, обеспечивающего изменения направления движения виброплиты. В ходе расчета определяются моменты сил сопротивления поворота, включающие моменты инерции дебалансного вала, трение в подшипниках и статические моменты дебалансов. Представлена принципиальная схема действующих сил в узлах механизма поворота, составлены уравнения баланса и определено необходимое усилие на штоке. Полученное усилие позволяет определить и в дальнейшем спроектировать гидравлический механизм переключения.*

**Ключевые слова:** конструкция вибровозбудителей, расчет гидравлического механизма.

\* E-mail address: kuzmichev\_va@mail.ru