



СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



МЕТАЛЛУРГИЯ: ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО

ТРУДЫ XX МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ

Часть 2

Новокузнецк
2017 год

Министерство образования и науки Российской Федерации

Сибирский государственный индустриальный университет

Посвящается 400-летию города Новокузнецка

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО
«Металлургия – 2017»**

15 – 16 ноября 2017 г.

Труды

XX Международной научно-практической конференции

Часть 2

**Новокузнецк
2017**

Редакционная коллегия

академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор М.В. Темлянец, д.т.н., профессор А.В. Феоктистов,
д.т.н., профессор Г.В. Галевский, д.ф.-м.н., профессор В.Е. Громов,
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, д.т.н., профессор Н.А. Козырев,
к.т.н., профессор С.Г. Коротков, к.т.н., доцент С.В. Фейлер

М 540

Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XX Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 2 / под ред. Е.В. Протопопова; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. – 474 с., ил.

ISSN 2542-1670

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и технологии производства, обработки и сварки металлов, энергоресурсосбережения, рециклинга и экологии в металлургии.

Конференция проведена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 17-08-20433.

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Администрация Кемеровской области

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»

АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

АО «Русал Новокузнецк»

АО «Кузнецкие ферросплавы»

ОАО «Черметинформация»

Издательство Сибирского отделения РАН

Журнал «Известия вузов. Черная металлургия»

Журнал «Вестник СибГИУ»

Журнал «IOP conference series: materials science and engineering»

ОАО «Кузбасский технопарк»

Западно – Сибирское отделение Российской Академии естественных наук

Совет молодых ученых Кузбасса

Основными фазами исходного регенерационного криолита являются криолит и сульфат натрия, криолита обработанного сульфатом алюминия – криолит и хиолит.

Выводы:

Основными направлениями сокращения расхода фтористого алюминия являются:

- получение и использование глинозема с более низким содержанием натрия;
- переработка части избыточного электролита по новой технологии с получением фтористого алюминия;
- переработка теплоизоляционной части отработанной футеровки с получением регенерационного криолита перерабатываемого по новой технологии в низкомодульный криолит.

При использовании новых технологий вторичные отходы используются в производстве цемента, а алюминиевые заводы приближаются к тому, чтобы стать полностью безотходными.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ с использованием результатов проекта по теме «Разработка и испытания эффективного пиролизического способа переработки отработанной футеровки алюминиевых электролизеров» № 14.577.21.0190, уникальный идентификатор RFMEFI57715X0190.

Библиографический список

1. Kondratev V.V., Rzechitsky E.P., Gorovoi V.O., Shakhrai S.G., Karlina A.I. Review of methods of waste lining processing from aluminum electrolyzers // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. T. 11. № 23. С. 11374-11381.
2. Kondratev V.V., Rzechitsky E.P., Bogdanov Yu.V., Zakharov S.V., Karlina A.I. Recycling of spent pot lining of electrolysis cells with regeneration of aluminum fluoride // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. T. 11. № 23. С. 11369-11373.
3. Ржечицкий Э.П., Кондратьев В.В., Карлина А.И., Шахрай С.Г. Получение фтористого алюминия из отходов алюминиевого производства // Цветные металлы. 2016. № 4 (880). С. 23-26.
4. Holywell G., Breault R. An Overview of Useful Methods to Treat, Recover, or Recycle Spent Potlining // JOM November 2013, Volume 65, pp 1441-1451
5. Ржечицкий Э.П., Немчинова Н.В., Петровский А.А. Изучение состава теплоизоляционной части отработанной футеровки алюминиевого электролизера / Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов: материалы 7 Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Иркутск, 2017. С. 158-160.
6. Ржечицкий Э.П., Немчинова Н.В., Петровский А.А. Методы переработки теплоизоляционной (огнеупорной) части отработанной футеровки алюминиевого электролизера // Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов: материалы 7 Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Иркутск, 2017. С. 160-162.
7. Ржечицкий Э.П., Кондратьев В.В., Тенигин А.Ю. Технологические решения по охране окружающей среды при производстве алюминия. / - Иркутск: изд-во ИрГТУ, - 2013. -160 с.
8. Куликов Б.П., Истомин С.П. Переработка отходов алюминиевого производства. / - Красноярск. ООО «Классик», 2004. 480 с.
9. Клименко В.П. Разработка технологии регенерации фтористых солей из твердых отходов электролитического производства алюминия. Дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 1973. 135 с.
10. Ржечицкий Э.П., Кондратьев В.В., Тенигин А.Ю., Афанасьев А.Д. Опытнo-промышленные испытания и перспективы использования низкомодульного криолита из газов и отходов производства алюминия / Известия ВУЗов. Прикладная химия и биотехнологии, №2, 2013 с.28-32.

УДК 621.926.323

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЩЕКОВЫХ ДРОБИЛОК ПРИМЕНЕНИЕМ УПРУГИХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СОЧЛЕНЕНИЯХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАР

Никитин А.Г., Абрамов А.В.

Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, nikitin1601@yandex.ru

Аннотация: Анализ работы рычажных механизмов, имеющих зазоры в шарнирах, показал, что зазоры являются причиной возникновения дополнительных динамических сил, снижающих

надежность работы щековых дробилок. Экспериментально доказано, что использование механизмов для выборки зазоров с упругими элементами, которые в течение всего цикла работы кривошипно-коромыслового механизма выбирают зазор в сочленениях кинематических пар, предотвращают появление дополнительных динамических нагрузок и, тем самым, повышают надежность работы щековых дробилок.

Ключевые слова: щековая дробилка, надежность, шарнир, зазор, пересопряжение поверхностей, дополнительные динамические силы.

INCREASING THE RELIABILITY OF WORK OF JAW CRUSHERS WITH APPLICATION OF ELASTIC PNEUMATIC ELEMENTS IN CONJUGATIONS OF KINEMATICAL COUPLES

Nikitin A.G., Abramov A.V.

Siberian State Industrial University
Novokuznetsk, Russia, nikitin1601@yandex.ru

Abstract: An analysis of the operation of the lever mechanisms with clearances in the hinges showed that the gaps are the cause of the appearance of additional dynamic forces that reduce the reliability of the jaw crushers. It has been experimentally proved that the use of mechanisms for the selection of gaps with elastic elements, which during the whole cycle of operation of the crank and rocker mechanism select a gap in the joints of kinematic pairs, prevent the appearance of additional dynamic loads and, thereby, increase the reliability of the jaw crushers.

Key words: jaw crusher, reliability, hinge, gap, surface interfacing, additional dynamic forces.

Практически во всех металлургических переделах в качестве исходного продукта требуется измельченный материал, получаемый с использованием дробильных машин. Также необходимо измельчать некоторые продукты металлургической промышленности: шлаки и ферросплавы. Одним из основных показателей качества дробилок, характеризующих их технический уровень и конкурентоспособность, является их надежность и долговечность в условиях эксплуатации, что количественно оценивается отсутствием отказов в процессе работы при получении на машине готовой продукции [1]. Очевидно, что чем меньше продолжительность простоев машина на устранение ее отказа, тем выше производительность машины.

Среди многочисленных технических причин относительно кратковременных, но достаточно частых простоев в условиях эксплуатации щековых дробилок значительное место занимают простои, связанные с заменой вкладышей подшипников скольжения из-за их износа.

Быстрый износ вкладышей является результатом не только контактного трения между цапфами осей и вкладышами, но и действия динамических сил, также являющихся источником вибраций машины, шума, преждевременной разладки резьбовых соединений и поломок деталей, причиной которых является увеличение числа циклов нагружений из-за знакопеременной нагрузки, возникающей при вибрации, что приводит к уменьшению их усталостной прочности.

Динамические силы, возникающие при работе валковых дробилок, обусловлены наличием зазора в кинематической паре сопряжения звеньев (цапфы и вкладыша подшипника) и дискретных значений скоростей относительного перемещения звеньев внутри зазоров подшипников скольжения.

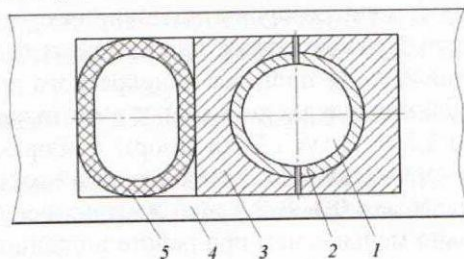
На узлы и детали щечковых дробилок в процессе эксплуатации действуют динамические силы, которые вызываются действием ударных нагрузок, возникающих при сбросе нагрузки, когда с предварительно упруго деформированной механической системы снимают вынуждающую (технологическую) силу при освобождении зоны дробления щековой дробилки, так как под действием силы технологического сопротивления цапфа прижата к поверхности вкладыша подшипника, расположенной на противоположной стороне от зоны дробления, а после снятия силы технологического сопротивления цапфа под действием сил упругости перемещается в противоположную сторону на величину зазора, ударяясь о вкладыш [2], при этом происходит перебег зазора с последующими, затухающими по силе за счет демпфирования, отскоками. Возникающая динамическая (ударная) сила приводит к возбуждению упругих колебаний (в дальнейшем – вибраций) механической системы: подшипников, подшипниковых корпусов, станины и так далее.

Зазоры в кинематических парах, наличие которых обязательно для обеспечения подвижности звеньев, с увеличением продолжительности эксплуатации щековых дробилок постепенно увеличиваются, что приводит к уменьшению точности получаемого готового продукта (изменение фракционного состава), а также увеличению дополнительных динамических сил.

Таким образом, надежная работа машины во многом зависит от создания условий, обеспечивающих беззазорный контакт сопряженных звеньев. На практике эту задачу традиционно решают применением либо конических сопряженных поверхностей [3], что вызывает сложности при их изготовлении, либо систем с пружинным поджатием полуштуков подшипников скольжения [4], однако стальные пружины обладают малой демпфирующей способностью, их параметры изменяются с течением времени, что требует постоянного контроля за их состоянием, а также пружинными элементами невозможно создать автоматические или автоматизированные системы управления устройствами для выборки зазоров. Выше изложенное обуславливает необходимость разработки конструктивных мероприятий для создания беззазорного соединения элементов кинематических пар.

Исследования показали, что необходимый эффект можно получить путем применения малогабаритных упругих пневматических элементов (рисунок 1), встраиваемых в кинематическую пару [5].

Постоянно воздействуя на подвижный корпус с закрепленным на нем антифрикционный вкладышем, упругий элемент выбирает зазор между цапфой и вкладышем. Устанавливается он со стороны, противоположной действию силы технологического сопротивления на подшипник, что способствует не только выбору зазора в сочленении, но и обеспечивает компенсацию износа вкладыша. Величина избыточного давления внутри упругого элемента задается такой величины, чтобы в результате действия сил упругости, действующих на цапфу после сброса сил технологического сопротивления, не происходило раскрытия зазора в сочленении.



1 — цапфа; 2 — вкладыш; 3 — подвижная полуопора; 4 — станина;
5 — упругий пневматический элемент

Рисунок 1 — Схема опоры с упругим пневматическим элементом

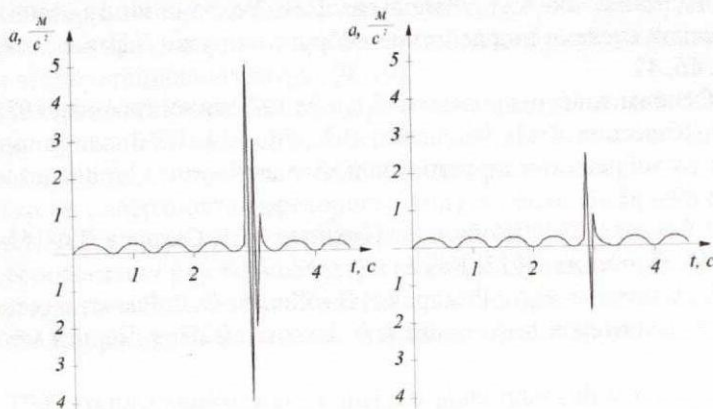
Жесткость упругого пневматического элемента, выполненного в виде цилиндра с ограниченной осевой деформацией, определяется соотношением [6]:

$$C = \frac{\pi \cdot l \cdot p_0}{2},$$

где: p_0 — величина избыточного давления;

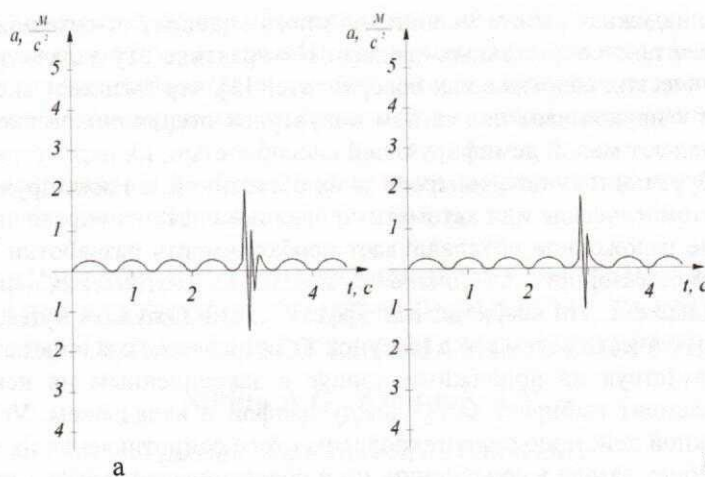
l — длина цилиндра.

Эксперименты проводились на исследовательской установке, представляющей собой щековую дробилку. Уровень вибрации оценивался косвенно через значения ускорений станины, в которой установлены акселерометры в горизонтальной и вертикальной плоскостях.



а — при наличии зазоров в опоре; б — при выбранных зазорах

Рисунок 2 — Осциллограммы ускорений станины в горизонтальной плоскости:



а – при наличии зазоров в опоре; б – при выбранных зазорах

Рисунок 3 – Осциллограммы ускорений станины в вертикальной плоскости:

Опыты показали, что при наличии зазоров в подшипниках скольжения уровень ускорений в горизонтальной плоскости (рисунок 2, а) составляют при холостых ходах $0,4 \div 0,5 \text{ м/с}^2$, под действием сил технологического сопротивления (в процессе однократного дробления) и при их сбросе возникают пики ускорений величиной по модулю до 5 м/с^2 , а в вертикальной плоскости (рисунок 3, а), соответственно, $0,3 \div 0,4 \text{ м/с}^2$ и $1,5 \div 2 \text{ м/с}^2$. Если зазоры в опорах выбраны с помощью упругих пневматических устройств, то в горизонтальной плоскости при холостых ходах уровень ускорений уменьшается незначительно и составляет $0,3 \div 0,4 \text{ м/с}^2$, а в процессе дробления и при сбросе нагрузки величина ускорений значительно меньше, чем при работе подшипников с зазорами и составляет $2 \div 2,5 \text{ м/с}^2$ (рисунок 2, б).

В вертикальной плоскости выборка зазоров практически не влияет на уровень ускорений (рисунок 3 б). Очевидно, что чем меньше уровень ускорений, возникающих при работе щековой дробилки, тем меньше уровень вибрации машины.

Следует отметить, что затухание значений ускорений при наличии зазоров в подшипниках при сбросе нагрузки происходит за $3 \div 4$ периода колебаний, в то время как при использовании устройств для выборки зазоров затухание происходит практически сразу, что свидетельствует о высокой демпфирующей способности упругих пневматических элементов.

Выводы. Определено влияние вибрационного воздействия, возникающего из-за наличия зазоров в подшипниках скольжения, на надежность работы щековых дробилок. Описана конструкция упругого пневматического устройства для выборки зазоров в подшипниках скольжения при работе щековой дробилки и экспериментально доказано снижение уровня вибрации за счет устранения зазоров.

Библиографический список

1. Гребенник В.М., Цапко В.К. Надежность металлургического оборудования. – М.: Металлургия, 1980. – 343 с.
2. Никитин А.Г., Чайников К.А., Зиновьева Е.В. Условие возбуждения упругих колебаний (вибраций) в механической системе под действием сброса нагрузки // Известия ВУЗов. Черная металлургия. 2011. № 10. С. 46, 47.
3. Орлов П.И. Основы конструирования. Т.1. – М.: Машиностроение, 1988. – 560 с.
4. Живов Л.И., Колесник Ф.И., Мишанин В.Г., Булат В.И. Влияние зазоров в кривошипно-ползунном механизме на вибрацию и шум гвоздильного автомата // Кузнечно-штамповочное производство. 1974. № 5. С. 29 – 31.
5. Пат. 2453371 РФ. Валковая дробилка. / Никитин А.Г., Сахаров Д.Ф., Чайников К.А., Прилукова Н.З. // Открытия. Изобретения. 2012. № 17.
6. Никитин А.Г., Чайников К.А., Реморов В.Е., Живаго Э.Я. Расчет жесткости пневматического цилиндра с ограниченной осевой деформацией // Известия ВУЗов. Черная металлургия. 2012, № 4, с.68 – 70.

СЕКЦИЯ 4: ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОС В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И АГРЕГАТАХ. РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ.....	363
ОБРАЗОВАНИЕ И ВЫБРОСЫ ДИОКСИДА СЕРЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ.....	363
Галевский Г.В., Минцис М.Я. СОКРАЩЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ НА ТЭЦ С ПЕРЕВОДОМ ОТОПЛЕНИЯ КОТЛОВ НА ГАЗООБРАЗНОЕ ТОПЛИВО	366
Коротков С.Г., Сазонова Я.Е. К ВОПРОСУ О ПЕРСПЕКТИВАХ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ БУРЫХ УГЛЕЙ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ.....	369
Прошунин Ю.Е., Школлер М.Б. ЭМИССИЯ ПАУ ИЗ САМООБЖИГАЮЩИХСЯ АНОДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ.....	375
Минцис М.Я., Галевский Г.В. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ГАЗООЧИСТНЫХ УСТАНОВОК ОК РУСАЛ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ОТ ЭЛЕКТРОЛИЗЁРОВ С САМООБЖИГАЮЩИМСЯ АНОДОМ.....	377
Григорьев В.Г., Тепикин С.В., Шемет А.Д., Высотский Д.В., Кузаков А.А., Тенигин А.Ю. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ГОРЕЛКЕ СО ВСТРОЕННЫМ РАДИАЦИОННЫМ РЕКУПЕРАТОРОМ.....	383
Стерлигов В.В., Старикова Д.А. ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИЛИКОМАРГАНЦЕВОГО ШЛАКА	388
Павлович Л.Б., Исмагилов З.Р., Дятлова К.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ КОКСОХИМИИ	394
Полях О.А., Пономарев Н.С., Журавлев А.Д. ПЛАЗМОХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЛОГЕНОСОДЕРЖАЩИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХИМИЧЕСКОЙ И ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	398
Гимпельевич И., Мегидов Е., Мишне И., Рам Ш., Шимон Ю. РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОКРЕМНЕЗЕМА	401
Кондратьев В.В., Колосов А.Д., Горовой В.О., Небогин С.А., Ёлкин К. С., Немаров А.А., Иванов А.А. ПЕРСПЕКТИВЫ УТИЛИЗАЦИИ ОКАЛИНЫ ПРОКАТНЫХ ПРОИЗВОДСТВ	406
Горшкова О. С., Матюхин В. И. СИСТЕМА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА СИЛИКАТНОЙ СТРУИ ПРИ ПЛАВЛЕНИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ	409
Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Волокитин О.Г., Шеховцов В.В. УСКОРЕННАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ОТХОДОВ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО ОБОГАЩЕНИЯ	412
Водолеев А.С., Бердова О.В., Юмашева Н.А. ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ.....	417
Коляда Л.Г., Тарасюк Е.В. ТЕПЛОВАЯ РАБОТА ВОДООХЛАЖДАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭДП.....	421
Корнеев С.В., Трусова И.А. О ТЕХНОЛОГИЯХ СНИЖЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ	427
Ёлкин К.С., Ёлкин Д.К., Карлина А.И. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУХОЙ СЕПАРАЦИИ МИКРОКРЕМНЕЗЁМА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЛЕВЫХ ПРОДУКТОВ	432
Кондратьев В.В., Небогин С.А., Колосов А. Д., Горовой В.О., Немаров А.А., Иванов А.А., Запольских А.С.	432
НАПРАВЛЕНИЯ СОКРАЩЕНИЯ РАСХОДА ФТОРИСТЫХ СОЛЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ	436
Ржечицкий Э.П., Петровский А.А., Немчинова Н.В., Карлина А.И. ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЩЕКОВЫХ ДРОБИЛОК ПРИМЕНЕНИЕМ УПРУГИХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СОЧЛЕНЕНИЯХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАР	439
Никитин А.Г., Абрамов А.В.	