

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕЧЕНИЯ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СРЕДЫ В СЕРПОВИДНОМ ЗАЗОРЕ БЕЗМАСЛЯНОГО ПОДШИПНИКА

В работе представлены методика экспериментального исследования безмасляного подшипника скольжения турбоагрегата и стенд для ее реализации. В ходе испытаний выполнена визуализация течения воды, а также установлены зависимости потерь давления от расхода различных охлаждающих сред для серповидного зазора при различных частотах вращения ротора.

**Ключевые слова:** безмасляный подшипник, система охлаждения, экспериментальная методика, процесс течения среды.

Одним из актуальных вопросов в современном компрессоростроении является создание безмасляных узлов трения [1–7]. Учитывая сложные условия функционирования трибосопряжений в таких машинах и агрегатах, что обусловлено большими частотами вращения роторов и большими нагрузками, одним из определяющих работоспособность и ресурс факторов является тепловое состояние узла трения [3–5 и др.]. Проведенные исследования [3, 4] по определению эффективности различных схем охлаждения «сухих» конструкций полимерных подшип-

ников скольжения для различных конструктивных и режимных параметров функционирования трибосопряжения выявили перспективность реализации системы охлаждения серповидного зазора подшипниковых узлов трения. Однако проектирование такой системы охлаждения безмасляных конструкций металлополимерных опорных узлов трения, в том числе для турбоагрегатов требует проведения экспериментальных и численных исследований с целью изучения закономерностей, определяющих теплогидравлические характеристики серповидного зазора [3].

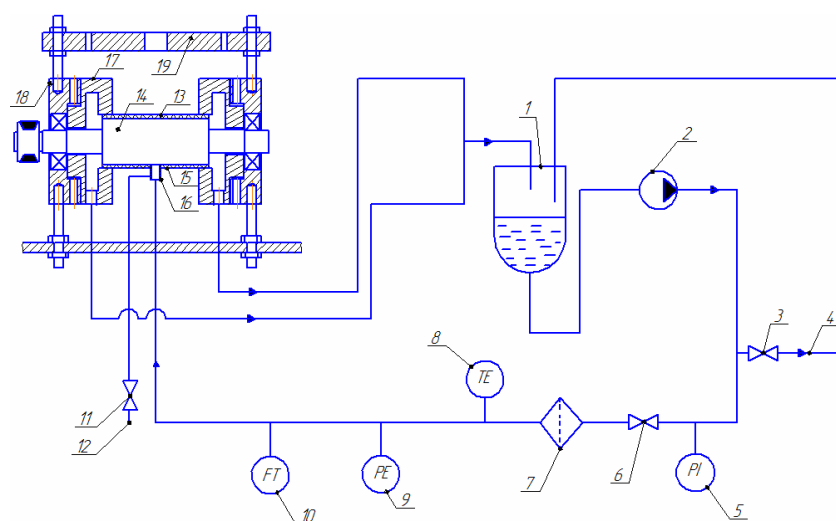
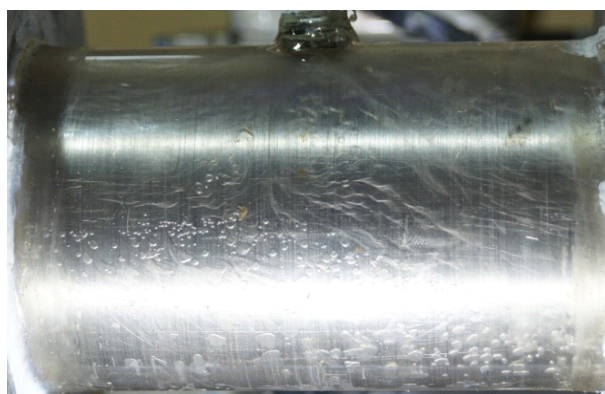


Рис. 1. Функциональная схема экспериментального стенда:

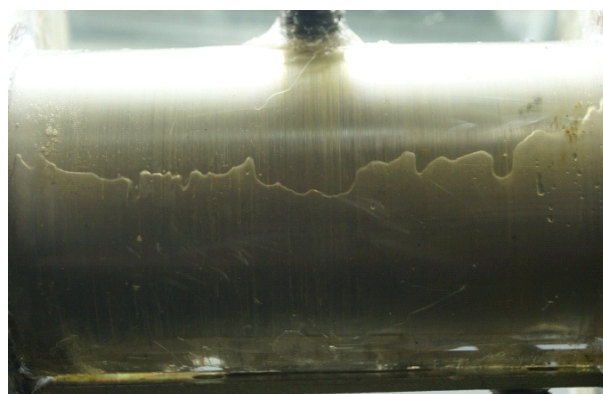
- 1 — бак; 2 — насос; 3, 6, 11 — регулирующий вентиль; 4 — байпасная линия; 5 — манометр;  
 7 — фильтр тонкой очистки; 8 — датчик температуры; 9 — датчик давления; 10 — расходомер;  
 12 — газовая линия; 13 — экспериментальный узел; 14 — ротор; 15 — подшипник;  
 16 — патрубок; 17 — направляющая; 18 — опора; 19 — индикаторная балка

Погрешности средств измерений

Измеряемый параметр	Единицы измерения	Средство измерения	Средняя погрешность, %
Частота вращения ротора	об/мин	ТЧ-10Р	1
Диаметральный зазор	мкм	ИЧ-10	1,5
Расход воды	м <sup>3</sup> /час	Карат-520	1
Расход воздуха	м <sup>3</sup> /час	Расходомер VA 400	4
Перепад давления (избыточное давление воды в патрубке)	Па	Манометр МО 1227	0,3
Температура воды в трубке	К	2ТРМО, термопара тип К	6
Геометрия ротора и подшипника	м	Микрометр МК75-1, нутромер НИ 50-100, штангенциркуль ШЦ-II-250 – 0,05	<1



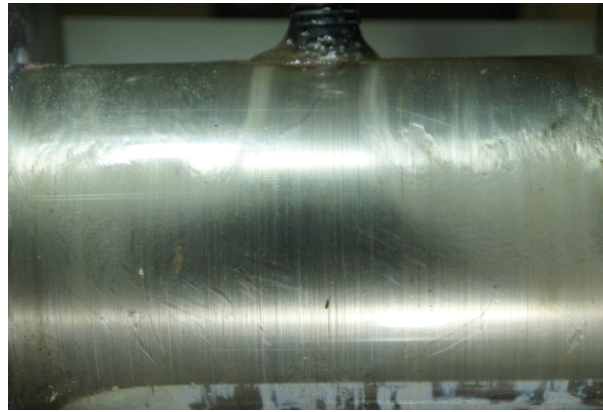
а



б



в



г

Рис. 2. Визуализация течения жидкости в серповидном зазоре безмасляного подшипника при  $Q=0,156$  м<sup>3</sup>/ч:

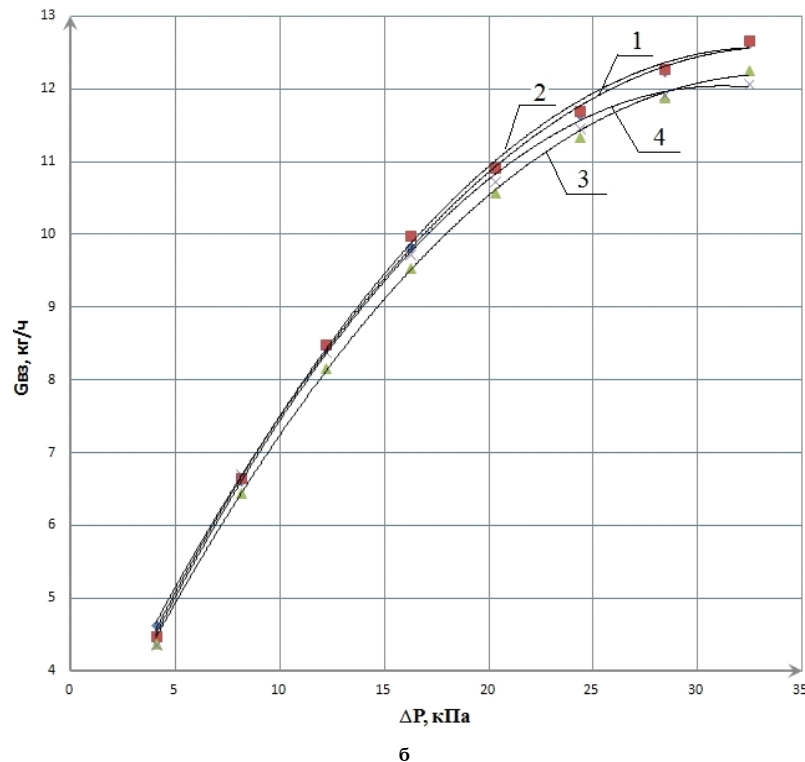
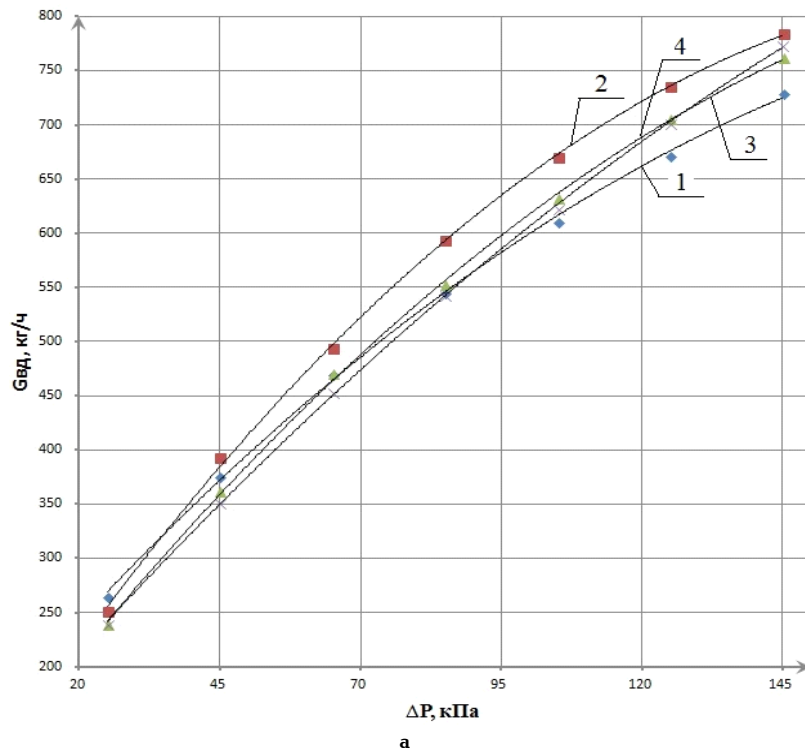
а —  $p=0$  об/мин, б — вращение от нас,  $p=1800$  об/мин,  
в — вращение на нас,  $p=4900$  об/мин, г — вращение на нас,  $p=6000$  об/мин

В данной работе представлена методика экспериментального исследования, позволяющая выполнить визуализацию течения жидкости в серповидном зазоре безмасляного подшипника и гидродинамические характеристики потока охлаждающей среды. Конструкция экспериментального стенда, а также его функциональная схема представлены на рис. 1.

Конструкция стенда состоит из следующих элементов (рис. 1): экспериментального узла 13, реализованного за счет стального ротора 14, стеклянного подшипника 15 и патрубка подачи жидкости 16; симметрично расположенных относительно патрубка 16

направляющих 17, опор 18 и подшипников. Индикаторная балка 19, содержащая индикаторы часового типа (условно не показаны), позволяет устанавливать требуемую величину зазора в безмасляном подшипниковом узле трения 13, перемещая экспериментальный подшипник 15 совместно с направляющими 17, в которых он закреплен, за счет регулирующих винтов. Направляющие 17 также выполняют функцию сборника воды, откуда среда направляется в бак 1.

Экспериментальный стенд позволяет проводить испытания в следующем диапазоне параметров: относительный эксцентриситет ( $\epsilon$ ) от 0 до 1; частота



**Рис. 3. Зависимость массового расхода воды (а) и воздуха (б) от перепада давления между входным отверстием и выходным сечением серповидного зазора безмасляного подшипника: 1 —  $n=0$  об/мин; 2 —  $n=2000$  об/мин; 3 —  $n=4000$  об/мин; 4 —  $n=6000$  об/мин**

вращения ротора ( $n$ ): 0–6500 об./мин; массовый расход воды ( $G_{вд}$ ): 0–1000 кг/ч, массовый расход воздуха  $G_{вз}$  = 0–25 кг/ч; величина диаметрального зазора ( $\delta$ ): более 100 мкм при фиксированном диаметре ротора ( $d_p$ ), равном 52,88 мм; угол контакта ( $2\varphi$ ): до 180°; средняя температура охлаждающей среды ( $T_{ср}$ ): 25 °С; перепад давления ( $\Delta P$ ): 0–400 кПа; внутренний диаметр патрубка ( $d_n$ ): 6 мм; угол установки патрубка относительно вертикали ( $\theta$ ): от 0 до 360° за пределами угла контакта; количество патруб-

ков ( $K$ ): 1–3; охлаждающая среда: жидкость, газ; длина подшипника ( $l_n$ ): 126 мм.

Функциональная схема стенда (рис. 1) обеспечивает подготовку воды, регулирование и контроль параметров состояния воды. Линия 12 (рис. 1) позволяет организовать подачу газа при пузырьковом методе визуализации потока (для неподвижного ротора). Данная линия также обеспечивает регулирование и контроль параметров воздушной среды при подаче пузырьков воздуха в поток воды через

иглу, установленную в патрубке безмасляного подшипника.

Основные измеряемые величины, средства измерений и погрешности измерения представлены в табл. 1.

Представленные результаты экспериментальных исследований были получены при следующих режимных и конструктивных параметрах:  $n = 0 \div 6200$  об./мин;  $Q_{\text{вд}} = 0 \div 1$  м<sup>3</sup>/ч;  $Q_{\text{вз}} = 0 \div 11$  м<sup>3</sup>/ч;  $\delta = 590$  мкм;  $d_p = 52,88 \cdot 10^{-3}$  м;  $2\varphi^\circ = 70^\circ$ ;  $T_{\text{ср}} = 298$  К;  $\Delta P = 25 - 150$  кПа;  $d_{\text{п}} = 6 \cdot 10^{-3}$  м;  $\theta = 0^\circ$ ;  $K = 1$ ;  $l_{\text{п}} = 126 \cdot 10^{-3}$  м;  $2\varphi^\circ = 180^\circ$ .

В результате экспериментальных исследований выполнена визуализация течения воды для различных режимов эксплуатации подшипника, отдельные результаты которых представлены на рис. 2, а также установлены зависимости потерь давления для серповидного зазора от величины расхода охлаждающей среды (рис. 3) при различных частотах вращения ротора. На фотографиях (рис. 2) можно наблюдать линии тока (рис. 2а) и границы поверхности, омываемые водой (рис. 2б, в, г). При этом наблюдается следующая картина: при неподвижном роторе омывается вся поверхность ротора (рис. 2а), за исключением участков, примыкающих к границам контакта с подшипником, где можно наблюдать застойную область (скопление пузырьков); при вращении ротор увлекает за собой жидкость, смещая границу жидкости от поверхности контакта с подшипником в сторону вращения (рис. 2б); при дальнейшем увеличении частоты вращения ротора граница жидкости, омывающей поверхность ротора смещается к поверхности контакта в сторону вращения (рис. 2в, г).

Результаты экспериментальных исследований, полученные для различных зазоров и расходов среды, показали, что с увеличением частоты вращения ротора наблюдается резкое уменьшение поверхности, омываемой охлаждающей средой. При этом в диапазоне частот вращения ротора  $0 - 6000$  об./мин при расходе равном  $0,156$  м<sup>3</sup>/час и зазоре  $590$  мкм площадь омываемой поверхности (соответственно отводимый тепловой поток) уменьшилась на  $60 - 70$  %.

В диапазоне исследования определены потери давления (рис. 3) от расхода воздушной и водяной охлаждающих сред. В результате испытаний выявлено слабое влияние частоты вращения в диапазоне исследования на величину расхода при заданном перепаде давлений на безмасляном подшипнике, как для жидкой, так и для газовой охлаждающей среды.

Таким образом, в результате выполненной работы разработана методика экспериментального исследования процессов течения охлаждающей среды в серповидном зазоре безмасляного подшипника. Выполнена визуализация течения воды в серповидном зазоре при различных конструктивных и режимных параметрах, которая выявила существенное влияние частоты вращения ротора на площадь поверхности, омываемой жидкой охлаждающей средой, что требует разработки конструктивных реше-

ний для повышения эффективности теплообмена в серповидном зазоре подшипника. Выявленные зависимости потерь давления от величины расхода охлаждающей среды показали слабое влияние частоты вращения ротора (в диапазоне от  $0$  до  $6000$  об./мин) на потери давления в зазоре подшипника, как для жидкости, так и для газа. Полученные результаты планируется применить при верификации численной методики расчета процессов течения охлаждающей среды в серповидном зазоре безмасляного подшипника.

#### Библиографический список

1. Основы трибологии (трение, износ, смазка) : учеб. для техн. вузов / Э. Д. Браун [и др.] ; под ред. А. В. Чичинадзе. — М. : Центр «Наука и техника», 1995. — 778 с.
2. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. Структурная модификация / Ю. К. Машков [и др.]. — М. : Машиностроение, 2005. — 240 с.
3. Райковский, Н. А. Исследование теплового состояния несмазываемых охлаждаемых подшипников. Математическое моделирование и анализ результатов : моногр. / Н. А. Райковский, В. Л. Юша, Е. В. Сухов. — LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. — 144 с.
4. Юша, В. Л. Охлаждаемые несмазываемые подшипники малорасходных турбоагрегатов : моногр. / В. Л. Юша, Н. А. Райковский. — Омск : ОмГТУ, 2013. — 128 с.
5. Вибронадежность и герметичность центробежных машин : моногр. (кол.) / Под ред. В. А. Марцинковского, А. В. Загоруйко. — Сумы : СумГУ, 2011. — 351 с.
6. Stachowiak G. W. and Batchelo A. W., 'Engineering Tribology', Third Edition, Elsevier Butterworth Heinemann Publication, 2011. — 802 p.
7. Harnoy A., 'Bearing Design in Machinery: Engineering Tribology and Lubrication', M. Dekker, New York, 2003. — 652 p.

**РАЙКОВСКИЙ Николай Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры холодильной и компрессорной техники и технологии.

**ТРЕТЬЯКОВ Александр Валерьевич**, аспирант кафедры холодильной и компрессорной техники и технологии.

**АБРАМОВ Сергей Александрович**, студент гр. ВК-510 нефтехимического института.

**ПОТАПОВ Виталий Валерьевич**, магистрант гр. ХТМ-514 факультета элитного образования и магистратуры.

**ЗЮЛИН Дмитрий Викторович**, магистрант гр. ХТМ-514 факультета элитного образования и магистратуры.

**ВЕТЛУГИН Алексей Витальевич**, студент гр. ТМО-411 нефтехимического института.

Адрес для переписки: n\_raykovskiy@mail.ru

Статья поступила в редакцию 14. 04.2015 г.

© Н. А. Райковский, А. В. Третьяков, С. А. Абрамов, В. В. Потапов, Д. В. Зюлин, А. В. Ветлугин

## Книжная полка

**Диагностика и ремонт трубопроводов. Методы, совершенствование, применение / А. Г. Гумеров [и др.] ; под ред. А. Г. Гумерова. — М. : Недра, 2014. — 147 с. — ISBN 978-5-8365-0422-9.**

Проведен анализ существующих и предложены новые методы диагностики самых распространенных осложнений трубопроводов — утечек и уменьшения проходного сечения. Предложены технологии и технические средства для ремонта трубопроводов по методу «труба в трубе» и без остановки перекачки.

## СОЗДАНИЕ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА СВЕРХСКОРОСТНЫМ ШЛИФОВАНИЕМ ДЛЯ СУПЕРФИНИШНОЙ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ

Качество затачивания твердосплавного режущего инструмента определяет его стойкость, качество и надежность лезвийной обработки. На сегодняшний день существует большое количество фирм, поставляющих металлорежущий инструмент в Россию. Номенклатура представленного инструмента разнообразна и включает режущий инструмент для высокоточной обработки, при этом качество затачивания лезвия, то есть радиус округления лезвия этого инструмента составляет порядка 10...15 мкм, что, в свою очередь, позволяет производить обработку с толщиной стружки не менее 20...30 мкм. Это ограничение зачастую является критическим и предельным, так как точность обработки некоторых ключевых деталей составляет 3...5 мкм, а также приводит к значительному снижению потенциального ресурса режущего инструмента. Повышение качества затачивания до значений 1...3 мкм позволяет получать высокую точность обработки и ресурс режущего инструмента, что также положительно отражается на качестве обработки. Данная работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

**Ключевые слова:** металлообработка, высокоскоростное шлифование, затачивание твердосплавного инструмента.

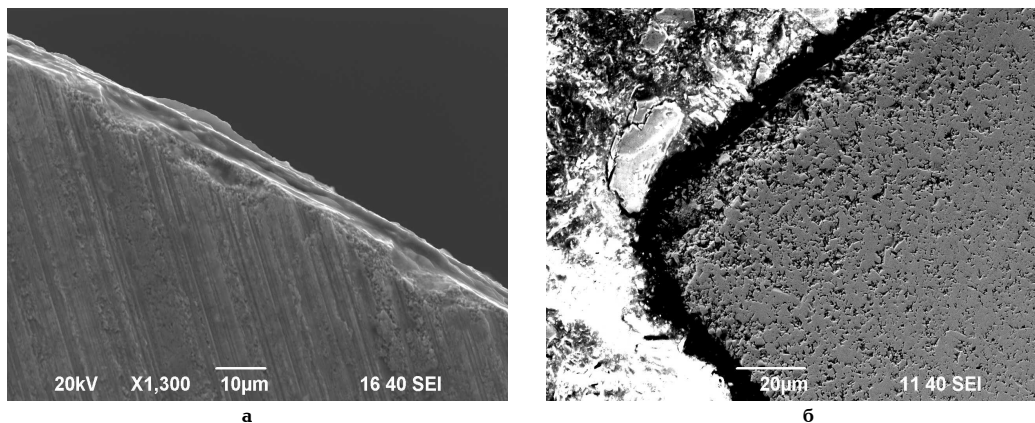
Современные станки позволяют позиционировать металлорежущий инструмент относительно обрабатываемой заготовки с точностью в 1 мкм, но повышение точности изготовления деталей может быть достигнуто только повышением остроты режущего инструмента, что позволит гарантированно срезать требуемые слои металла размерами 2...5 мкм, а также позволит уменьшить время, затрачиваемое на чистовые операции. Существующие технологии изготовления и затачивания режущего инструмента позволяют получать остроту лезвия до 10 мкм. Дальнейшее повышение остроты, используя существующие технологии и оборудование, невозможно [1–3].

На сегодняшний день наблюдается бурное развитие металлообрабатывающей отрасли. Вкладываются значительные средства на создание и восстановление машиностроительных предприятий, осуществляется их перевооружение. Предприятия оснащаются новыми станками, технологиями, инструментом и квалифицированными кадрами, но вместе с этим возникает и ряд существенных технических, финансовых, кадровых и других проблем. Потребность предприятий в вышеупомянутых ресурсах значительно превышает предложения на рынке. Наибольшую потребность в этих ресурсах испытывают предприятия аэрокосмической отрасли, так как они занимаются производством наиболее сложных и дорогостоящих деталей двигателей летательных аппаратов. Для изготовления ключевых деталей двигателей (диски лопаток турбин, лопатки, валы, кожуха, ротора и т.д.)

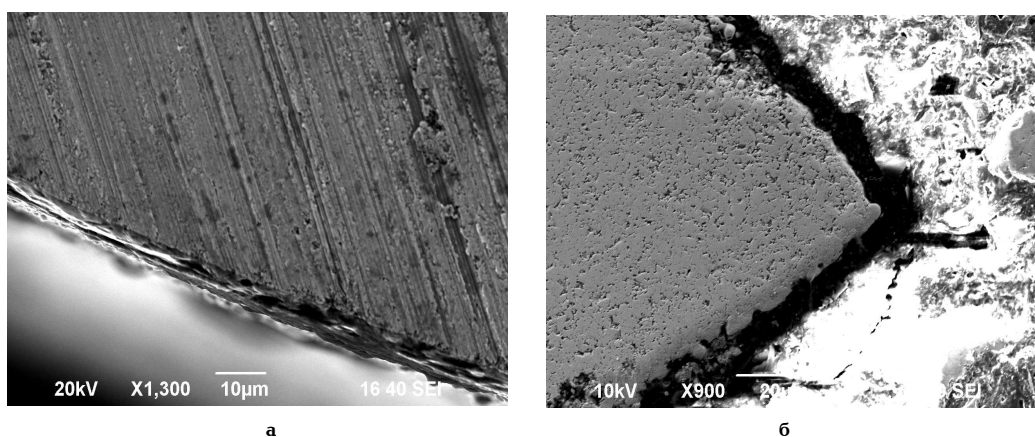
как правило используют жаропрочные сплавы, характеризующиеся высокой прочностью, износостойкостью, а также устойчивостью к высоким температурам. Стоимость некоторых ключевых деталей может достигать 1,5 млн рублей при цене заготовки около 300–400 тыс. рублей. Учитывая режимы и условия работы деталей двигателей летательных аппаратов, требуемая точность при их изготовлении составляет несколько микрометров.

Существующее оснащение аэрокосмических предприятий металлорежущим инструментом не обеспечивает стабильности качества и производительности обработки ключевых деталей двигателей самолетов и ракет. Поэтому создание двигателей сводится к индивидуальной (селективной) подборке при сборке их узлов. То есть существующие технологии, в которые входят режущий инструмент, режимы обработки и металлообрабатывающее оборудование, не позволяют в полной мере получать стабильные размеры и качество поверхности обрабатываемых деталей. Наилучшая точность, которую реально могут достигать предприятия при лезвийной обработке, составляет порядка 10 мкм.

При изготовлении диска лопаток турбин на производстве затрачивается порядка трех рабочих дней на выполнение черновых операций, чистовые операции могут занимать до четырех-пяти дней. Это связано с тем, что существующие станки и программное обеспечение позволяют позиционировать режущий инструмент относительно заготовки с точностью



**Рис. 1. Лезвие твердосплавного режущего инструмента, полученное при классическом затачивании с применением доводочной операции:**  
а — вид сверху; б — микрошлиф в продольном сечении



**Рис. 2. Лезвие твердосплавного режущего инструмента, полученное при высокоскоростном затачивании:**  
а — вид сверху; б — микрошлиф в продольном сечении

1 мкм, однако металлорежущий инструмент, используемый для обработки жаропрочных сплавов, имеет остроту (радиус округления режущей кромки) 10...15 мкм (лучшие зарубежные образцы). Российский аналог режущего инструмента имеет максимальную остроту лезвия 30...35 мкм. Для достижения требуемой точности обработки оператор станка вынужден многократно осуществлять операции по доводке детали, причем при перемещении режущего инструмента на 10 мкм он вдавливается в деталь, однако резания не происходит из-за её малой жесткости. Оператору приходится увеличивать глубину резания и повторять проход, при этом на каком-то очередном проходе происходит врезание режущей кромки в деталь и срезается гораздо больший слой металла, чем нужно, что может привести к браку детали. Используя существующий металлорежущий инструмент, практически невозможно гарантированно получить заданную точность.

Из 100 % деталей двигателей летательных аппаратов, изготавливаемых из жаропрочных сплавов, 20 % удовлетворяют требованиям точности изготовления, на 50 % деталей составляется дефектная ведомость (при этом их стоимость снижается на 1/3) и 30 % бракуются окончательно. Учитывая этот факт, сборка готового двигателя осуществляется селективным методом по наиболее подходящим размерам. В большинстве случаев при ремонте двигателей самолетов невозможно заменить изношенную деталь на новую, так как при изготовлении не обеспечивается их

унификация. Для обеспечения унификации необходимо повысить точность изготовления, что приведет к увеличению количества деталей, попадающих в поле допуска размеров.

Для снижения издержек и повышения производства деталей из жаропрочных сплавов в аэрокосмической отрасли необходимо решить научно-техническую задачу по разработке металлорежущего инструмента с радиусом округления лезвия менее 1 мкм (суперлезвие). Этот инструмент позволит снизить количество деталей с дефектовкой, уменьшить брак за счет повышения точности, а также производительности обработки.

Классические методы и режимы затачивания с применением доводочных операций позволяют получать лезвие с остротой не менее 5...6 мкм (рис. 1). Обработка производилась при режимах затачивания  $V=30$  м/с,  $S=1...1,5$  м/мин и  $t=0,01$  мм/дв. ход, что позволяет получать лезвие с остротой 5...10 мкм. Исследования проводились на растровом электронном микроскопе Jeol JCM-5700.

Обработка при режимах затачивания  $V=300$  м/с,  $S=1...1,5$  м/мин и  $t=0,01$  мм/дв. ход позволяет получать лезвие с остротой 1...2 мкм (рис. 2).

По проведенным исследованиям видно, что при высокоскоростном затачивании твердосплавной пластины качество лезвия и обработанных поверхностей режущего клина значительно выше. При классических режимах затачивания острота лезвия составляет 5...10 мкм, а при сверхскоростном затачи-

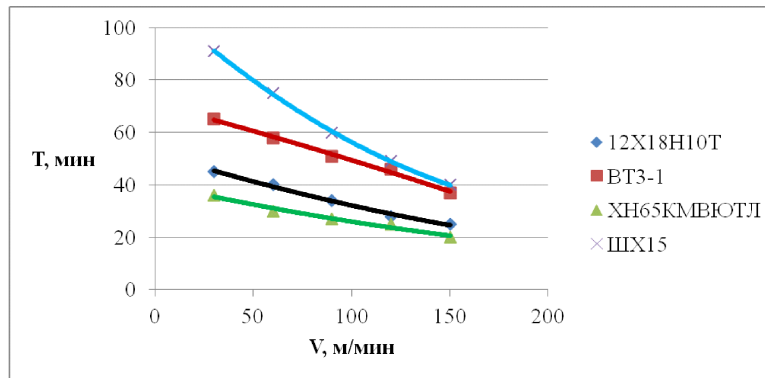


Рис. 3. Зависимость стойкости режущего инструмента

вании составляет 1...2 мкм, при этом на обработанных поверхностях отсутствуют следы окислов.

Традиционные технологии затачивания позволяют получать высокое качество лезвия лишь с помощью трудоемких доводочных операций, при этом не всегда гарантируется отсутствие завалов и прижогов. Переход на высокоскоростное затачивание позволяет, используя традиционные схемы формообразования режущей части, получать качественно новый результат за счет изменения механизма износа зерен шлифовального круга, а именно образования острых граней алмазных зерен. Данный эффект наблюдается при повышении скорости резания свыше 120 м/с. Однако в литературе отсутствуют результаты исследований по высокоскоростному шлифованию твердых сплавов алмазными кругами и не определена граница высокоскоростного шлифования.

Повышение скорости резания до нескольких сотен метров в секунду связано с решением сложных технических задач — разработки привода, проблем прочности шлифовального круга и балансировки привода. Представленная работа выполнена для определения целесообразности применения высококачественного лезвия.

Основные исследования в данной работе связаны с получением высококачественного лезвия твердосплавного режущего инструмента, позволяющего производить точение различных сталей, применяемых в авиационной и аэрокосмической промышленности, с паспортной точностью технологической системы. Рассматривались сталь 12X18H10T и сплав BT3-1.

Применение твердосплавных пластин, с радиусом округления менее 1 мкм, на токарных операциях возможно при глубине резания не менее 2—3 мкм. Для подтверждения данного утверждения проводились исследования при наружном точении деталей: из стали 12X18H10T, HRC 41...42 [4]; титанового сплава BT3-1, HRC 39...40 [5]; стали ШХ15 [4] и ХН65КМВЮТЛ [4] на токарном станке с ЧПУ Okuma Genos L200E-M. Точение осуществлялось заточенной твердосплавной пластиной CNMG 120408 сплав 1105 Sandvik Coromant (острота лезвия составляет 0,8...1 мкм) при скоростях резания  $V=60$  и  $120$  м/мин, подаче  $S=0,05$  и  $0,08$  мм/об и глубине  $t=3$  мкм.

По проведенным испытаниям получены результаты:

1. Осуществлялось точение с глубиной резания 3 мкм и осуществлялся контроль размера детали через каждые 20 мм длины, при этом получаемый размер контролировался и сравнивался с требуемым

номинальным. По полученным измерениям построены зависимости стойкости твердосплавной пластины. Величина технологического износа пластины принята равной 3 мкм во всех случаях.

Зависимость стойкости режущего инструмента при точении стали 12X18H10T имеет вид:

$$T = 0,0003 \cdot V^2 - 0,2305 \cdot V + 52;$$

при точении BT3-1:

$$T = -0,0002 \cdot V^2 - 0,1981 \cdot V + 70,8;$$

при точении ШХ15:

$$T = 0,0014 \cdot V^2 - 0,6838 \cdot V + 110,4;$$

при точении ХН65КМВЮТЛ:

$$T = 0,0002 \cdot V^2 - 0,1662 \cdot V + 40,2.$$

На рис. 3 приведена зависимость стойкости режущего инструмента при обработке различных материалов.

2. Качество обработанной поверхности детали, определяющееся высотой неровностей, достаточно высокое. Величина неровностей (шероховатость) определялась профилометром MarSurf PS1, она находится в пределах  $R_z=0,975...0,996$  мкм. Точность размеров составляет  $\Delta = \pm 0,25$  мкм (отклонение фактического от номинального размера).

Точность обработки и качество обработанной поверхности являются закономерными и адекватными т.к. точность обработки и качество поверхности составляет 5—8 % от глубины резания.

#### Библиографический список

1. Режимы резания труднообрабатываемых материалов : справ. / Я. Л. Гуревич [и др.]. — М. : Машиностроение, 1976. — 176 с.
2. Захаренко, И. П. Основы алмазной обработки твердосплавного инструмента / И. П. Захаренко. — Киев : Наукова думка, 1981. — 300 с.
3. Анализ методов определения радиуса округления режущей кромки / А. С. Яношкин [и др.] // Тр. Братского гос. ун-та. Сер. Естественные и инженерные науки. — Братск : БрГУ, 2006. — Т. 2. — С. 256—260.
4. ГОСТ 5632—72. Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. — Введ. 1975—01—01. — М. : Изд-во стандартов, 1972. — 38 с.
5. ГОСТ 19807—91. Титан и сплавы титановые деформируемые. Марки. — Введ. 1992—07—01. — М. : Изд-во стандартов, 1991. — 3 с.

**РЕЧЕНКО Денис Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты».

Адрес для переписки: rechenko-denis@mail.ru

**ПОПОВ Андрей Юрьевич**, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты».

Адрес для переписки: popov\_a\_u@list.ru

**ЛЕОНТЬЕВА Екатерина Валерьевна**, инженер 1-й категории кафедры «Машиноведение»; магистрант

гр. ПЭН-514 факультета элитного образования и магистратуры (ФЭОиМ).

Адрес для переписки: katyleo@bk.ru

**МАТВЕЕВА Марина Геннадиевна**, заведующая лабораториями кафедры «Машиноведение»; магистрант гр. ПЭН-514 ФЭОиМ.

Адрес для переписки: marina-matveeva-71@mail.ru

Статья поступила в редакцию 03.02.2015 г.

© Д. С. Реченко, А. Ю. Попов, Е. В. Леонтьева,  
М. Г. Матвеева

УДК 631.362.36

**А. В. ЧЕРНЯКОВ  
К. В. ПАВЛЮЧЕНКО  
В. С. КОВАЛЬ  
Д. Н. АЛГАЗИН**

Тарский филиал  
Омского государственного аграрного  
университета им. П. А. Столыпина  
Омский государственный аграрный  
университет им. П. А. Столыпина

## ИССЛЕДОВАНИЕ СЕПАРАТОРА ЗЕРНА С НАКЛОННЫМ ВОЗДУШНЫМ КАНАЛОМ ПУТЕМ ПРОВЕДЕНИЯ ПЛАНИРУЕМОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Статья посвящена исследованию сепаратора зерна с наклонным воздушным каналом путем проведения планируемого эксперимента. Получены зависимости качественной характеристики работы сепаратора — полноты разделения. Выявлены значимые и незначимые факторы, оказывающие влияние на работу рассматриваемого сепаратора.

**Ключевые слова:** зерноочистка, сепарация, воздушный поток, угол наклона канала.

Одним из основных этапов производства зерна является послеуборочная обработка, заключающаяся в его очистке и сушке.

В настоящее время в сельском хозяйстве одной из основных является проблема очистки зерна, собранного комбайнами. Машины, агрегаты и комплексы послеуборочной обработки зерна изношены, и их производительность зачастую не устраивает сельских товаропроизводителей.

Предлагается использование зерноочистительного сепаратора с наклонным воздушным каналом и блоком гравитационных решет, позволяющего повысить качество разделения зерна на фракции (рис. 1) [1].

В результате теоретических исследований выяснено, что для сортировки зерна по аэродинамическим свойствам применение наклонного воздушного канала с днищем в виде решета, имеющего круглые отверстия, положительно отразится на производительности зерноочистительной машины. В производственных условиях очистки зерна от примесей на работу наклонного воздушного канала оказывает влияние множество факторов.

Задача настоящего исследования — выявить факторы, оказывающие наиболее значимое влияние на

работу сепаратора зерна с наклонным воздушным каналом.

При проведении экспериментальных исследований на лабораторной установке использовался наклонный воздушный канал длиной 1 м, высотой 0,1 м и шириной 0,18 м.

В качестве зернового материала использовалась пшеница сорта Росинка.

Отсеивающий эксперимент проводился с использованием плана Плакетта—Бермана [2]. При его проведении варьировались следующие факторы:

$G$  — удельная нагрузка на канал ( $X_1$ );

$V$  — скорость воздушного потока ( $X_2$ );

$\alpha$  — угол наклона канала к горизонту ( $X_3$ );

$l$  — длина решета днища наклонного канала ( $X_4$ );

$n$  — число круглых отверстий решета (диаметром 0,01 м), ( $X_5$ );

Все перечисленные факторы отвечают требованиям управляемости, операционности, совместности, однозначности и независимости. За критерий оптимизации принята величина полноты разделения, которую находили по формуле [3]:

$$\varepsilon = \frac{P}{P_0 \cdot a} \quad (1)$$



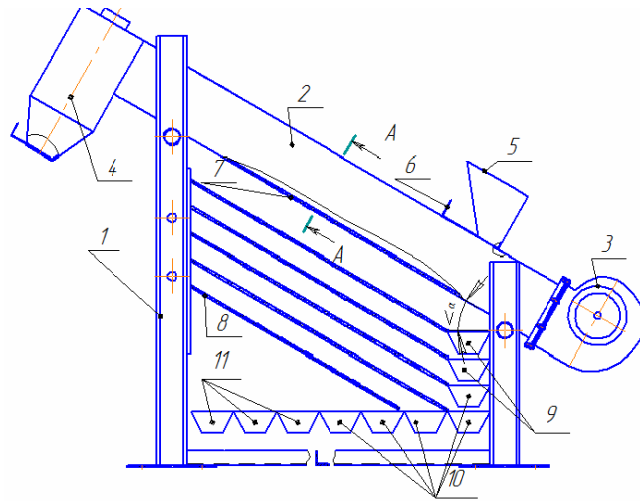


Рис. 1. Общий вид пневматического сепаратора для фракционного разделения и очистки зерна:  
 1 — рама; 2 — пневмосепарационный канал; 3 — вентилятор;  
 4 — осадочная колонка; 5 — загрузочное устройство;  
 6 — дозирующее устройство;  
 7 — днище пневмосепарационного канала; 8 — блок решет;  
 9,10,11 — приемники фракций

Таблица 1

Уровни варьирования факторов

Уровни варьирования \ Факторы	$G$ , кг/ч	$V$ , м/с	$\alpha$ , град	$l$ , м	$n$ , шт.
Кодированные значения	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
Верхний уровень (+1)	3200	15	10	0,8	800
Нижний уровень (-1)	700	10	5	0,65	700

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента

Фактор \ Номер опыта	Факторы							Полнота разделения $\epsilon$
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	
1	1	1	1	1	1	1	1	0,331
2	1	1	-1	1	-1	-1	-1	0,848
3	1	-1	1	-1	1	-1	-1	0,788
4	1	-1	-1	-1	-1	1	1	0,469
5	-1	1	1	-1	-1	1	-1	0,836
6	-1	1	-1	-1	1	-1	1	0,47
7	-1	-1	1	1	-1	-1	1	0,328
8	-1	-1	-1	1	1	1	-1	0,760

где  $P$  — количество полноценных зерновок, выделенных в канале за время опыта, кг;  
 $P_0$  — общее количество зерна, поступившего за время опыта, кг;  
 $a$  — относительное содержание полноценных зерновок в рабочем материале.

Для определения дисперсии оценок факторов к исследуемым были добавлены два фиктивных ( $X_6, X_7$ ).

Каждый из действительных факторов варьировался на двух уровнях. Уровни варьирования представлены в табл. 1.

Эксперименты проводили согласно матрице планирования, представленной в табл. 2.

Результатом проведения отсеивающего эксперимента является получение линейной модели вида [4]:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i, \quad (2)$$

где  $k$  — число действительных факторов модели (не учитывая фиктивных).

Расчет коэффициентов регрессии ведется по формуле [4]:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N X_{iu} y_u}{N}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, k., \quad (3)$$

где  $N$  — число опытов модели,  $N = 8$ .

Результаты отсеивающего эксперимента

Фактор	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
Коэффициент $b_i$	0,001	0,002	-0,002	-0,005	-0,003	-0,003	-0,004
Доверительный интервал $\Delta b_i$	0,001						
Значимость коэффициента	значим	значим	значим	не значим	не значим	не значим	не значим

Остаточная дисперсия рассчитывается из выражения [4]:

$$S_y^2 = \frac{N \sum_{j=1}^{N-k-1} b_j^2}{N-k-1}, \quad (4)$$

где  $b_j$  — коэффициент регрессии при  $j$ -м фиктивном факторе (всего таких факторов  $N-k-1$ ).

Для проверки статистической значимости коэффициентов рассчитывается дисперсия коэффициента [4]:

$$S_{b_i} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}}. \quad (5)$$

Значимость коэффициентов регрессии определяется по  $t$ -критерию, причем статистически значимыми являются коэффициенты, удовлетворяющие условию [4]:

$$|b_i| \geq t_{KP} \cdot S_{b_i}. \quad (6)$$

Проверка полученной линейной модели на адекватность осуществляется по критерию Фишера:

$$F_{t_2, f_1}^{расч} = \frac{S_{неаг}^2}{S_y^2}, \quad (7)$$

где  $S_{неаг}^2$  — дисперсия неадекватности, рассчитываемая по формуле:

$$S_{неаг}^2 = \frac{SS_{неаг}}{f_2}, \quad (8)$$

$$SS_{неаг} = n \sum_{i=1}^N (y_{u_{расч}} - \bar{y}_{u_{экс}})^2, \quad (9)$$

где  $y_{u_{расч}}$  и  $y_{u_{экс}}$  — значения отклика в  $u$ -м опыте, соответственно рассчитанное по уравнению регрессии и определенное экспериментально.

Количество повторностей каждого опыта принято равным четырем, исходя из принятых надежности опытов, равной 0,99 и ошибки опытов, равной  $2S$  ( $S$  — величина среднеквадратического отклонения).

## Книжная полка

**Кузьмичев, В. А. Основы проектирования вибрационного оборудования : учеб. пособие / В. А. Кузьмичев. — СПб. [и др.] : Лань, 2014. — 203 с. — ISBN 978-5-8114-1673-8.**

В предлагаемом учебном пособии представлены материалы, изучение которых позволит получить начальные знания о проектировании некоторых типов вибрационной техники, используемой в строительстве и промышленности по производству строительных материалов. Предназначено для студентов технических и архитектурно-строительных университетов, обучающихся по направлениям «Машиностроение» и «Технологические машины и оборудование».

Получили модель, которая является адекватной на 1 %-ном уровне значимости: ( $F^{расч} = 12,40 < F^{табл} = 18,00$ ).

Из табл. 3 видно, что статистически значимыми по критерию Стьюдента на 1 %-ном уровне значимости являются следующие факторы: удельная нагрузка на канал; скорость воздушного потока; угол наклона канала к горизонту.

### Библиографический список

1. Черняков, А. В. Пневматический сепаратор / А. В. Черняков, К. В. Павлюченко, В. С. Коваль // Сельский механизатор. — 2014. — № 12. — С. 13.
2. Новик, Ф. С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф. С. Новик, Я. Б. Арсов. — М. : София, 1980. — 304 с.
3. Евтягин, В. Ф. Связь экспериментальных и теоретических показателей работы решета / В. Ф. Евтягин // Сб. науч. тр. / Ом. с.-х. ин-т. — Омск, 1992. — С. 45–48.
4. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Роцин. — М., 1980. — 168 с.

**ЧЕРНЯКОВ Алексей Витальевич**, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры агроинженерии Тарского филиала (ТФ) Омского государственного аграрного университета им. П. А. Столыпина (ОмГАУ).

**КОВАЛЬ Владимир Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры агроинженерии ТФ ОмГАУ.

**ПАВЛЮЧЕНКО Кирилл Владимирович**, аспирант кафедры агроинженерии ТФ ОмГАУ.

**АЛГАЗИН Дмитрий Николаевич**, доцент кафедры технического сервиса, механики и электротехники ОмГАУ.

Адрес для переписки: kirillpavl@mail.ru

Статья поступила в редакцию 07.05.2015 г.

© А. В. Черняков, К. В. Павлюченко, В. С. Коваль, Д. Н. Алгазин

Сибирская государственная  
автомобильно-дорожная академия,  
г. Омск

Омский автобронетанковый  
инженерный институт

Омский государственный  
университет путей сообщения

## **ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЯ КАМАЗ-740.30.260 ПРИ ПРОГРЕВЕ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР**

В данной статье рассмотрена динамика изменения температур жидкостей систем двигателя КамАЗ-740.30.260 автомобиля КамАЗ-5350 семейства МУСТАНГ в процессе прогрева. Пуск двигателя осуществлялся в зимних условиях при температуре окружающего воздуха минус 32°C без использования предпускового подогревателя ПЖД-30, но с использованием системы электрофакельного подогрева воздуха (ЭФУ). Выявлена характерная зависимость изменения температур охлаждающей жидкости и масла двигателя. Установлено время прогрева двигателя, работающего на рекомендуемых инструкцией по эксплуатации оборотах коленчатого вала двигателя до начала готовности автомобиля к использованию под нагрузкой.

**Ключевые слова:** низкая температура, прогрев, обороты коленчатого вала, датчик температуры, эксплуатация.

Из средств массовой информации: 15 марта 2014 г. при сильном арктическом ветре, достигающем 16 м/с, и низкой температуре минус 15°C. Жёсткость погоды, согласно таблице значений ветро-холодового индекса, составляла минус 23°C. Бойцы вместе с техникой и грузами высадились на побережье острова и захватили аэродром условного противника.

Российские военные снова в Арктике. Уникальность данного события заключается в том, что впервые в истории не только России, но и Советского Союза крупномасштабные учения проходят в невыносимых условиях Заполярья.

В сентябре 2013 г. Президент России Владимир Путин заявил о воссоздании военной базы на Новосибирских островах. В настоящее время территория аэродрома «Темп» — это современный автономный полевой лагерь. Он рассчитан на проживание в нем более 300 человек. Внутри палаток удерживается привычная комнатная температура, даже если снаружи минус 50°C и сильнейший снегопад.

Освоение Арктики остается одним из самых приоритетных направлений. Ведь по оценкам экспертов в этом регионе скрыты огромные залежи нефтегазовых ресурсов. Специфика природно-климатических условий зоны холодного климата России, низкие температуры окружающего воздуха, большая продолжительность межсезонного периода, длитель-

ная зима с большими среднесуточными перепадами температуры окружающего воздуха в среднем до минус 10°C обуславливают целый ряд особенностей эксплуатации автомобилей.

К ним следует отнести затрудненный пуск двигателей, низкую прокачиваемость моторного масла по масляным магистралям, значительную длительность прогрева, активное охлаждение двигателя в состоянии покоя.

Как известно, топлива, применяемые для работы двигателей внутреннего сгорания, имеют углеводородный состав. При окислении водорода происходит образование паров воды в камере сгорания. В условиях низкотемпературного режима прорыв газов в холодную среду картерного пространства сопровождается конденсационными процессами и накоплением воды в смазочной системе [1].

Таким образом, в течение прогрева холодного двигателя в результате конденсационных процессов происходит накопление воды в смазочной системе, а при достижении определенной температуры происходит её испарение из объёма масла. Температура точки росы в объёме картерного пространства составляет 42°C [2].

Городской режим эксплуатации в зимнее время предполагает короткие пробеги автомобиля с остановами двигателя и, как следствие, низкотемпературным режимом работы.



Рис. 1. Датчик температуры масла, установленный на сливную пробку



Рис. 2. Датчик температуры охлаждающей жидкости накладного типа, установленный на жидкостной коллектор

Негативное влияние воды на состояние моторного масла описано в работах [3, 4].

Новое поколение полноприводных автомобилей, разработанное ОАО «КамАЗ», носит символическое название «Мустанг». В конструкции новых автомобилей семейства КамАЗ-5350 с двигателем КамАЗ-740.30-260 использовано большое количество новых технических решений, значительно повышающих технический уровень автомобилей. В первую очередь следует отметить новые двигатели, имеющие повышенную мощность и высокий ресурс. [5, с. 3].

Двигатель КамАЗ-740.30-260 автомобилей КамАЗ-5350 четырёхтактный с воспламенением от сжатия, жидкостного охлаждения, с V-образным расположением восьми цилиндров, с турбонаддувом и промежуточным охлаждением наддувочного воздуха типа «воздух – воздух».

По выбрасам вредных веществ с отработавшими газами двигатель соответствует требованиям правил ЕЭК ООН «EURO-2» [5, с. 17].

Для работы двигателя рекомендуется применять топливо: зимнее 3-0,2 минус 35 при температуре окружающего воздуха от минус 20 °С и выше; зимнее 3-0,2 минус 45 при температуре окружающего воздуха от минус 30 °С и выше; зимнее А-0,2 при температуре окружающего воздуха от минус 50 °С и выше [5, с. 53].

Пуска двигателя автомобиля КамАЗ-740.30-260 при использовании в условиях отрицательных температур рекомендуется осуществлять с использованием систем облегчения пуска двигателя при низких

температурах. Система облегчает пуск двигателя при отрицательной температуре окружающего воздуха за счет разогрева двигателя. Она включает в себя электрофакельный подогреватель воздуха (ЭФУ) и предпусковой подогреватель охлаждающей жидкости и масла ПЖД-30.

Электрофакельный подогреватель обеспечивает пуск двигателя за счёт подогрева воздуха, поступающего в цилиндры, что даёт возможность улучшить условия самовоспламенения топлива вследствие повышения температуры конца сжатия в объёме камеры сгорания.

Предпусковой подогреватель облегчает пуск двигателя за счет разогрева жидкости в системе охлаждения и масла в поддоне двигателя и уменьшения в связи с этим сопротивления вращению коленчатого вала двигателя [5, с. 83].

При температуре окружающего воздуха до минус 22 °С пуск двигателя производится с применением системы электрофакельного подогрева воздухом (ЭФУ) или предпускового подогревателя [5, с. 456].

Пуск двигателя с применением электрофакельного подогревателя заключается в следующем:

- кратковременно нажать на кнопку выключателя массы и включить аккумуляторные батареи;
- нажать на кнопку включения электрофакельного подогревателя и удерживать её в течение 40 – 45 с;
- после загорания сигнализатора готовности электрофакельного подогревателя включить стартер, повернув ключ во второе нефиксированное положение, удерживать кнопку включения электрофа-

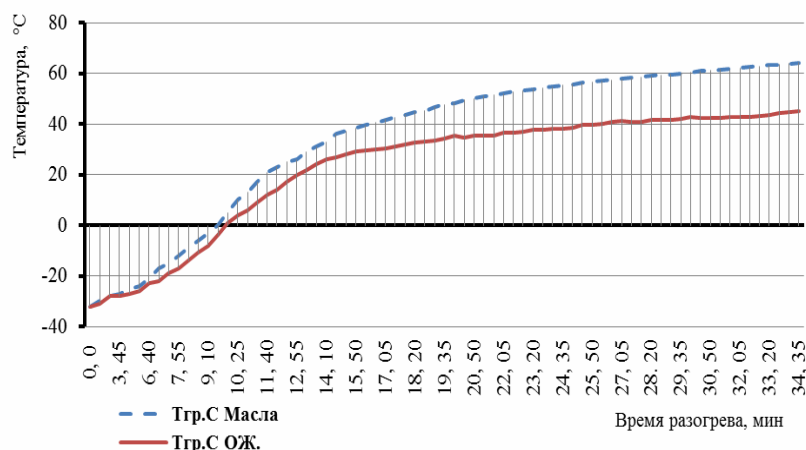


Рис. 3. Диаграмма изменения температур жидкостей систем двигателя при его прогреве

кельного подогревателя до нормальной устойчивой работы двигателя [5, с. 86].

После запуска следует прогреть двигатель до температуры охлаждающей жидкости не менее  $40^{\circ}\text{C}$  при частоте вращения коленчатого вала  $1300 - 1600 \text{ мин}^{-1}$  до температуры охлаждающей жидкости  $70^{\circ}\text{C}$ . Нельзя допускать работы непрогретого двигателя на большой частоте коленчатого вала. После этого можно начинать движение [5, с. 456].

Исходя из вышеизложенного возникла необходимость в определении надежности пуска двигателя автомобиля КамАЗ-5350 в условиях отрицательных температур с использованием ЭФУ, определение времени и динамик изменения температуры рабочих жидкостей автомобиля до момента начала использования его под нагрузкой. Какова температура охлаждающей жидкости при достижении расчетной температуры точки росы масла ( $42^{\circ}\text{C}$ ).

Подготовка эксперимента включала в себя выбор автомобиля и дооборудование его необходимыми устройствами, обеспечивающими точное измерение его контролируемых параметров.

Ввиду массовой эксплуатации автомобиля КамАЗ-5350 в России данный автомобиль выбран для проведения эксперимента.

Автомобиль КамАЗ-5350 с двигателем КамАЗ-740.30-260 заправлен:

- система питания двигателя заправляется: топливо дизельное зимнее З-0,2 для работы при температуре до минус 45, ГОСТ 305–82;

- в системе охлаждения использовалась охлаждающая жидкость марки «Тосол А-40М» ГОСТ 28084-89 (при температуре воздуха до минус  $40^{\circ}\text{C}$ ), объем заправки составил 45 литров.

- в системе смазки двигателя использовалось моторное масло М-8Г2к ГОСТ 8581-78, объем заправки составил 34 литра.

На момент проведения эксперимента пробег автомобиля составил 16639 км.

Эксперимент проводился без использования предпускового подогревателя, но с использованием системы электрофакельного подогрева впускного воздуха (ЭФУ). На момент проведения эксперимента температура окружающего воздуха составляла минус  $32^{\circ}\text{C}$ , атмосферное давление 761 мм рт. ст., влажность воздуха 74 %. Скорость ветра 2 м/с. Жесткость погоды по таблице значений ветро-холодового индекса составляла минус  $35^{\circ}\text{C}$ .

На двигатель автомобиля дополнительно установили два высокочувствительных датчика температуры (рис. 1, 2).

Датчик температуры масла установлен в пробку поддона двигателя (рис.1), датчик температуры охлаждающей жидкости установлен накладным способом на жидкостной коллектор (рис. 2). Датчики соединены с многоканальным измерителем температуры МИТ-12.

После пуска двигателя поддерживалась частота вращения коленчатого вала  $1400 \text{ мин}^{-1}$  и осуществлялся замер температуры в автоматическом режиме работы МИТ-12 с периодичностью через 30 секунд.

При отсутствии в системе смазки датчика температуры масла отсутствует информация относительно последнего. В связи с этим возникает вопрос: какова динамика изменения температур масла и охлаждающей жидкости при прогреве двигателя без использования предпускового подогревателя ПЖД-30, но с использованием системы электрофакельного подогрева воздухом (ЭФУ). Для ответа на поставленный вопрос был проведен эксперимент.

Результаты эксперимента, показанные на диаграмме (рис. 3), позволяет судить о динамике изменения температур жидкостей двух систем двигателя. Температуры жидкостей изменяются неодинаково. Активность изменения температуры масла преобладает над охлаждающей жидкостью. При достижении маслом температуры точки росы ( $42^{\circ}\text{C}$ ) температура охлаждающей жидкости составила  $31^{\circ}\text{C}$ , максимальная разность температур составила  $20^{\circ}\text{C}$  на 34-й минуте прогрева.

При достижении температуры охлаждающей жидкости  $40^{\circ}\text{C}$  температура масла достигала  $57^{\circ}\text{C}$ , последнее значение превышает температуру точки росы, что свидетельствует об окончании конденсационных процессов в системе смазки. Время готовности автомобиля к работе под нагрузкой составляет 25 минут.

Преобладающую динамику изменения температуры масла можно объяснить значительным гидродинамическим трением между его слоями. Причём последнее зависит от вязкости, а вязкость, в свою очередь, от температуры. Таким образом, чем ниже температура масла, тем активнее происходит её нарастание.

Кроме того, масло подвержено воздействию газов прорвавшихся через замки поршневых колец в картерное пространство, обладающих высокой температурой.

Полученная информация не противоречит руководству по эксплуатации двигателя КамАЗ-740.30.260 и может быть учтена при подготовке автомобилей к использованию в условиях отрицательных температур.

## Библиографический список

1. Непогодьев, А. В. Химический состав отработанного моторного масла / А. В. Непогодьев // ХТТМ. — 1974. — № 12. — С. 50—53.
2. Колунин, А. В. Влияние отрицательных температур окружающей среды на периодичность технического обслуживания силовых установок дорожных и строительных машин : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.04 : защищена: 16.02.07 : утв. 11.05.07 / Колунин Александр Витальевич. — Омск, 2006. — С. 40—74.
3. Корнеев, С. В. Влияние обводнения на содержание присадок в моторных маслах / С. В. Корнеев, Д. Н. Пилипенко, А. В. Колунин // Строительные и дорожные машины. — 2003. — № 12. — С. 17—19.
4. Корнеев, С. В. Обводнение и коллоидная стабильность моторных масел / С. В. Корнеев, В. М. Дудкин, А. В. Колунин // Химия и технология топлив и масел. — М., 2006. — № 4. — С. 33—34.
5. Руководство по эксплуатации автомобилей семейства «Мустанг». МО РФ ГАБТУ. — 2006.

**БЕЛОКОПЫТОВ Сергей Викторович**, аспирант кафедры «Тепловые двигатели и автотракторное электрооборудование» Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии; преподаватель

УДК 629.4.082.55

**С. В. БЕЛОКОПЫТОВ  
А. В. КОЛУНИН  
А. И. БЛЕСМАН  
Д. А. ПОЛОНЯНКИН**

Сибирская государственная  
автомобильно-дорожная академия,  
г. Омск

Омский автобронетанковый  
инженерный институт

Омский государственный  
технический университет

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ОСАДКА ОБВОДНЕННОГО МОТОРНОГО МАСЛА М-8Г2К

В статье рассматривается влияние обводнения моторного масла М-8Г2к на процесс образования в нем осадка, описана методика исследования качественного и количественного состава осадка моторного масла М-8Г2к при его 1 %-ном обводнении. Приводятся результаты исследования элементного состава и его распределения в осадке моторного масла.

**Ключевые слова:** моторное масло, обводнение масла, осадок, растровая электронная микроскопия, элементный состав.

В 1955 году англо-американские инженеры впервые обратили внимание на мазеподобные отложения чёрного цвета в системах смазки двигателей внутреннего сгорания [1, 2]. Некоторое время спустя к таким образованиям проявили интерес советские учёные [3].

Специфика природно-климатических условий зоны холодного климата России (низкие температуры окружающего воздуха, большая продолжительность зимнего периода) обуславливает целый ряд

кафедры «Ремонт бронетанковой и автомобильной техники» Омского автобронетанкового инженерного института (ОТИИ).

Адрес для переписки: sergeyotii95@gmail.com

**ГЕДЗЬ Андрей Джонович**, кандидат технических наук, заместитель начальника кафедры «Ремонт бронетанковой и автомобильной техники» ОТИИ.

Адрес для переписки: djnych.gedz@yandex.ru

**КОЛУНИН Александр Витальевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Ремонт бронетанковой и автомобильной техники» ОТИИ.

Адрес для переписки: kolunin2003@mail.ru

**ГЕЛЬВЕР Сергей Александрович**, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры физики и химии Омского государственного университета путей сообщения.

Адрес для переписки: gelversa@rambler.ru

**МАРКОВ Александр Борисович**, доцент кафедры «Ремонт бронетанковой и автомобильной техники» ОТИИ.

Адрес для переписки: markov12@gmail.com

Статья поступила в редакцию 20.12.15 г.

© С. В. Белокопытов, А. Д. Гедзь, А. В. Колунин,  
С. А. Гельвер, А. В. Марков



Рис. 1. Образование осадка при 1%-ном обводнении моторного масла М-8Г2к

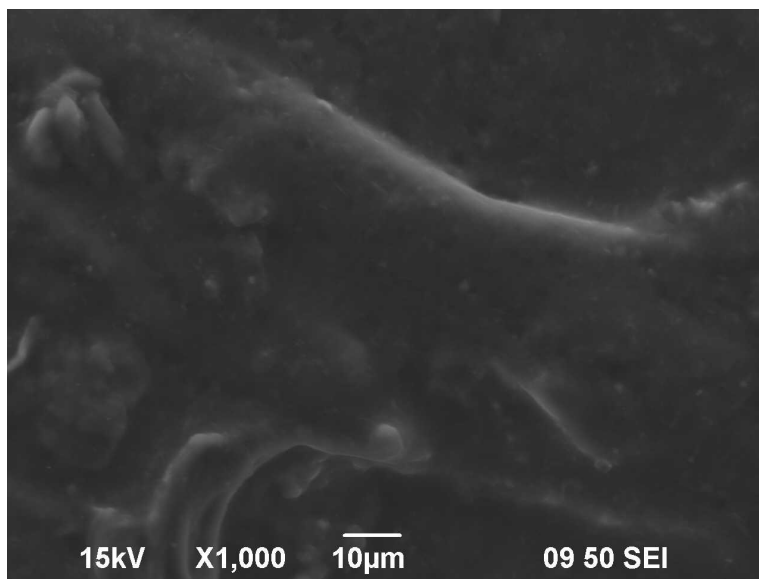


Рис. 2. Микрофотография поверхности пробы масла при его 1%-ном обводнении

рых эксплуатируется техника, оказывают существенное влияние на процесс обводнения моторных масел [5]. Известно, что причинами попадания воды в систему смазки являются недостаточные уплотнения агрегатов, а также абсорбционно-десорбционные и конденсационные процессы, в результате которых происходит поглощение и накопление воды в агрегатах из влаги воздуха. Установлено, что масла с присадками, по сравнению с базовыми, способны накапливать в 40 раз больше воды [6]. Анализ пробы масла, отобранного с запущенного и прогреваемого при температуре окружающего воздуха минус 32 °С двигателя, показал содержание в нем 0,018 % воды [7].

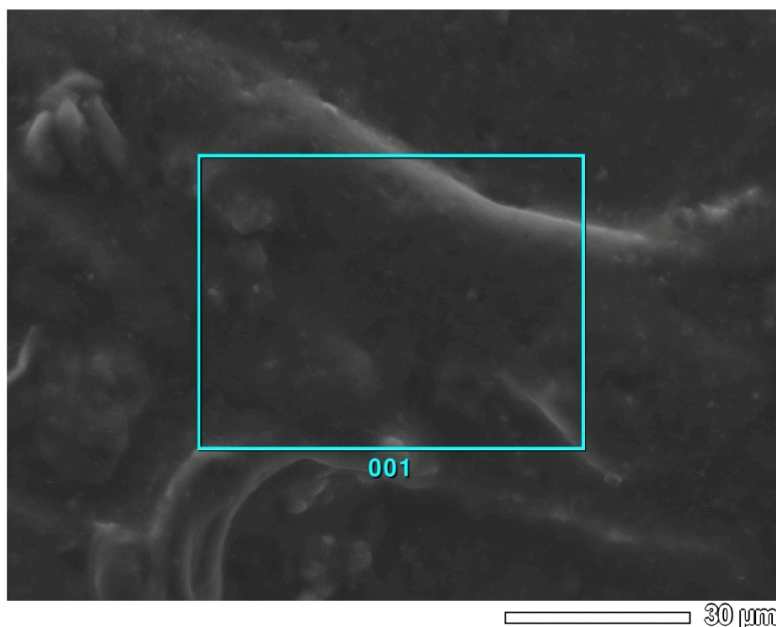
Существует множество путей поступления воды в моторные масла при их транспортировании, хранении и применении. Как известно, различные виды топлива, применяемые для работы ДВС, имеют углеводородный состав. При горении углеводородов происходит образование паров воды в камере сгорания. Неотъемлемой частью рабочего процесса двигателя является прорыв газов через замки поршневых колец в подпоршневое пространство. В условиях низкотемпературного режима совокупность данных факторов сопровождается конденсационными процессами и накоплением воды в смазочной системе. Вода вызывает гидролиз и деструкцию присадок в маслах, снижает их смазочную и моющую функции, повышает коррозионную активность масел за счёт образующихся минеральных кислот. Наличие воды приводит

к интенсивной коагуляции примесей и присадок в масле с образованием шламов, которые быстро загрязняют масляные фильтры, маслоприёмники насосов, масляные каналы, что повышает расход масла на угар и ускоряет изнашивание ДВС [8].

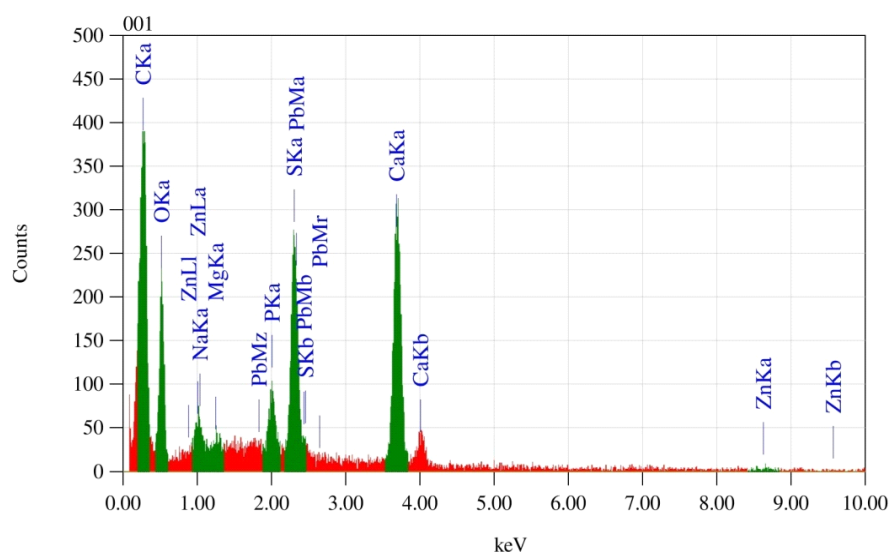
Повышение требований к способности масла предотвращать образование как высокотемпературных (нагары и лаки в зоне цилиндропоршневой группы), так и низкотемпературных (шламы) отложений [9] обуславливает необходимость в исследовании влияния обводнения на процесс образования осадка в моторном масле и его состав.

Для определения последствий обводнения был проведён эксперимент, который выполнялся по специально разработанной методике с использованием свежего моторного масла гарантированного качества М-8Г2к (Гост 8581-78). Методика эксперимента предусматривала введение 1 % воды в пробу моторного масла, его тщательное перемешивание и отстаивание в течение 72 часов. По истечении указанного времени произошло расслоение жидкости. На рис. 1 представлены фотографии смеси масло-осадок с зеркальным отражением донной части ёмкостей.

В нижней части смеси образовался хлопьевидный осадок жёлтого и светло-жёлтого цвета, который представлял наибольший интерес. Осадок был отобран для проведения рентгеноспектрального и элементного анализов. Отобранная проба осадка подготовлена для исследования с предварительным нагре-



Title : IMG2  
 Instrument :  
 Volt : 15.00 kV  
 Mag. : x 1,000  
 Date : 2014/10/26  
 Pixel : 1280 x 960



Acquisition Parameter  
 Instrument : JCM-5700  
 Acc. Voltage : 15.0 kV  
 Probe Current: 1.00000 nA  
 PHA mode : T2  
 Real Time : 50.11 sec  
 Live Time : 50.00 sec  
 Dead Time : 0 %  
 Counting Rate: 497 cps  
 Energy Range : 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis(Oxide)

Fitting Coefficient : 0.2867

Total Oxide : 24.0

Element	(keV)	Mass%	Error%	Mol%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	60.18	0.11	90.29	C	60.18	0.00	50.7734
O		16.12						
Na K	1.041	0.21	0.09	0.08	Na2O	0.28	0.21	0.3433
Mg K*	1.253	0.16	0.08	0.12	MgO	0.27	0.16	0.2631
P K	2.013	1.63	0.13	0.47	P2O5	3.73	1.25	3.4223
S K	2.307	5.83	0.13	3.28	SO3	14.55	4.33	12.7906
Ca K	3.690	11.82	0.14	5.31	CaO	16.54	7.03	25.2751
Zn K*	8.630	0.46	1.38	0.13	ZnO	0.57	0.17	0.8168
Pb M	2.342	3.60	0.26	0.31	PbO	3.87	0.41	6.3154
Total		100.00		100.00		100.00	13.56	

Рис. 3. Элементный состав пробы масла при его 1%-ном обводнении

вом до температуры, не превышающей температуру вспышки масла. Использовались следующие приборы и оборудование:

- 1) тигли фарфоровые 2 шт., наружным диаметром 7 и 2 см;
- 2) муфельная универсальная электропечь SNOL 6,7/1300.

В фарфоровый тигель диаметром 7 см, наполненный песком, помещается тигель диаметром 2 см, с 1 мл тщательно перемешанной пробы испытуемого масла. Нагревание на песочной бане используется для достижения более равномерного распределения температуры. Затем тигли с использованием муфельных

щипцов переносятся в муфельную электропечь SNOL 6,7/1300. Температура в печи постепенно повышается (скорость нагрева составляет 3 °C/мин), образец выдерживался при температуре 350 °C в течение 4-х часов до образования тонкого прочного лакоподобного слоя коричнево-черного цвета.

Полученный образец исследовался на растровом электронном микроскопе (РЭМ) Jeol JCM-5700 в режиме высокого вакуума. Тип сигнала — вторичные электроны (SEI). Величина ускоряющего напряжения менялась в диапазоне от 15 до 20 кВ, причем для получения более высокого разрешения ускоряющее напряжение уменьшалось. В результате исследования



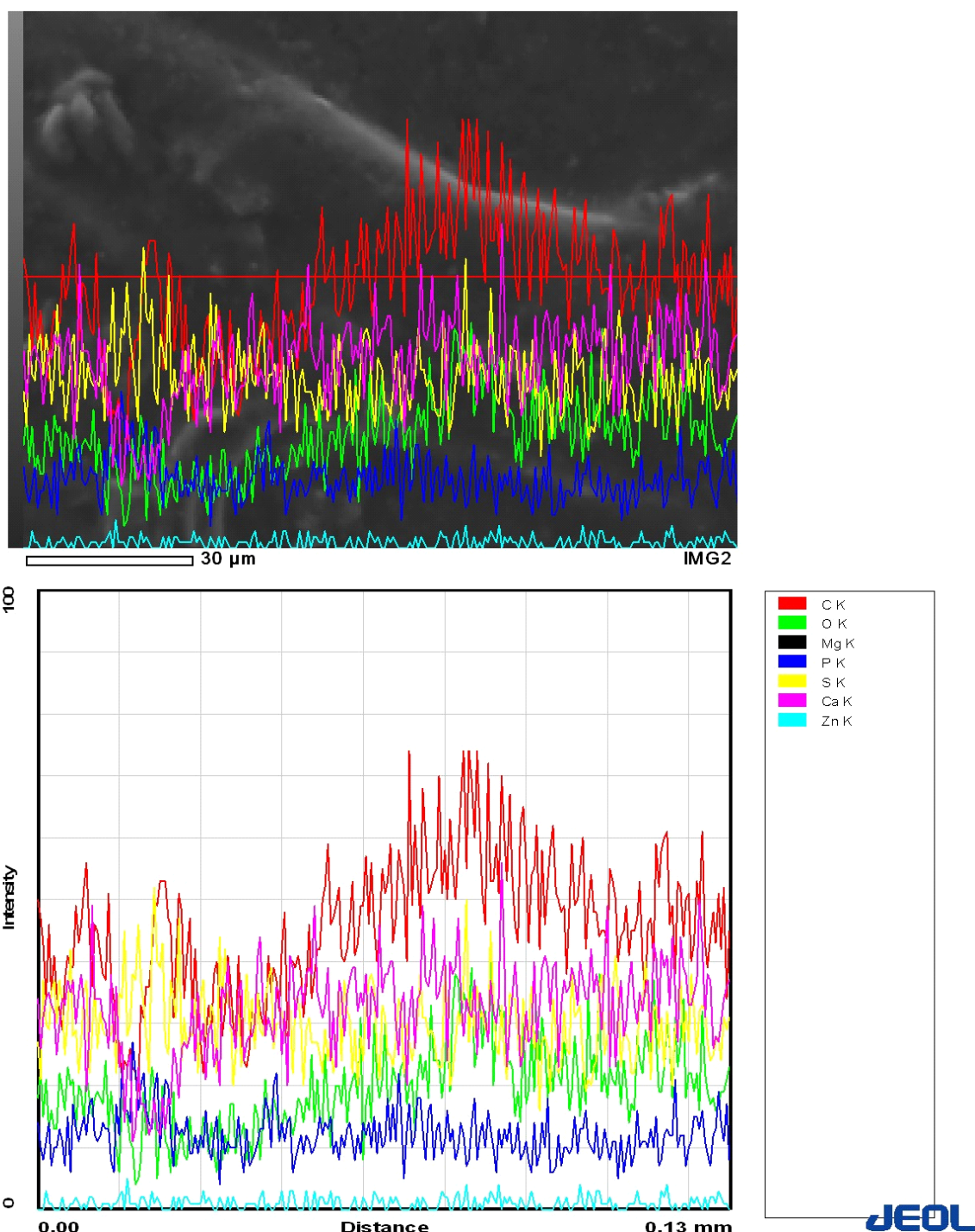


Рис. 4. Энергетические спектры элементов в пробе масла при его 1%-ном обводнении

образца методом РЭМ получены сведения о локальных изменениях элементного состава твердой фазы масляной пробы.

Получены микрофотографии твердой фазы масляной пробы с увеличением до 1000 крат (рис. 2). Проведено исследование качественного и количественного элементного состава образца (рис. 3). В результате количественного анализа твердой фазы масляной пробы получена информация о массовом и атомном составе элементов, а также их оксидов в образце (табл. 1, табл. 2).

На основе проведенного исследования образца пробы масла можно сделать следующие выводы:

1) методика подготовки масляного осадка для его исследования методом РЭМ с использованием Jeol JCM-5700 позволяет добиться образования тонкого прочного лакоподобного слоя (твердой фазы масляной пробы), то есть состояния, пригодного для изучения в режиме высокого вакуума;

2) исследование осадка обводненного моторного масла М-8Г2к по предложенной методике позволило провести визуализацию твердой фазы масляной пробы и ее рентгеноспектральный анализ с использованием программного пакета JED-2300 AnalysStation;

3) качественный и количественный анализ позволил идентифицировать в составе образца углерод,

**Таблица 1**  
**Массовый и атомный состав элементов**  
**твёрдой фазы масляной пробы**

Элемент	Массовая доля, %	Атомная доля, %
C	60,18	90,29
O	16,12	—
Na	0,21	0,08
Mg	0,16	0,12
P	1,63	0,47
S	5,83	3,28
Ca	11,82	5,31
Zn	0,46	0,13
Pb	3,60	0,31

**Таблица 2**  
**Массовый и атомный состав оксидов**  
**твёрдой фазы масляной пробы**

Соединение	Массовая доля, %	Атомная доля, %
C	60,18	50,77
MgO	0,27	0,26
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,73	3,42
SO <sub>3</sub>	14,55	12,79
CaO	16,54	25,28
ZnO	0,57	0,82
PbO	3,87	6,32

кислород, натрий, магний, фосфор, серу, кальций, цинк и свинец с различным процентным содержанием атомных и массовых долей, а также их оксидов;

4) исследование энергетических спектров в различных областях образца позволяет сделать вывод о равномерности распределения элементов в пробе (рис. 4).

#### Библиографический список

1. Rogers, D. T. Mechanism of engine sludge formation and additive action / SAE Preprint // D. T. Rogers, W. W. Rice, E. L. Jonack. — № 639 Nov. — 1955. — P. 56–59.
2. Quillian, R. D. Cleaner crankcases with blow by diversion / SAE Preprint // R. D. Quillian, N. T. Meckel, J. V. Moffitt. — № 801 B. — 1964. — P. 63–65.

## Книжная полка

**Галдин, В. Д. Основы трансформации теплоты : учеб. пособие / В. Д. Галдин. — Омск : ОмГТУ, 2015. — 110 с. — ISBN 978–5–8149–1940–3.**

Рассмотрены термодинамические основы трансформации теплоты, рабочие вещества трансформаторов теплоты, рабочие процессы в компрессоре. Приведены схемы и циклы паровых, парожеторных, абсорбционных, газовых холодильных машин и тепловых насосов. Даны примеры расчета холодильных машин и их элементов. Предназначено для студентов бакалавриата и магистратуры, обучающихся по направлению 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» при выполнении практических занятий, курсового проектирования и самостоятельной работы по дисциплинам «Основы трансформации теплоты» и «Разработка и исследование термодинамически идеальных и технически реализуемых тепловых схем».

3. Отчёт Коломенского тепловозостроительного завода / № 1Д42. — 1964. — 198 с.

4. Кох, П. И. Климат и надёжность машин / П. И. Кох. — М. : Машиностроение, 1981. — 175 с.

5. Школьников, В. М. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости / В. М. Школьников. — М. : Химия, 1989. — С. 122–124.

6. Кожекин, А. В. Влияние воды на противоизносные и противозадирные свойства трансмиссионных масел / А. В. Кожекин, В. Л. Лашхи, А. Б. Виппер // Нефтепереработка и нефтехимия. — 1978. — № 4. — С. 18–20.

7. Непогодьеv, А. В. Химический состав отработанного моторного масла / А. В. Непогодьеv // ХТТМ. — 1974. — № 12. — С. 50–53.

8. Корнеев, С. В. Влияние обводнения на содержание присадок в моторных маслах / С. В. Корнеев, Д. Н. Пилюпенко, А. В. Колунин // Строительные и дорожные машины. — 2003. — № 12. — С. 17–19.

9. Разработка рекомендаций по унификации номенклатуры используемых смазочных материалов : заключ. отчет о НИР : № 674/64-06 / Рук. темы. С. В. Корнеев. — Омск : СибАДИ. — 2006. — 98 с.

**БЕЛОКОПЫТОВ Сергей Викторович**, аспирант кафедры «Тепловые двигатели и автотракторное электрооборудование» Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии; преподаватель кафедры «Ремонт бронетанковой и автомобильной техники» Омского автобронетанкового инженерного института (ОТИИ).

Адрес для переписки: sergey456@icloud.com

**КОЛУНИН Александр Витальевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Ремонт бронетанковой и автомобильной техники» ОТИИ.

Адрес для переписки: kolunin2003@mail.ru

**БЛЕСМАН Александр Иосифович**, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры физики Омского государственного технического университета (ОмГТУ).

Адрес для переписки: blesm@mail.ru

**ПОЛОНЯНКИН Денис Андреевич**, кандидат педагогических наук, старший преподаватель кафедры физики ОмГТУ.

Адрес для переписки: polonjan@mail.ru

Статья поступила в редакцию 16.02.2015 г.

© С. В. Белокопытов, А. В. Колунин, А. И. Блесман, Д. А. Полонянкин

## ТЕХНОЛОГИЯ ЗАТАЧИВАНИЯ ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ФАСОННЫХ ПРОТЯЖЕК, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Для обработки деталей газотурбинных двигателей, изготавливаемых из труднообрабатываемых материалов, используется дорогой и трудоемкий инструмент — протяжка. Таким образом, в настоящей работе, на основе проведенных исследований рассматривается способ продления срока службы многолезвийного режущего инструмента. Восстановление режущей способности металлорежущего инструмента путем шлифования и изменения геометрических параметров. Количество переточек протяжки увеличилось +1–2 от числа калибрующих зубьев.**

**Ключевые слова:** протяжка, перетачивание протяжки, правка шлифовального круга, восстановление режущей способности.

**Данная работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках договора 02.G25.31.0099.**

В настоящее время на машиностроительных предприятиях и предприятиях оборонно-промышленного комплекса в большом количестве обрабатываются детали из жаропрочных сплавов, которые используются в авиационных двигателях, промышленных газовых турбинах и т.д. При окончательной обработке различных деталей из труднообрабатываемых материалов широко применяют протягивание. Протягивание — один из самых высокопроизводительных и точных методов механической обработки. Эффективность протягивания объясняется следующими основными характеристиками: большой длиной лезвий, одновременно участвующих в резании, выполнением одним инструментом за один рабочий ход нескольких этапов обработки, отсутствием большого числа вспомогательных ходов инструмента. Так, например, в деталях турбин изготавливают протягиванием до 1300–1500 однотипных пазов.

По профилю обрабатываемой поверхности протяжки делятся на: плоские, ступенчатые, угловые, пазовые, радиусные, фасонные и др. По конструкции — на сборные и цельные. В некоторых случаях в силу сложности профиля протяжки изготавливаются цельно. Конструктивная форма корпуса определяется типом станка [1, 2].

В процессе работы данным инструментом установлено, что возможно обработать один диск из жаропрочной стали, на котором расположено большое количество пазов ёлочного профиля. Протягивание осуществляют при скоростях резания 1,5–2,5 м/мин протяжками из стали Р18. После протягивания одного диска инструмент изнашивается, не даёт требуемую

точность, шероховатость поверхности и т.д. Для восстановления режущей способности инструмента его необходимо перетачивать по передней поверхности, так как при этом уменьшение размера зубьев является минимальным, а также произвести полное копирование всех конструктивных элементов. Припуск на повторную заточку равен 0,15 ... 0,2 мм у протяжек для чистовой обработки и 0,25 ... 0,3 мм у протяжек для черновой обработки. Общая толщина слоя на все повторные затачивания не превышает 1,5 мм. Протяжки затачивают по передним поверхностям зубьев торцом тарельчатого или чашечного круга при возвратно-поступательном перемещении параллельно режущей кромке. Для поддержания объёма впадины после трех — пяти повторных заточек необходимо углублять впадину зуба с заточкой передней поверхности. Количество переточек протяжки ограничивается количеством калибрующих зубьев, обычно их (4–6), так при каждой последующей заточке первый калибрующий зуб становится последним режущим зубом (рис. 1). После перетачивания всех калибрующих зубьев инструмент выходит из строя, тем самым не даёт необходимый размер, но возможно еще продлить срок службы протяжного инструмента на 10–20 % за счет изменения конструктивных элементов.

Восстановление заключается в изменении геометрических параметров инструмента, которые не повлияют на процесс резания и сохраняют необходимые технические требования изделия. При перетачивании протяжки по передней поверхности изменением угол наклона переднего угла (рис. 2).

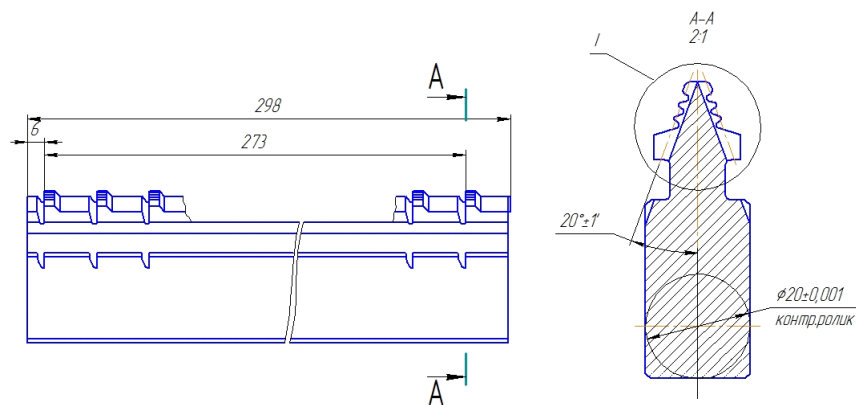


Рис. 1. Общий вид ёлочной протяжки

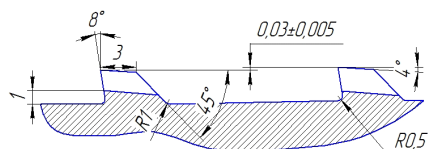


Рис. 2. Конструктивная форма зубьев

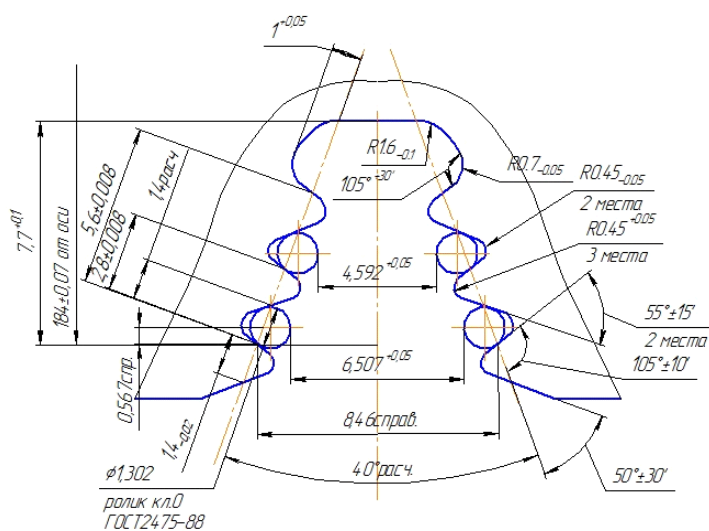


Рис. 3. Профиль паза

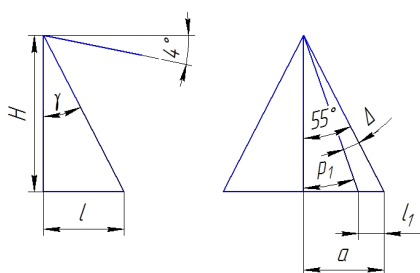


Рис. 4. Расчетная схема

После протягивания паза елочной протяжкой необходимо контролировать размер по роликам, который должен быть в пределах допуска (рис. 3). При уменьшении переднего угла на 1 градус и протягивания образца необходимо не только контролировать размер по роликам, а также может изменяться угол профиля, который требуется, чтобы был в пределах допуска.

Аналитические расчеты показывают, что при изменении переднего угла на 1 градус размер по роликам увеличивается на 0,01 мм, а углы профиля

изменяются в пределах 10 минут при этом не выходят из поля допуска (рис. 4).

$$l = H \cdot \sin \gamma, \text{ где } H \text{ — высота зуба;}$$

$$l_1 = H \cdot \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} 4^\circ;$$

$$a = H \cdot \operatorname{tg} 27^\circ 30';$$

$$\operatorname{tg} p_1 = (a - l_1) / H;$$

$$\Delta = 27^\circ 30' - p_1, \text{ изменение угла на } 1^\circ.$$



Рис. 5. Наладка

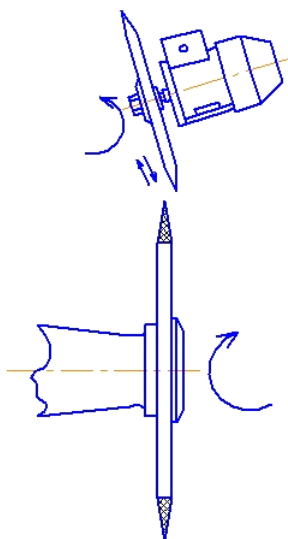


Рис. 6. Угловая схема правки

На рис. 5 представлена наладка на заточную операцию. На стол шлифовально-заточного станка устанавливается протяжка, фиксируется с помощью прижимов, как альтернативу можно использовать магнитную плиту. Также на столе установлено правящее устройство алмазный карандаш и правящий алмазный ролик.

Для устранения засаливания и придания необходимой геометрической формы, а также восстановления режущей способности шлифовальный круг необходимо периодически править, так как в процессе шлифования на рабочей поверхности шлифовального круга образуются засаливания и завалы профиля. Шлифовальный круг следует очищать при вращении с рабочей скоростью и минимальным давлением. Это обеспечивает сохранение исходного профиля шлифовального круга [3].

Правку круга (для восстановления геометрической формы и его режущей способности) производят алмазными иглами, алмазными карандашами или с помощью специальных приспособлений, установленных на шлифовально-заточных станках и имеющих принудительный привод. На специальное правящее приспособление устанавливается алмазный ролик.

На производительность и качество правки также влияет и схема правки рабочего круга (рис. 6).

Угловой схемой правки обеспечивается высокое качество поверхности при правке рабочего круга. Как показали исследования, правка по угловой схеме обеспечивает высокую режущую способность шлифовального круга и высокое качество профиля.

В конце правки производится выглаживание в течение трех рабочих ходов.

#### Библиографический список

1. Щеголев, А. В. Конструирование протяжек / А. В. Щеголев. — М., 1960. — 352 с.
2. Пронкин, Н. Ф. Протягивание протяжками из твердых сплавов / Н. Ф. Пронкин. — М., 1966. — 108 с.
3. Романов, В. Ф. Технология алмазной правки шлифовальных кругов / В. Ф. Романов, В. В. Авакян. — М.: Машиностроение, 1980. — 118 с.

**БУГАЙ Иван Анатольевич**, аспирант, ассистент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты».

**ВАСИЛЬЕВ Евгений Владимирович**, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты».

**ПОПОВ Андрей Юрьевич**, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты».

Адрес для переписки: boogie9@mail.ru

Статья поступила в редакцию 24.02.2015 г.

© И. А. Бугай, Е. В. Васильев, А. Ю. Попов