

**Н. Н. Максимченко**, канд. техн. наук

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Тел. +375 (17) 2840871; факс +375 (17) 2842910; e-mail: maksnat2001@mail.ru

## **МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ РАВНОМЕРНОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СТАНОЧНЫХ УЗЛОВ ПО НАПРАВЛЯЮЩИМ СКОЛЬЖЕНИЯ**

*Выполнен анализ условий и характера фрикционного взаимодействия при перемещении подвижных узлов по направляющим скольжения. Рассмотрены методы и средства, наиболее часто используемые для повышения плавности перемещения и улучшения точности позиционирования узлов металлорежущих станков, направленные на снижение трения в направляющих скольжения. Предложен метод плакирования гибким инструментом для формирования антифрикционных покрытий на направляющих скольжения как альтернатива используемым методам.*

**Ключевые слова:** металлорежущий станок, направляющие скольжения, скачкообразное перемещение, трение, покрытие, плакирование гибким инструментом.

**N. N. Maksimchenko**

## **METHODS FOR IMPROVING THE MOTION SMOOTHNESS OF THE NODES OF MACHINE TOOLS ALONG THE SLIDE-WAYS**

*The analysis of the conditions and nature of frictional interaction when the mobile nodes move along the slide-ways is performed. The methods and tools most frequently used to improve the smoothness of motion and improve positioning accuracy of the nodes of machine tools: use of special lubricants; the establishment of a regular microrelief on the surface of the slide-ways; unloading slide-ways; the use of antifriction materials for built-up slide-ways; forming a coating on the working surfaces of the slide-ways. The method of cladding by flexible tool is proposed for forming anti-friction coating on the slide-ways.*

**Key words:** metal-cutting machine tools, slide-ways, stick-slip motions, decreasing of friction, coating, cladding by flexible tool.

### **1. Введение.**

В станкостроительной промышленности технический уровень станков определяется комплексом технико-экономических показателей, важнейшим из которых является точность. От точности станка в значительной степени зависит точность обработки деталей. При решении задач, связанных с обеспечением высокой точности при установке координат отверстий или на диаметр изделия, серьезную проблему представляют медленные перемещения силового стола и формообразующих узлов станка, поскольку силы трения, возникающие при перемещении этих узлов по направляющим скольжения, существенно влияют на равномерность их медленных перемещений.

Изготовление, а также ремонтные работы направляющих скольжения имеют основополагающее значение для точной работы станка. Износ и повреждение направляющих скольжения станка ведут к потере технологической точности, снижению качества обработки изделий и делают невозможным дальнейшую его эксплуатацию в обычном технологическом цикле. Восстановление первоначальных (паспортных) данных механической основы станка является наиболее затратной и технологически сложной задачей при ремонте и модернизации. Металлические пары скольжения подвергаются коррозии, на них появляются пятна ржавчины, возникает нежелательное сопротивление трению скольжения, вибрация, эффект «stick-slip» (скачкообразное перемещение), неподвижность, износ.

Важной особенностью работы направляющих прямолинейного движения в сравнении, например, с подшипниками, в большинстве универсальных станков является переменность использования различных участков длины направляющих, вследствие чего период приработки постоянно возобновляется и общая интенсивность изнашивания увеличивается.

Таким образом, проблема улучшения условий трения в направляющих скольжения и обеспечения равномерности перемещений формообразующих узлов станка является весьма актуальной для повышения точности позиционирования и долговечности металлорежущих станков.

Цель представленных исследований заключалась в анализе методов и средств, направленных на снижение трения в направляющих скольжения.

## **2. Основное содержание и результаты работы**

Анализ условий и характера фрикционного взаимодействия при перемещении подвижных узлов по направляющим скольжения показал, что основными факторами, определяющими условия работы направляющих, являются: давление, в том числе его нестабильность; скорость скольжения; смазка; температура направляющих; загрязнение направляющих или масла отходами обработки (металлической стружкой, окалинной, абразивом); наличие реверсирования движения; периодичность работы (относительная продолжительность работы направляющих в сравнении с длительностью смены) либо путь трения.

Важнейшей характеристикой условий работы направляющих является режим трения. По сравнению с другими парами трения, условия трения в направляющих скольжения отличаются такими особенностями, как: очень широкий диапазон изменения скоростей и нагрузок; вызванные большой протяженностью и невысокой жесткостью контактирующих деталей существенные микро- и макронеровности поверхности; наличие в зоне трения загрязняющих веществ вследствие трудности создания достаточно герметичных защитных устройств.

Относительно большой износ направляющих обусловлен следующими причинами: невозможностью совершенной изоляции открытых направляющих от попадания стружки и пыли; несовершенной и часто недостаточной смазкой; отсутствием условий для образования масляных клиньев достаточной несущей способности при медленных перемещениях (со скоростями подачи).

Важными критериями, позволяющими судить об условиях работы направляющих, являются зависимости силы трения от времени неподвижного контакта и скорости скольжения. Практика эксплуатации металлорежущих станков показывает, что при медленных перемещениях станочных узлов по направляющим скольжения часто наблюдается характерное для трения скольжения скачкообразное движение, вызванное появлением в направлении движения колебаний релаксационного или гармонического типа, приводящих к неравномерности подачи, снижению точности и чувствительности заданных перемещений, а следовательно, и точности обработки и качества обработанных поверхностей деталей [1–3]. Кроме того, фрикционные колебания создают дополнительные динамические нагрузки в приводе, вызывают повышенный износ направляющих и оборудования и поломку режущего инструмента.

В соответствии с молекулярно-механической теорией трения возникновение колебаний на малых скоростях перемещения объясняют неустойчивостью силы трения во времени при недостаточной жесткости всей системы [2, 4, 5]. Дискретность контакта направляющих, имеющего место на отдельных участках фактического касания, приво-

дит к постоянному переацеплению и соответственно изменению деформации этих участков, связанному с перемещениями узлов станка. Молекулярное взаимодействие между поверхностями препятствует перемещениям как в плоскости трения, так и в перпендикулярном к ней направлении. В традиционных направляющих смешанного типа это взаимодействие существенно между тонкими (не более 0,1 мкм) пленками на участках касания, а также в толстых, порядка микрометров, смазочных слоях, находящихся между участками касания (например, в шабровочных впадинах). В результате развивается пленочное голодание, приводящее к убыванию динамической характеристики трения и возрастанию статической, возникает перепад коэффициента трения на участках фактического касания, определяемый в основном деформацией и силой молекулярного сопротивления. При достаточной нагрузке и относительно низких упруго-диссипативных характеристиках узла трения этот перепад приводит к заметным колебаниям (скачкам) перемещаемого узла.

Для обеспечения плавного, без рывков движения станочных узлов по направляющим скольжения разность между статическим и динамическим коэффициентами трения должна быть как можно меньше [1]. Добиться этого можно либо изменением параметров механической системы в целом, за счет повышения жесткости привода подачи и улучшения демпфирующих свойств системы, либо воздействием на процесс трения, путем снижения сил трения и улучшения характеристик сил трения от скорости в направляющих скольжения (рис. 1, [6]).



Рис.1. Способы повышения точности позиционирования и улучшения равномерности перемещения станочных узлов

Для повышения жесткости привода используют: рациональную конструкцию привода, направляющих и соответствующее качество их изготовления и сборки; изменение геометрических параметров (укорочение кинематической цепи, увеличение жесткости деталей); изменение натяга в цепи привода (устранение зазоров и увеличение натяга в конечном звене, применение электромагнитных муфт, регулирование расположения привода по отношению к направляющим, применение малых перемещений). Однако следует учесть, что повышение жесткости привода влечет за собой увеличение массы станка, что не всегда является приемлемым.

Улучшить демпфирующую способность системы можно путем рационального использования неподвижных стыковых соединений конструкции или применения специальных демпферов. Однако конструктивное исполнение этих элементов связано с большими технологическими трудностями, к тому же введение демпфирующего элемента снижает жесткость системы, что отрицательно сказывается на точностных характеристиках станков.

В связи с вышесказанным, в станкостроении для обеспечения равномерности медленных перемещений станочных узлов наибольшее применение нашли методы, основанные на воздействии на процесс трения. Выбор метода воздействия зависит от множества факторов и ограничивается сложностью самого процесса трения; многообразием требований, предъявляемых к станку, инструменту, обрабатываемой детали; разнообразием условий работы трущихся поверхностей в станках.

### **3. Способы снижения трения и улучшения равномерности медленных перемещений подвижных узлов по направляющим скольжения**

Одним из эффективных и наиболее распространенных способов воздействия на процесс трения и, соответственно, обеспечения равномерности медленных перемещений и повышения точности и чувствительности установочных перемещений узлов станков является введение смазок различного вида, в том числе с антискачковыми, противоизносными и т.п. присадками. В основном в станкостроении используются антискачковые индустриальные масла двух серий: ИНСп-20, -40, -65 и -110 с кинематической вязкостью соответственно 20, 40, 65 и 110 мм<sup>2</sup>/с при 50°С для направляющих скольжения; И-ГН-Е-32 и И-ГН-Е-68 с кинематической вязкостью соответственно 20 и 40 мм<sup>2</sup>/с при 50°С для станков, в которых система смазки направляющих и гидросистема питаются из общего бака. Зарубежными аналогами масел серий ИНСп и И-ГН-Е являются масла Vacra, Vacuoline фирмы Mobil, а также Tonna фирмы Shell Oil.

Ограничивающим фактором при использовании антискачковых масел является их влияние на интенсивность изнашивания направляющих. Применение антискачковых смазок, содержащих обычно поверхностно-активные вещества (ПАВ), может не только уменьшить величину износа направляющих (если смазочный материал интенсивно снижает растягивающие напряжения, возникающие при трении), но и увеличить интенсивность изнашивания сопряжения в случае, если смазочный материал более интенсивно снижает прочность поверхностных слоев элементов направляющих [7]. Степень влияния смазочного материала на интенсивность изнашивания существенно зависит от концентрации ПАВ в нем: увеличение концентрации до некоторого значения приводит к одновременному уменьшению сил трения и интенсивности изнашивания. После того, как концентрация этих веществ превысит некоторое минимальное значение, интегральная линейная интенсивность изнашивания возрастает, хотя коэффициент трения при этом может оставаться неизменным или даже уменьшаться [7]. Интенсифицировать износ по сравнению с обычными индустриальными маслами антискачковые масла могут и при существенном загрязнении направляющих и сравнительно бедной

смазке [8]. Поэтому при использовании антискачковых масел необходима хорошая защита направляющих от загрязнения; при несовершенной защите требуется повышенный расход масла. Кроме того, для эффективного использования антискачковых масел в станках необходимо предварительно свести к минимуму скачкообразное движение узлов при смазывании нелегированным индустриальным маслом за счет устранения недостатков изготовления станка и непосредственно узла трения. В противном случае использование антискачкового масла приведет к повышенной интенсивности изнашивания узла трения.

Рациональным выбором и совершенствованием формы и конструкции направляющих скольжения также можно добиться повышения точности направляющих и всего станка в целом. Прямоугольные направляющие отличаются технологичностью изготовления, простотой контроля геометрической точности, простотой и надежностью регулировки зазоров, способностью воспринимать большие нагрузки, что в совокупности обуславливает их широкое применение в станках с ЧПУ. Треугольные направляющие обладают свойством автоматического выбора зазоров под действием собственного веса, однако угловое расположение рабочих граней усложняет их изготовление и контроль. Часто используют комбинированные направляющие, когда одна из направляющих выполнена прямоугольной, а другая – треугольной. Конструкции направляющих с оптимальным соотношением ширины и углов граней обеспечивают отсутствие или минимум смещений от износа и контактных деформаций в направлении, определяющем точность обработки. Так, применение треугольной симметричной передней направляющей для направляющих станина – салазки токарных универсальных станков позволяет повысить на 15...20 % жесткость и износостойкость направляющих по сравнению с несимметричной призмой (с углами  $25^\circ$  и  $60^\circ$ ) при равной высоте призм [1]. Для консольно-фрезерных станков повышение жесткости на 15–30 % достигается при использовании прямоугольных направляющих, вместо направляющих с формой «ласточкин хвост» (при равных габаритных размерах).

Одним из важнейших факторов, определяющих равномерность и точность перемещений узлов станков на малых скоростях скольжения, является контактное давление. Для снижения контактного давления используют разгрузку направляющих скольжения за счет восприятия внешних сил дополнительными элементами, например, подпружиненными опорами, катками, рабочей средой в виде масла (гидродинамические, гидростатические направляющие) или воздуха (аэростатические направляющие), электромагнитным полем и др.

Гидродинамические направляющие отличаются простотой конструкции, однако хорошо работают лишь при достаточно больших скоростях скольжения, которым соответствуют скорости главного движения (в продольно-строгальных, карусельных станках). Серьезным недостатком гидродинамических направляющих является нарушение жидкостной смазки в периоды разгона и торможения подвижного узла. Гидростатические направляющие обеспечивают жидкостную смазку при любых скоростях скольжения, гарантируя высокую точность, равномерность перемещений, хорошее демпфирование колебаний, что обуславливает их более широкое применение в металлорежущих станках. Недостатком гидростатических направляющих является сложность системы смазывания, необходимость специальных устройств для фиксации перемещаемого узла в заданной позиции, высокая стоимость. К тому же, гидростатические направляющие чувствительны к деформациям и погрешностям изготовления и монтажа.

Преимуществом аэростатических направляющих является то, что при движении обеспечивается низкий коэффициент трения, а при отключении подачи воздуха очень

быстро создается контакт поверхностей с большим трением, обеспечивающим достаточную жесткость фиксации узла станка в заданной позиции без фиксирующих устройств, в отличие от гидростатических направляющих. Недостатки аэростатических опор и направляющих, по сравнению с гидростатическими, заключаются в малой несущей способности, невысоком демпфировании колебаний (вязкость воздуха на четыре порядка меньше вязкости масла), низких динамических характеристиках, склонности к отказам из-за засорения магистралей и рабочего зазора.

Влияние контактного давления на антискачковые свойства направляющих для разных типов и моделей станков неоднозначно и зависит как от нагрузки и площади контакта, так и от материалов направляющих [5]. Снижение нагрузки на направляющие путем механической или магнитной разгрузки благоприятно для металлических (чугунных, стальных, бронзовых и т.п.) направляющих, но может привести к ухудшению антискачковых свойств сопряжения металлической (чугунной или стальной) и полимерной направляющих.

Одним из важнейших мероприятий по повышению равномерности перемещений и точности позиционирования подвижных узлов станков является подбор антифрикционных и антискачковых материалов для направляющих скольжения, при этом для обеспечения благоприятного результата необходимо учитывать реологические свойства материалов, поверхностную топографию, значения удельной нагрузки, вид контактирования и др. Для реализации правила положительного градиента механических свойств и предотвращения схватывания пару трения комплектуют из разнородных материалов, имеющих различный состав, структуру и твердость [4].

Основными материалами для изготовления направляющих скольжения по-прежнему являются чугуны и стали. Широко используют серый чугун марки СЧ ГОСТ 1412–85, содержащий в своей структуре пластинчатый графит. Микропоры, образующиеся на чугунной поверхности вследствие выкрашивания графита, способствуют удержанию смазочного материала, подаваемого в зону контакта, что в сочетании со смазывающим действием самого графита обеспечивает высокие антифрикционные свойства серого чугуна. Однако возникающие в процессе изнашивания трещины в частицах графита, расположенных вблизи поверхности скольжения, приводят в дальнейшем к ослаблению и выпадению отдельных зерен металла, что снижает прочность поверхностного слоя [9].

Цветные сплавы, например, безоловянные и оловянные бронзы, сплавы на цинковой основе, в паре со сталью и чугуном обеспечивают наилучшую износостойкость, равномерность подачи, отсутствие задиров, однако высокая стоимость сдерживает их широкое применение при изготовлении направляющих. В основном цветные сплавы используют в тяжелых станках в виде накладных направляющих.

Пластмассы обладают хорошими характеристиками трения и антизадирными свойствами, обеспечивают равномерность движения при малых скоростях и отсутствие схватывания. Однако малая жесткость, низкая износостойкость при абразивном загрязнении, влияние тепловых воздействий, влаги, масла, слабых щелочей и кислот ограничивают их применение. В станках их используют в основном в виде лент или пластин с различными наполнителями (бронза, дисульфид молибдена, графит, и др.).

К недостаткам накладных направляющих относится трудоемкость их изготовления и ремонта, особенно в тяжелых станках. Для устранения этого недостатка используют формуемые направляющие из композиционных быстротвердеющих материалов на основе эпоксидных смол, наполненных фторопластом, полиэтиленом, баббитом, каолином, тальком и др., которые наносят на подготовленные поверхности направ-

ляющих, после чего при необходимости подвергают дополнительной механической обработке.

Использование технологических методов для улучшения эксплуатационных свойств направляющих скольжения в ряде случаев может оказаться наиболее эффективным. Правильный выбор технологического процесса механической обработки деталей позволяет существенно снизить время их приработки и свести к минимуму или вообще предотвратить образование задиров. Для повышения износостойкости рабочих поверхностей чугуновых и стальных направляющих применяют методы поверхностного упрочнения, обеспечивают оптимальную микрогеометрию рабочей поверхности специальными методами финишной механической обработки (плоское шлифование, вибро-накатывание, упрочняющее фрезерование, шабрение). При этом пластически деформируется поверхностный слой и на нем образуется регулярный микрорельеф. Канавки, составляющие этот микрорельеф, способствуют лучшему удержанию смазки и служат для сбора твердых частиц, попадающих в зону трения, препятствуя образованию задиров.

Перспективным направлением в решении задачи снижения трения в направляющих скольжения и улучшения равномерности медленных перемещений является формирование на рабочих поверхностях направляющих скольжения антифрикционных покрытий, в частности, методами напыления и наплавки порошковых материалов, финишного плазменного упрочнения, плазменной закалки и плазменной модификации.

Для повышения износостойкости узлов трения станков, устранения скачков и снижения усилий на перемещение подвижных узлов используют финишную антифрикционную безабразивную обработку (ФАБО) поверхностей с применением смазочных материалов, содержащих поверхностно-активные вещества. По данным работы [10], применение ФАБО позволило снизить на 20–40 % усилия страгивания и перемещения по направляющим в узле «стол–станина» (продольно-строгальные станки Р-6000, 7210, 7212 Сасовского станкозавода; станки мод. 52А50, 53А80 Егорьевского завода). Метод ФАБО чрезвычайно прост, не требует сложного оборудования и придает стальной поверхности высокие антифрикционные свойства. Однако этот способ не лишен недостатков: он сопровождается выделением теплоты, характеризуется низкой производительностью и большими нагрузками на инструмент. Кроме того, перенос металла на стальную поверхность в виде отдельных частиц вызывает неравномерность толщины покрытия и наличие отдельных незащищенных участков.

Несмотря на большое количество публикаций, касающихся использования указанных методов для улучшения эксплуатационных свойств направляющих скольжения, их широкое промышленное применение, учитывая крупные габариты станин и большую длину направляющих, не всегда экономически оправдано, а в некоторых случаях и технически трудно осуществимо, так как требует наличия дорогостоящего оборудования, принятия специальных мер по экологической защите, осуществления последующей механической обработки сформированных покрытий.

Альтернативой используемым методам может стать метод плакирования гибким инструментом (ПГИ) [11–15]. Метод ПГИ отличается простотой конструктивного исполнения, легко реализуется на обычных металлорежущих станках и не требует привлечения высококвалифицированного персонала. Существенным преимуществом процесса ПГИ является его низкая энергоемкость: при прочих равных условиях для плакирования требуется в 10–100 раз меньше энергии, чем при наплавке, плазменном напылении или электролитической обработке [11]. Трудоемкость и себестоимость формирования покрытий методом ПГИ также значительно ниже, чем при использовании наибо-

лее распространенных технологий. Преимуществом метода ПГИ является также отсутствие операций предварительной подготовки поверхности, таких, как травление, пескоструйная или дробеструйная очистка и т.п., которые значительно усложняют, удлинняют и удорожают известные процессы нанесения покрытий. Важным преимуществом метода ПГИ является также и то, что его можно с успехом использовать для формирования покрытий на крупногабаритных и длинномерных деталях, таких, как литые направляющие на станинах станков. При этом направляющие станков можно покрывать непосредственно после шлифования на этом же оборудовании, предварительно установив соответствующую технологическую оснастку. После нанесения покрытия дополнительной механической обработки детали с покрытием не требуется.

По данным работ [13-15], формирование методом ПГИ на рабочих поверхностях направляющих скольжения композиционных антифрикционных покрытий способствует снижению коэффициента трения скольжения в 1,45–1,78 раза, интенсивности изнашивания пары трения – в 1,32–9 раз, при этом разность между статическим и динамическим коэффициентами трения уменьшается в 2,6–2,9 раза, что способствует уменьшению усилия страгивания ползуна в 1,7–2,3 раза и устранению его скачкообразных перемещений. Благодаря этому значительно улучшается плавность хода формообразующих узлов станка при их медленных перемещениях по направляющим скольжения, что обеспечивает повышение их точности позиционирования и, соответственно, повышение точности обработки деталей.

#### **4. Заключение**

Анализ условий и характера фрикционного взаимодействия при перемещении подвижных узлов по направляющим скольжения показал, что серьезную проблему для обеспечения требуемой точности позиционирования представляет скачкообразное движение, возникающее при малых скоростях перемещения. Для повышения плавности перемещений и улучшения точности позиционирования узлов металлорежущих станков наиболее часто используют методы и средства, направленные на снижение трения в направляющих скольжения, такие, как: специальные смазочные материалы, легированные антискачковыми, противоизносными, антизадирными и т.п. присадками; создание регулярного микрорельефа на поверхности направляющих, способствующего удержанию смазки; гидродинамическая, гидро- и аэростатическая, магнитная и др. разгрузка направляющих; антифрикционные материалы накладных направляющих; антифрикционные покрытия.

Большинство из указанных методов во многих случаях позволяют весьма эффективно снизить трение, однако при этом существенно увеличивают себестоимость изготовления направляющих за счет увеличения трудоемкости и энергоемкости процесса. Эффективным способом повышения эксплуатационных характеристик направляющих скольжения является формирование на их рабочих поверхностях антифрикционных покрытий. Сопоставление технико-экономических показателей различных методов формирования антифрикционных покрытий на направляющих скольжения станин металлорежущих станков показало, что большинство из них обладают значительной энерго- и трудоемкостью либо достаточно трудно применимы для обработки направляющих крупногабаритных станин. Альтернативой используемым методам может стать метод ПГИ, обладающий такими преимуществами, как низкая энергоемкость, простота конструктивного исполнения, возможность обработки крупногабаритных деталей.



**ЛИТЕРАТУРА**

1. Решетов Д. Н., Портман В. Т. Точность металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.
2. Эльясберг М. Е. Автоколебания металлорежущих станков: теория и практика. – СПб.: Особое конструктор. бюро станкостроения, 1993. – 180 с.
3. Гребень В. Г., Гаврилов В. А. Колебания в станках: конспект лекций. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2008. – 82 с.
4. Крагельский И. В., Гитис Н. В. Повышение износостойкости направляющих скольжения // Станки и инструмент. – 1984. – № 10. – С. 14–15.
5. Гитис Н. В., Чижов Б. Н. Влияние контактного давления на антискачковые свойства направляющих скольжения // Станки и инструмент. – 1987. – № 1. – С. 13–15.
6. Антифрикционные эпоксидные композиты в станкостроении / П.В. Сысоев [и др.]; под общ. ред. Б.И. Купчинова. – Минск : Навука і тэхніка, 1990. – 231 с.
7. Крагельский И. В., Михин Н. М. Узлы трения машин: справочник. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
8. Гитис Н. В. Оценка антискачковых свойств материалов направляющих станков // Станки и инструмент. – 1986. – № 3. – С. 21–22.
9. Сотников А. В. Предотвращение задиров на трущихся поверхностях чугуновых деталей // Станки и инструмент. – 1990. – № 6. – С. 30–31.
10. Гаркунов Д. Н. Триботехника (износ и безызносность): учебник; 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательство МСХА, 2001. – 616 с.
11. Анцупов В. П. Теория и практика плакирования изделий гибким инструментом. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 1999. – 241 с.
12. Фрикционное плакирование металлом по металлу. Ч.1. Термопластическая деформация и процессы взаимодействия плакируемой поверхности и плакирующего слоя / Л.С. Белевский [и др.] // Металлург. – 2006. – № 10. – С. 33-38.
13. Леванцевич М. А., Максимченко Н. Н., Калач В. Н. Исследование влияния покрытий на антискачковые свойства направляющих скольжения // СТИН. – 2012. – № 9. – С. 4–8.
14. Леванцевич М. А., Максимченко Н. Н., Калач В. Н. Исследование влияния состава покрытий на плавность хода подвижных станочных узлов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения : Междун. сб. науч. тр. – Донецк : ДонНТУ, 2013. – Вып. 1, 2 (46). – С. 165–170.
15. Леванцевич М. А., Максимченко Н. Н. Улучшение эксплуатационных характеристик деталей поверхностным модифицированием методом плакирования гибким инструментом // Упрочняющие технологии и покрытия (Москва). – 2015. – № 10. – С. 16–20.

Поступила в редколлегию 14.05.2016 г.