

# НАУКА И ТЕХНИКА



## Белорусская наука и ее творцы:

*Крупнейшему современному физику, видному государственному и общественному деятелю, организатору советской и белорусской науки академику*

*Николаю*

*Александровичу*

*Борисевичу — 80 лет*

*Ему было 5 лет, когда родилась колыбель белорусской науки — Национальная Академия наук Белоруссии. Их судьбы тесно переплелись.*

№ 4 (21)

октябрь-декабрь  
2003

# Уважаемые читатели и авторы!

Редакция журнала «Инженер-механик» поздравляет Вас с Новым 2004 годом!

И приглашает Вас к активному сотрудничеству с целью своевременного информирования нашей широкой читательской аудитории о новых достижениях и решении старых проблем, об актуальных научных исследованиях, перспективных технологиях, новых конструкциях машин и механизмов, научной организации и безопасности производства, об истории белорусских предприятий, научных организаций, о жизни и деятельности известных ученых, изобретателей, организаторов производства

## ПРАВИЛА ПОДАЧИ РУКОПИСЕЙ

Материалы для публикации в журнале «Инженер-механик» предоставляются на бумаге и в электронной форме. Публицистические статьи желательно дополнять иллюстрациями и фотографиями авторов.

### ТЕКСТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА БУМАГЕ

#### 1. Требования к оформлению статьи

- Статья должна иметь:
  - название;
  - фамилию и инициалы авторов с указанием организаций, которые они представляют (если организация одна для всех авторов, то она указывается однократно);
  - объем — не более шести печатных страниц.
- Статья должна содержать минимальное количество формул, которые необходимо четко вписывать в отдельные строки.
- Список литературы приводится в конце статьи в порядке последовательности ссылок в тексте или в алфавитном порядке в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-84. СИБИД. «Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления».
- Сведения об авторах размещаются на последней странице, где указываются Ф.И.О. (полностью), организация (без сокращений), адрес, служебный и домашний телефоны.

#### 2. Требования к оформлению текста

- Текст набирается в одну колонку, без абзацного отступа (красной строки).
- Шрифт — Times New Roman, размер — 14 пт.
- Межстрочный интервал — одинарный.
- Между словами допускается не больше одного пробела.
- Не допускается использование «мягких» переносов.
- При форматировании левое поле — 2,5 см, правое — 1,5 см.
- Страницы должны быть пронумерованы.
- Сноски и примечания размещаются в конце текста.
- Ключевые положения статьи могут быть выделены курсивом или подчеркнуты.

### ТЕКСТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ЭЛЕКТРОННОЙ ФОРМЕ

- Поставляются на дискетах 3,5 дюйма стандартного форматирования IBM-совместимых компьютеров.
- Текст должен быть набран в редакторе Microsoft Word for Windows 7.0 и выше, формулы в редакторе Microsoft Equation 3.0.

### ГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА БУМАГЕ

...няются в соответствии с действующими стандартами, на них должны быть те позиции, на которые есть ссылки в рукописи. Мелкие, несущественные печати могут оказаться неясными.

...ть четкими и контрастными, на них нельзя делать никаких надписей. Фотографии в текст статьи при помощи текстового редактора.

### ГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ В ЭЛЕКТРОННОЙ ФОРМЕ

...дюйма, компакт-дисках; при этом обязательно прилагается

...MP, PCX, JPG, разрешение растровых файлов — min

...словиям договора между авторами и редколлегией. ...вне очереди с предоставлением им льгот.



# 75 ЛЕТ

## НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ

*(Краткая справка)*

Национальная академия наук Беларуси основана 1.01.1929 г. на базе Института белорусской культуры согласно постановлению ЦИК и СНК БССР от 13.10.1928 г. До 1931 г. сохраняла в основном структуру Инбелкульту, имела 6 институтов, кафедры, Центральное бюро краеведения, ботанический сад, библиотеку.

Постановлением СНК БССР от 13.05.1931 г. АН реорганизована. На неё были возложены планирование работ всех научно-исследовательских учреждений и контроль за выполнением планов научных исследований в республике. В 1932 г. в системе АН 14 институтов: философии, языкознания, литературы и искусства, истории, советского строительства и права, экономики, биологических наук, агропочвенный, химии, геологии, физико-технический, психоневрологии и др., 2 сектора — литовский и латышский; комиссия по изучению Западной Белоруссии, институт аспирантуры, издательство, библиотека, Центральное бюро краеведения.

В годы Великой Отечественной войны немецко-фашистские захватчики разрушили корпуса АН БССР, уничтожили оборудование, книжный фонд. После освобождения Белоруссии от немецко-фашистских оккупантов возобновить деятельность АН БССР помогли АН СССР и АН союзных республик. В 1944 г. начали работу институты истории, языка, литературы и искусства, экономики, социалистического сельского хозяйства, геологии, теоретической и клинической медицины, торфа, химии, физико-техническая лаборатория, воднохозяйственный сектор, ботанический сад и др. Были созданы новые институты: физики, математики, физики твёрдого тела и полупроводников, механики металлополимерных систем, ядерной энергетики, технической кибернетики и др.

В НАН Беларуси в настоящее время трудятся 95 академиков, 101 член-корреспондент, 590 докторов и около 1500 кандидатов наук. Работает 7 отделений:

1. *Физики, математики и информатики*: Институт физики, Институт молекулярной и атомной физики, Институт прикладной оптики, Институт математики, Институт физики твёрдого тела и полупроводников, Институт электроники и Объединенный институт проблем информатики.

2. *Физико-технических наук*: Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова, Объединенный институт энергетических и ядерных исследований «Сосны», Физико-технический институт, Институт технологии металлов, Институт механики металлополимерных систем, Институт механики и надежности машин, Институт прикладной физики, Институт технической акустики.

3. *Отделение химических наук и наук о земле*: Институт физико-органической химии, Институт общей и неорганической химии, Институт биоорганической химии, Институт химии новых материалов, Институт геологических наук, Институт проблем использования природных ресурсов и экологии.

4. *Отделение биологических наук*: Институт экспериментальной ботаники, Институт генетики и цитологии, Институт фотобиологии, Институт зоологии, Институт микробиологии, Институт леса, Центральный ботанический сад.

5. *Отделение медико-биологических наук*: Институт физиологии, Институт биохимии,

6. *Отделение гуманитарных наук и искусств*: Институт философии, Институт социологии, Институт экономики, Институт истории, Институт искусствоведения, этнографии и фольклора, Институт языкознания, Институт литературы.

7. *Отделение аграрных наук*: Институт аграрной экономики, Белорусский НИИ энергетики агропромышленного комплекса, Белорусский НИИ механизации сельского хозяйства, Белорусский НИИ мелиорации и луговодства, Белорусский НИИ почвоведения и агрохимии, Институт плодородия, Белорусский НИИ животноводства, Белорусский НИИ картофелеводства, Белорусский НИИ овощеводства, Белорусский НИИ защиты растений, Белорусский НИИ экспериментальной ветеринарии им. С.Н. Вышелесского, Белорусский НИКТИ мясомолочной промышленности.

НАН Беларуси проводит научные исследования в области дифференциальных уравнений, алгебры, вычислительной математики, спектроскопии атомов и молекул, квантовой электроники, физики плазмы, твёрдого тела, низких температур, прочности и пластичности, тепло- и массообмена, ядерной энергетики, автоматизации процессов



технологической подготовки производства, физико-химии калийных солей, биоорганической химии, синтеза новых неорганических материалов, адсорбентов и катализаторов, создания высокоэффективных каталитических систем и процессов на их основе, комплексного геологического, геофизического и геохимического изучения земной коры, комплексной переработки торфа, фотосинтеза, физиологии и биохимии растений и микроорганизмов, генетических основ селекции, нейрогуморальных механизмов регуляции функций, охраны и воспроизводства растительного и животного мира, исследует вопросы философии и права, экономики, истории Беларуси, литературы и языка, искусства и др. Учреждения НАН Беларуси проводят совместные научные работы в творческом содружестве и на основе хозяйственных договоров со многими учреждениями и промышленными предприятиями республики и других стран. Труды многих белорусских учёных обогатили отечественную и мировую науку. За работы в области науки и техники учёным НАН Беларуси присуждены ряд Государственных премий СССР, Государственных премий БССР, премии Ленинского комсомола, премии ЛКСМБ. НАН Беларуси координирует важнейшие научно-иссле-

дательские работы в области общественных и естественных наук в республике, имеет широкие международные научные связи.

Издаёт «Весці НАН Беларусі» (7 серий), «Доклады НАН Беларусі», журналы — «Дифференциальные уравнения», «Журнал прикладной спектроскопии», «Инженерно-физический журнал», «Трение и износ», «Материалы, технологии, инструменты» и «Литосфера». В системе НАН Беларуси — издательство «Наука и техника», типография им. Ф. Скорины, Фундаментальная библиотека им. Я. Коласа. В 1975 г. АН БССР награждена орденом Дружбы народов и в 1978 г. орденом Ленина.

Главный корпус Академии (проспект Ф. Скорины, 66), построен в 1939 г. по проекту архитектора И. Лангбарда. Первоначально строительство велось по проекту архитектора Г. Лаврова. И. Лангбард сохранил предложенную Г. Лавровым планировку корпусов, уделив основное внимание укреплению всей композиции и художественной выразительности. В годы Великой Отечественной войны здание Академии было сожжено и в 1949 г. восстановлено по проекту И. Лангбарда. В 1969 г. к главному корпусу по ул. Академической построено здание Президиума Академии.

## КТО ЕСТЬ КТО В МИРЕ

*Крупнейшему современному физическому, видному государственному и общественному деятелю, организатору советской и белорусской науки, ведущему ученому в области молекулярной спектроскопии, люминесценции, лазерной физики и инфракрасной техники, человеку, списавшему известность и авторитет во всем мире, Герою Социалистического Труда, Заслуженному деятелю науки Республики Беларусь академику Николаю Александровичу БОРИСЕВИЧУ исполнилось 80 ЛЕТ!*

Регалии, звания и награды великого ученого можно перечислять долго. Отметим самые важные из них. Н.А. Борисевич — действительный член (академик) Российской АН, иностранный член Чешской академии наук и Словенской академии наук и искусств, действительный член Европейской академии наук, искусств и словесности (Париж), почетный доктор Йенского университета (Германия). Николай Александрович награжден четырьмя орденами Ленина, орденами Октябрьской революции и Трудового Красного Знамени. Польская академия наук удостоила его медали Н. Коперника, Чехословацкая академия наук — золотой медали «За заслуги перед наукой и человечеством», Словацкая — золотой медали «За исключительные заслуги перед наукой».

Американский биографический институт избрал его «Человеком 1997 года». Имя белорусского ученого Николая Александровича Борисевича можно найти в таких престижных международных изданиях, как «Кто есть кто в мире», «Международный справочник выдающихся деятелей», «Пять тысяч биографий со всего мира» (США), «Кто есть кто» (Англия) и многих других.

Н.А. Борисевичем создана хорошо известная в нашей стране и за рубежом научная школа. Им подготовлено около 40 кандидатов наук, десять учеников стали докторами физико-математических наук. Среди его учеников — два академика НАН Беларуси.

После окончания БГУ им. В.И. Ленина, а затем аспирантуры Государственного оптического ин-



ститута им С.И. Вавилова в Ленинграде Николай Александрович успешно защищает кандидатскую диссертацию и становится одним из организаторов Института физики и математики АН БССР. Работает там заместителем директора по научной работе с момента его открытия в январе 1955 года до мая 1969-го, когда ученого избирают президентом АН БССР. Н.А. Борисевич работал в этой должности 18 лет. В это время Академия наук Беларуси получила наибольшее развитие и стала крупнейшим центром науки. Численность сотрудников выросла более чем в 2 раза, в 2,7 раза возросло количество кандидатов и докторов наук, финансирование академии увеличилось почти в 4 раза, было открыто 10 новых институтов и 5 научных подразделений в областных центрах республики, вновь создана разветвленная опытно-конструкторская и экспериментальная база, центры коллективного пользования уникальными приборами и оборудованием, а также сеть учреждений социальной сферы, развернуто строительство Академгородка. Глубокой реконструкции подвергся главный корпус Академии наук. За этот период для академии было построено 39 различных объектов.



*Слева направо: директор ОПП НТО АН СССР Бураков В.С., Президент АН СССР Александров А.П., Президент АН БССР Борисевич Н.А.*

*Фото В. Гришановича*

Одновременно велась работа по повышению уровня исследований, их результативности и эффективности, внедрения практически важных разработок. Так, сотрудниками академии только за 1986 год было опубликовано более 500 книг и брошюр и около 6000 научных статей, получено 1001 авторское свидетельство на изобретения.

Ученым Академии наук за период с 1971 по 1986 год присуждены 2 Ленинские и 14 Государственных премий СССР, 43 Государственные премии БССР и 19 премий Ленинского комсомола.

За успехи в развитии советской науки, экономики и культуры, подготовке высококвалифицированных научных кадров Академия наук БССР была награждена орденом Ленина (1978) и орденом Дружбы народов (1975).

С 1992 года Николай Александрович — почетный президент НАН Беларуси, Одновременно все эти годы он ведет большую научную работу в Институте физики Академии наук Беларуси, а затем в Институте молекулярной и атомной физики НАН Беларуси, где он с 1957 года руководит созданной им крупной лабораторией. С 1987 года — он одновременно заведующий лабораторией Физического института им. П.Н. Лебедева РАН. С 1954 по 1963 год Н.А. Борисевич занимался педагогической деятельностью в БГУ им. В.И. Ленина.

С именем Н.А. Борисевича связано становление и развитие современных представлений о процессах испускания и поглощения излучения свободными сложными молекулами. Ему принадлежат фундаментальные исследования фотофизических процессов в сложных молекулах в газовой фазе, определяющих энергетику и динамику внутри- и межмолекулярных взаимодействий. Академиком и его учениками введены в молекулярную спектроскопию ранее не известные понятия и спектральные характеристики сложных молекул и разработаны экспериментальные методы их определения. Развитые подходы позволили коренным образом повысить информативность экспериментальных данных о фотофизических свойствах сложных молекул.

Исследования влияния посторонних газов на спектрально-люминесцентные характеристики паров сложных молекул, выполненные Б.С. Непорентом и Н.А. Борисевичем, привели к открытию явления стабилизации-лабилизации электронно-возбужденных многоатомных молекул посторонними газами. Это открытие широко используется в спектроскопии, люминесценции, фотохимии и квантовой электронике для управления устойчивостью возбужденных состояний молекул и в исследованиях процессов межмолекулярного обмена энергией.

Н.А. Борисевичем определено универсальное соотношение, связывающее все основные спектрально-люминесцентные характеристики сложных молекул, обнаружена сенсibilизированная антистоксовая аннигиляционная флуоресценция,



замедленная флуоресценция паров сложных молекул при обычном, а затем и лазерном возбуждении, решена проблема антистоксовой люминесценции, разработаны методы определения температур возбужденных молекул в газовой фазе и их колебательных теплоемкостей, установлены пути деградации энергии электронного возбуждения сложных молекул.

Крупный цикл работ выполнен Н.А. Борисевичем и его учениками по исследованию прямого электрического возбуждения сложных молекул столкновением с электронами и переносом возбуждения с заряженных частиц в электронном пучке и газовом разряде, определению эффективности непосредственного преобразования сложными молекулами электрической энергии в световую, по прямому определению возбужденных электронных уровней, включая триплетные, ряда классов органических, гетероциклических молекул и хелатов европия в газовой фазе.

Н.А. Борисевичем и его учениками найдено 15 классов сложно-молекулярных соединений, генерирующих в растворах излучение. Впервые получена генерация стимулированного излучения парами сложных молекул и на этой основе создан новый тип лазера с перестраиваемой частотой излучения. За создание нового научного направления — спектроскопия свободных сложных молекул Н.А. Борисовичу, Б.С. Непоренту, а также ученикам Николая Александровича — В.В. Грузинскому и В.А. Толкачеву в 1980 году присуждена Ленинская премия.

В лаборатории ученого были поставлены фундаментальные исследования по газовым лазерам, развитые А.П. Войтовичем в крупное направление лазерной физики.

Большой вклад в развитие науки о строении и физических свойствах молекул внесли исследования быстропротекающих фотофизических и фотохимических процессов в сложных органических молекулах в пико- и фемтосекундных временных диапазонах, проведенные Н.А. Борисовичем и его учениками Г.Б. Толсторожевым и С.А. Тихомировым. К числу важнейших научных достижений Н.А. Борисевича и его школы относятся исследования по обнаружению и исследованию поляризованной люминесценции свободных сложных молекул, позволившие установить основные закономерности динамики вращательного движения электронно-возбужденных сложных молекул в газовой фазе. За цикл работ «Динамика вращательного движения электронно-возбужденных многоатомных молекул в газовой среде» Н.А. Борисовичу, В.А. Толкачеву, А.П. Бло-

хину и В.А. Поведайло в 1998 году присуждена Государственная премия Республики Беларусь.



Слева направо: зав. лабораторией Красовский А.М., Президент АН БССР Борисевич Н.А., зав. отделом науки Гомельского ОК КПБ Зборовский Б.М., директор ИММС АН БССР Свириденко А.И.

Детальное изучение ученым процессов селекции оптического излучения в дисперсных и многокомпонентных системах привело к созданию ряда новых типов инфракрасных фильтров, в первую очередь дисперсионных и дисперсионно-интерференционных, перекрывающих широкую область спектра от 4 до 50 мкм. Результаты этих работ обобщены в монографии «Инфракрасные фильтры». За исследование рассеяния излучения и создание нового класса оптических фильтров для широкой области инфракрасного спектра Н.А. Борисовичу и его ученику В.Г. Верещагину присуждена Государственная премия СССР (1973). Был налажен серийный выпуск фильтров и созданных на основе этих фильтров приборов, предназначенных для массового спектрального анализа молекулярного состава и качества различных веществ и изделий.

Последние годы основное внимание в руководимой Н.А. Борисовичем лаборатории уделяется всестороннему исследованию биологически активных многоатомных молекул.

В 2001 году Н.А. Борисевич удостоен премии имени академика В.А. Коптюга за цикл работ в области спектроскопии сложных молекул и большой личный вклад в организацию сотрудничества ученых Сибирского отделения РАН и НАН Беларуси.

Высокую ответственность перед обществом проявил президент академии Н.А. Борисович в связи с аварией на Чернобыльской АЭС. Уже через четыре дня после аварии, 30 апреля 1986 года, в академии была налажена регулярная работа по изучению ее



последствий. 1 августа 1986 года утверждена президиумом АН БССР «Программа комплексных исследований по проблемам, связанным с результатами аварии на Чернобыльской АЭС, на 1986 - 1990 гг. научными учреждениями Белорусской ССР и Украинской ССР». Для более эффективной реализации программы Сектор геронтологии АН БССР преобразован в Институт радиобиологии.

Н.А. Борисевич много внимания уделял координации научных исследований, будучи в течение ряда лет председателем Совета по координации научной деятельности при Президиуме АН БССР и членом Совета по координации научной деятельности академий наук союзных республик при Президиуме АН СССР, членом Комиссии по спектроскопии и членом Научного совета по проблеме «Люминесценция» АН СССР. С 1988 года он председатель Научного совета по проблеме «Люминесценция» АН СССР, а затем РАН.

В течение ряда лет Н.А. Борисевич являлся главным редактором журнала «Доклады Академии наук БССР» и членом редколлегии журнала «Optics Communications». С момента организации «Журнала прикладная спектроскопия» (1984) он член редколлегии, а с 1994 года — главный редактор этого международного журнала, а также член редколлегии международных журналов «Spectroscopy Letters», «Оптика и спектроскопия» и «Квантовая электроника».

В 1992 году по решению Президиума академии создана Комиссия НАН Беларуси по истории науки, председателем которой стал академик Н.А. Борисевич. В 1998 году вышли приурочен-

ные к 70-летию НАН Беларуси книги: «Национальная академия наук Беларуси» (научные редакторы Н.А. Борисевич и А.П. Войтович) и «Национальная Академия наук Беларуси. Персональный состав: 1928-1998 гг.» (научный редактор Н.А. Борисевич).

Невозможно переоценить роль Николая Александровича как председателя редакционной коллегии в создании вышедшего в конце 2001 года уникального по научно-исторической значимости издания «Наука Беларуси в XX столетии» — своеобразной энциклопедии белорусской науки.

Н.А. Борисевич — инициатор создания Музея истории Академии наук, научным руководителем которого он сейчас является.

Многогранна государственная и общественная деятельность Н.А. Борисовича. В течение ряда лет он состоял членом Комитета по Ленинским и Государственным премиям СССР, членом Пленума ВАК при Министерстве высшего и среднего специального образования СССР. С 1971 по 1987 год возглавлял Комитет по Государственным премиям БССР в области науки и техники.

Стремление к познанию истины, умение решать крупные научные и научно-организационные задачи, убежденность, принципиальность и, наконец, талант ставят Николая Александровича Борисовича, в один ряд с именами великих ученых-исследователей и выдающихся людей современности.

*Ирина Емельянович, «Веды»*

## **ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ И УПРАВЛЯЕМАЯ ЗАКАЛКА В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ В БЕЛАРУСИ (фрагменты исторической хроники)**

*академик Астапчик С.А. — научный руководитель ГНТП «Технологии»*

Первые опыты по использованию токов высокой частоты для нагрева стальных изделий с целью их последующей сквозной закалки проводились в 1926 г. профессором Вологдиным В.П. и инженером Кировского завода Беляевым Н.М. в лаборатории высокочастотной электротехники при Ленинградском электротехническом институте. В 1935 г. профессором Вологдиным В.П. и инженером Романовым Б.Н. были начаты работы по применению индукционного нагрева для закалки рельсов. Начиная с 1942 года на ряде заво-

дов — ЗИЛ, ГАЗ, УралАЗ, Челябинском тракторном заводе были созданы специализированные цехи электронагрева. В 1947 году на базе выше-названной лаборатории высокочастотной электротехники под руководством В.П. Вологодина был организован Институт токов высокой частоты, в дальнейшем преобразованный во ВНИИТВЧ им. Вологодина.

Когда же усилиями выдающихся ученых Вологодина В.П., Головина Г.Ф., Кидина И.Н., Гриднева В.Н., Лозинского М.Г., Шамова А.Н., Замяти-



на М.М., Шепеляковского К.З., Слухоцкого А.Е. и других были созданы теоретические и технологические основы индукционного нагрева и поверхностной закалки с использованием токов высокой частоты, созданы недорогие и надежные преобразователи частоты, преимущества индукционного нагрева стали неоспоримыми и он начал свое стремительное распространение. Выявились основные преимущества индукционного нагрева: неограниченная возможность регулирования температуры и скорости нагрева, отсутствие обезуглероженного слоя и окалины, резкое уменьшение термических деформаций, высокая культура производства, экономия топливно-энергетических ресурсов.

В республике Беларусь ведущее место в развитии теории скоростного индукционного и электроконтактного нагрева для упрочнения деталей машиностроения принадлежит созданной в Физико-техническом институте НАНБ школе чл.-корр. АНБ Бодяко М.Н. (Астапчик С.А., Гордиенко А.И., Кашулин С.М., Ивашко В.В., Шипко А.А., Дымовский А.С.). Под руководством академика НАН Б Гордиенко А.И. были исследованы особенности структурных превращений при скоростном нагреве в титановых сплавах и создана технология упрочнения титановых изделий для нужд авиации и флота, а также титановой брони и средств индивидуальной защиты.

С первых лет применения ТВЧ и до последних лет советского периода среди промышленных предприятий ведущая роль в развитии индукционных технологий принадлежала Московскому и Горьковскому автомобильным заводам (ЗИЛ и ГАЗ), которые наряду с ВНИИТВЧ определяли уровень высокочастотной электротермии. На этих заводах разработано и изготовлено большое количество закалочных станков, трансформаторов и других устройств, способствовавших быстрому освоению индукционного нагрева.

Так, на ЗИЛе впервые были созданы технология и оборудование для поверхностной закалки деталей автомобиля, цементации шестерен при индукционном нагреве, разработаны технология и устройства для объемно-поверхностной закалки стали пониженной прокаливаемости.

Одно из мест среди лидирующих предприятий по применению индукционного нагрева принадлежит и Минскому тракторному заводу. Так, в

1999 г. на МТЗ эксплуатировали 94 машинных преобразователя общей мощностью 33250 кВт и 31 ламповый генератор общей мощностью 1955 кВт. Большой объем опытно-исследовательских работ на МТЗ выполнен к.т.н. Космовичем Л.С., Барановым В.С., Прицевым В.И. и другими, внесшими огромный вклад в расширение применения индукционного нагрева деталей на предприятии. Так, на МТЗ создан и внедрен ряд оригинальных станков и технологий обработки деталей при индукционном нагреве. Среди них 70 универсальных нагревательных станций, специализированные станки для непрерывно-последовательной закалки, контурная закалка шестерен с подогревом в печи, последовательная закалка полуосей с импульсно-периодическим охлаждением, пайка масляного радиатора, ряд автоматизированных станков для закалки деталей тракторов МТЗ. Вслед за этим потянулся шлейф технологии индукционного нагрева и на других заводах. Объем и значение проводимых на этих предприятиях работ выходит за рамки интересов одного предприятия, и стал неотъемлемой проблемой отрасли.

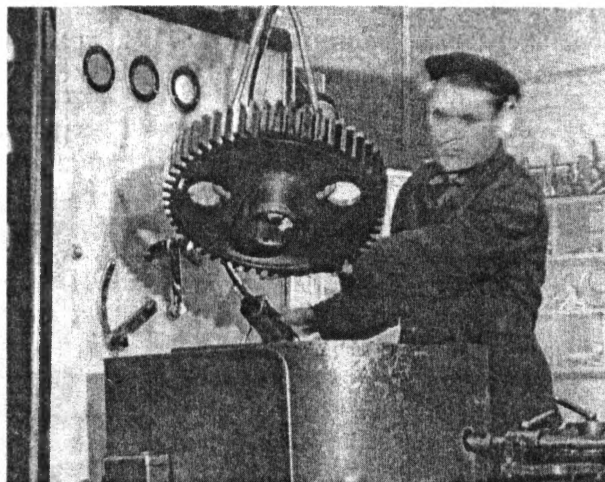
Минский автомобильный завод в первый период развития индукционного нагрева отставал от ЗИЛа, ГАЗа. Однако уже в 1956 году индукционному нагреву под закалку на МАЗе подвергали 23 наименования деталей автомобиля. Освоение первых деталей и станков выполнили энтузиасты — Михайловский В.И., Андрищенко Н.Ф., Попова М.А., Волчек В.Ф., Френкель Р.Б., Мартынович Н.З., Варакса А.С. С момента организации на заводе лаборатории ТВЧ (01.10.1957 г.) эта технология на МАЗе стала интенсивно развиваться. В 1969 г. уже 250 наименований деталей подвергались закалке с индукционного нагрева. В настоящее время только на Минском автозаводе индукционный нагрев применяют для заготовок и деталей более 700 наименований, при этом 1000 тонн в год точного стального литья по выплавляемым моделям выплавляется в цехе спецлитья с использованием ТВЧ. В ремонтно-механическом цехе используется установка ТВЧ для закалки дисков роторов дробеметных аппаратов. Только на МАЗе общая мощность высокочастотных генераторов составляет около 13000 кВт. Переданы



Космович Л.С.

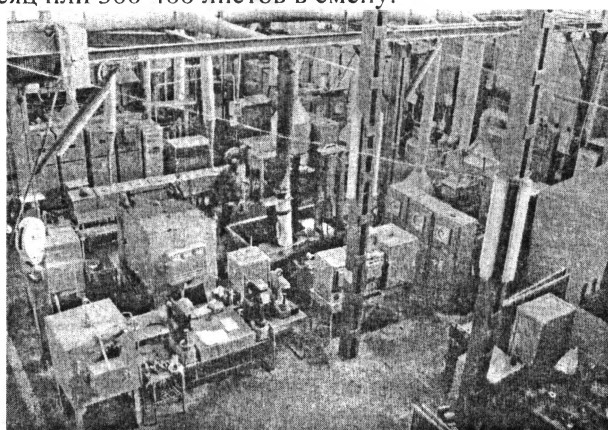


установки и детали на Минский завод колесных тягачей, на автоагрегатные заводы в г.г. Осиповичи, Бобруйск, Кобрин, Барановичи, Белорусский автомобильный завод и кузнечный завод тяжелых штамповок в г. Жодино.



*Самосейко И.Н. закаливает бортовую шестерню тралевочного трактора*

Только на Минском рессорном заводе (МРЗ) с помощью специалистов МАЗ в настоящее время освоены и эксплуатируются 4 индукционные установки общей мощностью генераторов 1200 кВт. Из них две уникальные установки, разработанные специалистами ЦЗЛ УГМет, мощностью по 500 кВт используются для нагрева под прокатку переменного профиля листа малолистовой рессоры. Общий объем нагреваемого проката на Минском рессорном заводе составляет 80 тонн в месяц или 300-400 листов в смену.



*Экспериментально-производственный участок ТВЧ обработки деталей тракторов*

В настоящее время по уровню создаваемых технологических процессов и оборудования для обработки деталей при индукционном нагреве Минский автозавод вышел в число лидирующих предприятий автомобильной и трак-

торной промышленности СНГ. Это засвидетельствовано на научно-технической конференции, посвященной теории, технологии и оборудованию индукционного нагрева, проведенной на МАЗе совместно с НИИТВЧ в июне 1999 г. и впервые за послеперестроечный период, собравший ведущих специалистов СНГ в этой области.

И все же мне хочется вспомнить первопроходцев в области ТВЧ Минского тракторного завода, его лидера, замечательного человека, высочайшего профессионала, к.т.н. Льва Степановича Космовича и его коллектив единомышленников «академиков труда» (Баранова В.С., Ладутько Н.Д., Прицева В.И. и др.) с которыми мне посчастливилось работать на МТЗ в БЛЭН (Базовой лаборатории электронагрева Белорусского Совнархоза) и, где я, начинающий молодой сотрудник ФТИ, получил путевку в жизнь (прикладную науку непосредственно на производстве).

#### **ХРОНИКА**

В начале 1952 г. зам. директора по капитальному строительству П.И. Шварцбург предложил Л.С. Космовичу и экономисту кузнечного цеха Лурье сделать технико-экономическое обоснование внедрения индукционного нагрева в кузнице МТЗ.

25 апреля 1952 г. директор завода А.М. Тарасов подписал приказ о создании на заводе цеха ТВЧ. И.О. начальника цеха был назначен Л.С. Космович, а заместителем начальника — К.Е. Осюхин.

На цех ТВЧ возлагались: технологическая подготовка производства; проектирование и изготовление специального оборудования и оснастки; внедрение процессов с применением ТВЧ; контроль за соблюдением технологии ВЧ термообработки; изготовление технологической оснастки для обработки ТВЧ; надзор за эксплуатацией и ремонтом высокочастотного оборудования.

В 1954 г. номенклатура закаливаемых ТВЧ деталей выросла до 66 наименований.

В.С. Баранов совместно с Л.С. Космовичем начал проводить опыты по ВЧ закалке шестерен. Тогда же В.С. Баранов совместно с В.И. Прицевым начали опыты по ВЧ закалке задних полуосей.

Позже цех ТВЧ преобразован в отделение (ОЭН) и наравне с другими технологическими отделами оно получало конструкторскую документацию на подготовку производства термообработки ТВЧ.



В 1956 г. ОЭН было переименовано в лабораторию электронагрева (ЛЭН) отдела главного металлурга (ОГМет). Такое решение устраивало всех и лаборатория просуществовала до конца 1959 г.

Первоочередные задачи, которые стояли перед ОЭН — это внедрение ВЧ закалки коленвала, сооружение и запуск участка ТВЧ в новом термическом цехе (в корпусе МЦ-2) и дальнейшее развитие применения ТВЧ на заводе. Что касается последнего, то изначально создатели, распространители и энтузиасты этого метода: В.П. Вологдин, М.Г. Лозинский, Г.И. Бабат и их последователи исходили из того, что нагрев ТВЧ открывает широчайшие возможности для технического прогресса и потому должен всемерно поощряться и поддерживаться. Такая идеология была положена в основу деятельности службы ТВЧ МТЗ и принималась руководством завода.

После внедрения ВЧ закалки коленвала, в дизельном цехе была внедрена закалка распределителя и гильзы цилиндра.

Следует отметить, что в 90-х годах более чем в 20 цехах завода располагались сотни ВЧ установок общей мощностью свыше 20 тыс. кВт, обрабатывающие несколько сот наименований изделий.

С 1958 г. В.С. Баранов, Л.С. Космович, Е.С. Лисков и др. вели работы по внедрению высокочастотной закалки бортовых шестерен взамен их цементации. Работа была завершена в 1975 г. при содействии лаборатории термокинетики ФТИ НАН Б под руководством М.Н. Бодяко и С.А. Астапчика.

Большой экономический эффект дало разработанное и внедренное В.С. Барановым с участием А.Н. Басальго, В.Ф. Волчка, В.А. Гуриновича, В.И. Прицева и др. устройство для одновременной припайки к бачку масляного радиатора 52-х трубок, расположенных в 3 ряда.

Совместно с ВНИИ ТВЧ проводилась работа по созданию тиристорного преобразователя частоты для индукционного нагрева под штамповку.

В конце 1959 в соответствии с решением Совнархоза БССР ЛЭН была преобразована в БЛЭН — базовую лабораторию электронагрева с целью оказания методологической и практической помощи предприятиям Совнархоза.

С упразднением Совнархоза БЛЭН была преобразована в ПЛЭН — проблемную лабораторию электронагрева МТЗ, а в 1988 году — в проектно-технологический отдел МТЗ.

В 1991 г. с уходом Космовича Л.С. на пенсию отдел возглавил Баранов В.С., на должность заместителя начальника отдела вместо Прицева В.И. был назначен 26-летний Волчок В.Ф., а заместителем начальника по производству — Гуринович В.А. В дальнейшем еще были проведены реорганизации службы ТВЧ, которую возглавляли последователи Космовича Л.С.



Слева направо: Космович Л.С., Баранов В.С., Хаичкевич Б.Н., Федорович Я.Т., Ладутько Н.Д.

#### ПОМОЩЬ СТОРОННИМ ОРГАНИЗАЦИЯМ

С образованием базовой лаборатории электронагрева на МТЗ стали обращаться не только белорусские, но и предприятия других городов СССР, и даже зарубежные.

Об авторитете БЛЭН красноречиво свидетельствует высказывание главного технолога Львовского автобусного завода Н.Н. Гнатышка. Когда его спросили, почему он обратился за помощью в БЛЭН, а не на ХТЗ, например, он ответил: — Так вы ведь самая известная фирма на всем западе!

Авторитет БЛЭН активно поддерживали сотрудники ВНИИ ТВЧ: когда к ним обращались за помощью предприятия белорусского региона, они рекомендовали обратиться на МТЗ.

#### КАДРЫ

За 45 лет через службу ТВЧ МТЗ прошло не менее 200 человек. Часть из них проработали до пенсии, часть — уволилась по объективным причинам, а часть «не пришлось ко двору». О последних сказать нечего, а вот первая и, отчасти, вторая группа — это люди, определившие успехи и создавшие доброе имя ОЭН — ЛЭН — БЛЭН — ПЛЭН и всему славному МТЗ: В.С. Баранов, А.Н. Басальго, В.И. Дмитриев, Я.И. Добис, М.А. Довнар, Н.Ф. Ладутько, В.И. Прицев, М.Р. Слепян, В.И. Сорокин, Я.Т. Федорович, М.Л. Этин.



И последнее.

В 1978 г. начальник ПЛЭН МТЗ Л.С. Космович получил поздравление с 50-летием от директора и руководителей общественных организаций ВНИИ ТВЧ. Это ли не признание заслуг коллектива ПЛЭН?

### **СВЯЗИ С НАУКОЙ**

Служба ТВЧ МТЗ постоянно поддерживала связи с ФТИ АН БССР, ВНИИ ТВЧ, сотрудничала с институтами тепло- и массообмена, прикладной физики, БПИ и др.

Профессор Ленинградского электротехнического института А.В. Донской много говорил о необходимости создания кафедры высокочастотной электротермии в БПИ, но дальше разговоров дело не пошло, а тем временем на общественных началах создано объединение МТЗ – БПИ, а в БПИ — кафедра — «Колесные тракторы», которую на МТЗ возглавили генеральные конструкторы — доктора наук. Эти объединения и кафедры вырастили 8 докторов наук. А вот в области высокочастотного нагрева огромный производственно-научный потенциал МТЗ использован не полностью.

## **НОВОЛИПЕЦКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ — СОРАТНИК БЕЛОРУССКОЙ ИНДУСТРИИ**

Новолипецкий металлургический комбинат имеет глубокие исторические корни, которые уходят в 17 век, в те времена, когда царь Петр Первый, преобразователь России, ставил литейные заводы для пушек российского флота, который создавал на берегах реки Воронеж в городе Липецке. Водные и лесные массивы, богатые запасы железных руд, известняков, доломитов, близость богатых железнорудных месторождений Курской магнитной аномалии, угольных Донецкого, Печорского, Кузнецкого бассейнов, удачное расположение города — вблизи от потребителя металла, обусловили развитие металлургии в Липецке.

Конвейер «Руда — транспорт — металл — машины» действует бесперебойно и рентабельно. За последние 60 лет завод по производству литейного чугуна расширился, модернизировался и преобразован трудом и талантом металлургов в Новолипецкий металлургический комбинат с полным металлургическим циклом.

В настоящее время общая площадь, занимаемая комбинатом, составляет 18480 га, из них производственная площадь — 3800 га. Свыше 43 тыс. металлургов комбината заняты производством металлоизделий для всего мира.

Комбинат имеет собственный автомобильный и железнодорожный транспорт. Аэропорт Липецка, до которого двадцать минут езды на автомобиле от комбината, имеет сообщение со всеми городами СНГ. Сюда также прилетают самолеты по договоренности с НМЛК из других стран.

Новолипецчане осуществляют деловое сотрудничество как с металлургическими, машиностроительными предприятиями и ведущими научно-исследовательскими институтами России, так и с зару-

бежными металлургическими фирмами в западной Германии, Австрии, Японии, Франции и Италии.

Еще в 60-х годах новолипецкие металлурги установили прочные производственные контакты с австрийскими фирмами. Впервые в СССР — на Новолипецком металлургическом комбинате — с помощью ведущей металлургической фирмы «Voest» были смонтированы и запущены в кислородно-конверторном цехе № 1 три 100-тонных австрийских конвертера, которые вместе с шестью советскими установками непрерывной разливки стали образовали единый технологический поток.

На первую плавку металла «Дружба» в кислородно-конверторном цехе комбината — первом в СССР — приезжал 19 марта 1967 г. канцлер Австрии Йосиф Клаус. Австрийские металлурги охотно делятся своим опытом и знаниями с липецкими мастерами. Из литых вакуумированных слябов на дальнейших металлургических переделах производится высококачественный металл. Опыт новолипецких металлургов и технология производства сталей в кислородно-конверторном производстве распространены на других советских и зарубежных металлургических фирмах.

Исключительный вклад в достижения комбината мировых высот внес его генеральный директор Иван Васильевич Франценюк.

Он родился в с. Выхватновцы Каменец-Подольского района Хмельницкой области.

В 1951 году окончил Ждановский металлургический институт по специальности инженер-металлург. С 1952 по 1954 год работал технологом, старшим инженером-технологом отдела главного металлурга на воронежском заводе им. Ка-



лина. В мае 1954 года переехал в Липецк и поступил на Новолипецкий металлургический завод, где работал начальником смены листопркатного цеха № 1. В 1955 году Министерством черной металлургии СССР был направлен на Магнитогорский металлургический комбинат, где проработал вальцовщиком в цехе холодной прокатки. С июня 1956 года был переведен опять в Липецк на НЛМЗ на должность начальника смены ЛПЦ-1. Прошел ступени — старшего мастера прокатного отделения ЛПЦ-1; заместителя начальника ЛПЦ-1; начальника ЛПЦ-1; главного прокатчика НЛМЗ; главного инженера НЛМЗ.

В марте 1978 года приказом министра черной металлургии был назначен директором завода. С 1989 по 1993 год — генеральный директор комбината. В 1993 году избран генеральным директором АО «НЛМК». И.В. Франценюк непосредственно участвовал и руководил строительством и вводом в эксплуатацию всех крупных цехов и объектов НЛМК.

За выдающиеся успехи в выполнении плановых заданий и социалистических обязательств, большой личный вклад в увеличение выпуска качественного металла, повышение производительности труда, снижение себестоимости продукции и проявленный трудовой героизм в 1984 году И.В. Франценюк удостоен звания Героя Социалистического Труда.

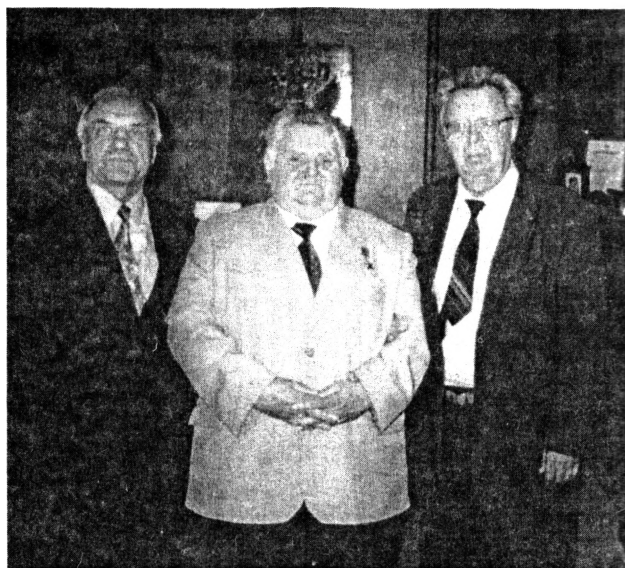
В 1980 году ему присвоено звание лауреата Государственной премии СССР за разработку новых процессов и машин для производства горячекатаной высококачественной рулонной стали и освоение впервые в мировой практике широкополосного прокатного стана производительностью более 6 млн. тонн листового проката в год (НШС-2000).

Он заслуженный металлург РСФСР (1977), доктор технических наук (1993), Почетный металлург РФ (1994), действительный член Российской инженерной академии (1995), действительный член Международной академии лидерства в сфере бизнеса и управления (1995), действительный член Академии естественных наук РФ (1996). Награжден двумя орденами Трудового Красного Знамени (1966, 1971), орденами Октябрьской Революции (1979), Дружбы народов (1993), «За заслуги перед Отечеством» II степени (1995), медалью «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В. И. Ленина» (1970). Избирался делегатом XXVII съезда КПСС (1986) и XVII съезда профсоюзов СССР (1982).

И.В. Франценюку присвоено звание «Почетный гражданин города Липецка» (1993).

С 1998 года решением Липецкого городского

Совета депутатов площадь перед ДК НЛМК носит имя И.В. Франценюка.



Слева направо: Гресский Л.Н., Франценюк И.В., Астапчик С.А., 2003 г.

Он следит за заменой непроизводительного оборудования на новое, высокорентабельное и современное, использование которого позволяет объединить все металлургические звенья технологических операций: выплавку, разливку, горячую прокатку, травление, холодную прокатку, термообработку и покрытие готовой металлопродукции — в единый синхронно работающий технологический конвейер.

На комбинате были установлены и освоены: комплексы кислородно-конверторных цехов, оснащенных установками непрерывной разливки стали; непрерывно-широкополосный стан «2000» горячей прокатки; непрерывно-травильные агрегаты фирмы «Ruthner» (Австрия); пятиклетый стан «2030» холодной прокатки фирмы «Schloman Siemag» (Германия); агрегаты непрерывного отжига, горячего цинкования и покрытия фирм «Nippon Kokan», «Nippon Steel» и «Kawasaki Steel» (Япония); колпаковые печи с 300-ми стендами конструкции «Стальпроект» и 15 стендами фирмы «Ebner-Industrieofenbau» (Австрия), являющихся перспективными для повышения производительности технологических агрегатов и улучшения качества металлов.

Высококласное металлургическое оборудование обеспечивает высокое качество продукции! Ивану Васильевичу одному из первых в Европе и Азии удалось в 1976 году благодаря его дальновидности, трудолюбию и творческой энергии, взаимопониманию руководителя и металлургов комбината создать листопркатное производство высококачест-

венной конструкционной стали, вложив немалые средства на приобретение самого лучшего металлургического оборудования в разных странах. Комбинат стал одним из ведущих в экспортном хозяйстве России, богатым и прибыльным предприятием, успешно решающим любые социальные вопросы. Деловое сотрудничество с зарубежными фирмами

позволяет сохранить лидерство по производству высококачественного металла, соответствующего требованиям мировых стандартов.

В 1980 году за международное сотрудничество, развитие производства Новолипецкий металлургический комбинат награжден премией «Золотой Меркурий».

## НАШ ЗЕМЛЯК УЧИЛ САМОЛЕТЫ ЛЕТАТЬ

«Косберг сработал!» Говорят, именно эту фразу воскликнул Юрий Гагарин, когда включилась третья ступень ракеты-носителя «Восток». Во всяком случае, такую легенду я впервые услышал в 1990 году на Байконуре. Для всех, кто готовил тот легендарный старт, она означала, что космический корабль с первым в мире человеком на борту выйдет на орбиту. Историческим фактом является встреча на следующий день первого космонавта и главного конструктора Семена Ариевича Косберга, которому Юрий Гагарин подарил газету «Волжская коммуна» за 13 апреля 1961 года с сообщением ТАСС о полете и своим портретом, сделав лаконичную надпись: «За третью ступень» и оставив на память один из первых автографов.



*Справа налево: космонавты Юрий Гагарин, Андриян Николаев, в белом плаще — С.А. Косберг. Крайний слева — С.П. Королев. Байконур, октябрь 1964 г.*

О жизни и деятельности соратника Сергея Павловича Королева, уроженца Слуцка Семена Ариевича Косберга, 100-летие со дня рождения которого мы отметили 14 октября 2003 года, собираю материалы уже более 10 лет.

Он был четвертым ребенком (из семи) в семье кузнеца — старшим из братьев. После окончания школы (сохранилась фотография, где Косберг среди членов ученического комитета 1-й семилетки Слуцка) Семен поступил в коммерческое училище. Но торговца из него не получилось: работа в кузнице, унаследованная от отца любовь к технике привели 17-летнего юношу в Петро-

град, где его приняли на прядильно-ниточную фабрику слесарем. Рабфак, служба в армии, учеба в Ленинградском политехническом институте, защита диплома в знаменитом Московском авиационном институте, куда его перевели как студента, «склонного к исследовательской и конструкторской работе».

В Центральном институте авиационного моторостроения (куда Косберг получил распределение) его ценили не только за светлый ум, но и за золотые руки. Случалось так, что рабочие не могли освоить сложную деталь и тогда молодой инженер сам становился к станку. Казалось, он может делать все.

В 1938 году экспериментальная группа под руководством Косберга создает авиационный насос непосредственного впрыска с характеристиками, превосходившими зарубежные аналоги. В 38 лет он становится главным конструктором. Война выявила в Косберге еще одно немаловажное качество — организатора производства. Его ОКБ эвакуировали из осажденной Москвы под Новосибирск. Там почти на голом месте за несколько месяцев было налажено серийное производство агрегатов непосредственного впрыска для авиадвигателей А.Д. Швецова. Это позволило истребителям Ла-5 (конструкции С.А. Лавочкина) заметно увеличить скорость и успешно бороться с немецким «Фоке-Вульф-190». Моторы, оснащенные системами Косберга, значительно улучшили и летно-технические характеристики пикирующих бомбардировщиков А.Н. Туполева. За героическую работу в тылу Семен Ариевич получил два боевых ордена — Красной Звезды и Отечественной войны I степени.

В конце 1946 года ОКБ-154 Косберга перебазировалось в Воронеж. Работали над созданием вспомогательных реактивных двигателей для истребителей А.И. Микояна и А.С. Яковлева, опытных самолетов П.О. Сухого. Не за горами были полеты за пределы атмосферы.

...Впервые они встретились 10 февраля 1958 года и долго, говорили, как старые знакомые. В итоге главный конструктор Сергей Павлович Ко-

ролев предложил главному конструктору Семену Ариевичу Косбергу работать вместе: ОКБ-154 будет делать двигатели для ракетно-космических систем, проектируемых в ОКБ-1. Началась совместная работа двух творцов принципиально новой техники. Впрочем, «работа» — не то слово. Это было творчество двух великих ученых, инженеров, конструкторов, умноженное на безграничную преданность своему делу.

Уже через 9 месяцев в ОКБ Косберга создается первый в мире кислородно-керосиновый жидкостно-реактивный двигатель (ЖРД) третьей ступени ракеты, предназначенный для использования в условиях космического пространства. Он имел тягу 5 тонн и мог разогнать аппарат до невиданной ранее второй (11,2 километра в секунду) скорости. С помощью таких двигателей в 1959-1962 годах впервые в истории осуществлялись запуски автоматических межпланетных станций (АМС) в сторону Луны, Венеры и Марса. За эту работу Семену Ариевичу в 1959 году была присуждена степень доктора технических наук.

Но главной разработкой ОКБ Косберга стало создание кислородно-керосинового ЖРД-0109 для третьей ступени ракеты-носителя «Восток», которая обеспечила выход на орбиту всех первых советских космических кораблей. Наградой Семену Ариевичу за этот труд стала Ленинская премия. В секретном указе Президиума Верховного Совета СССР, подписанном сразу после полета Юрия Гагарина, в числе удостоенных звания Героя Социалистического Труда был и Косберг.

Следующая приоритетная разработка ОКБ-154 — создание четырехкамерных двигателей тягой до 20 тонн. Аналоги его, установленные на ракетах-носителях «Союз», до сих пор (!) работают на российскую и международные космические программы и считаются одними из самых надежных в мире.

А ведь были еще и двигатели для военных межконтинентальных баллистических ракет (МБР) Р-9 и Р-9А, которые находились на вооружении Советской Армии более 20 лет!

В начале 60-х годов Семен Ариевич Косберг сотрудничает с главным конструктором Владимиром Николаевичем Челомеем. Совместная работа завершилась созданием уникальных двигателей для второй и третьей ступеней ракеты-носителя «Протон».

Один из соратников Королева Борис Евсеевич Черток (Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской премии), с которым автору посчастливилось общаться, так описывал Косберга: «Невысо-

кого роста, плотный, но очень подвижный, быстро и выразительно жестикулирующий, всегда пребывавший в оптимистическом настроении, он с первой встречи понравился Сергею Павловичу».

...Жизнь Косберга трагически оборвалась в январе 1965 года в результате автомобильной катастрофы по пути из аэропорта в Воронеж. Как вспоминает Черток, «с тяжелыми травмами Семен Ариевич был доставлен в больницу. Сергею Павловичу доложили, что медики считают — жизнь Косберга вне опасности. Но вскоре его не стало. Королев был потрясен».

Конечно, на обледенелой дороге всякое бывает. Но почему о трагической смерти Героя Социалистического Труда, лауреата Ленинской премии, главного конструктора ракетно-космических двигателей ни строчкой не упомянули ни «Правда», ни «Известия», ни «Красная Звезда»?

С того времени прошло уже около 40 лет. Более чем достаточно на фоне «гласности» и «восстановления исторической справедливости», чтобы раскрыть все (или почти все) секреты. Да, имя и фотографии Семена Ариевича есть в нескольких энциклопедиях (включая белорусские), в книге В.П. Глушко «Развитие ракетостроения и космонавтики в СССР», автобиографических произведениях М.Л. Галлая «С человеком на борту» и Б.Е. Чертока «Ракеты и люди». Но уже в книге «Сергей Павлович Королев. Ученый. Инженер. Человек», изданной комиссией по разработке научного наследия пионеров освоения космического пространства в 1986 и 1987 годах, в воспоминаниях М.Л. Галлая фамилия Косберга отсутствует. Во всех публикациях о Челомее и его «Протонах» также не упоминается создатель второй и третьей ступеней этого носителя. Почему лишь в одном издании по истории космонавтики (автору известны более тысячи) есть фотоснимок Семена Ариевича рядом с другими учеными, инженерами, конструкторами, космонавтами (его цветной оригинал находится у автора, а покойный Ярослав Голованов с благодарностью принял копию в подарок).

И сегодня на Байконуре или в Плесецке, в Центре управления полетами можно услышать радостное: «Косберг сработал!» А завтра кто-то впервые ступит на дно лунного кратера, названного в честь уроженца Слуцка Семена Ариевича Косберга, короткая жизнь которого была подобно пламени, вырывающемуся из созданных им двигателей.

*В. Ларионов, «СБ»*



## МЕХАНИКА И УПРАВЛЕНИЕ МАШИНАМИ

*Окончание (начало см. № 3(20) 2003 г.)*

Работами Виллиса, Чебышева и Рело определены те основные научные направления, которые впоследствии стали содержанием науки, именуемой теперь «Теория механизмов и машин».

После того как мы, хотя и очень приближенно, определили начало становления этой теории как науки, нет необходимости подробно излагать историю ее развития от второй половины XIX века до наших дней, так как это невыполнимо в рамках нашей статьи. Перечислим только некоторых ученых, внесших наиболее существенный вклад в науку о машинах.

В России это были: Н.П. Петров, Ф.Е. Орлов, И.А. Вышнеградский, П.О. Сомов, Н.Е. Жуковский, Х.И. Гохман, В.П. Горячкин, Н.И. Мерцалов, Л.В. Ассур и другие. В Германии — М. Грюблер, О. Мор, Л. Бурместер, Ф. Грасгоф, К. Бах, Ф. Виттенбауер, Г. Альт и другие.

В США до 40-х годов нашего столетия не было научной школы по теории механизмов и машин. Только после второй мировой войны начинается бурный рост этой науки в США, ее творцы — это наши современники. В послевоенные годы наука о машинах получает широкое развитие также в Великобритании, ГДР, Польше, Румынии, Югославии, Болгарии. Закладываются основы этой науки в Италии, Голландии, Австралии, Канаде и других странах.

Большой вклад в формирование науки о машинах в различных странах вложила и вкладывает Международная федерация по теории механизмов и машин.

Что же достигнуто в решении проблем этой теории к настоящему времени? В области теории структуры и классификации механизмов созданы не только методы структурного анализа механизмов любой сложности, но и методы структурного синтеза. Широкое развитие получила теория групп Асура для образования механизмов с одной и более степенями подвижности. Рассмотрены вопросы теории пассивных связей. С помощью алгоритмов, разработанных для ЭВМ, найдены схемы многих новых пространственных механизмов с избыточными пассивными связями, изучены многие вопросы структуры механизмов с пневматическими, гидравлическими, электрическими и другими устройствами.

Наиболее полно развита кинематика как пло-

ских, так и пространственных механизмов. Созданы различные методы кинематического анализа механизмов. Широкое развитие получили аналитические методы, позволяющие проводить более глубокое исследование кинематических и метрических параметров механизмов. Внедрение ЭВМ в практику исследовательских работ позволили получить решение задач кинематики механизмов в самом общем виде.

Существенные результаты получены в теории синтеза плоских и пространственных механизмов. Я имею в виду все виды механизмов, а не только с жесткими звеньями. При этом решены многие проблемы, относящиеся как к кинематическому, так и динамическому синтезу. Основное внимание в настоящее время уделяется вопросам синтеза механизмов по заданным критериям оптимизации. В решении оптимизационных задач синтеза применяется широкий спектр методов в зависимости от конкретно поставленных задач.

Вновь создаваемые машины-автоматы должны обладать высокой эффективностью выполнения технологического процесса, удовлетворять требуемым экономическим показателям, максимально освобождать человека от контроля за их работой. В целях повышения производительности труда, увеличения количества выпускаемой продукции, улучшения экономических показателей производства будут создаваться не только машины-автоматы, но и системы машин автоматического действия в форме поточных линий, заводов-автоматов. Этими системами основные технологические процессы будут увязаны в единый комплекс с такими процессами, как транспортировка, контроль продукции, упаковка, счет выпускаемых изделий и др. Это могут быть поточные линии обычного линейного типа, роторные, кольцевые линии с использованием промышленных роботов и т. д.

Отличительной чертой машин-автоматов и систем автоматического действия ближайшего будущего будет высокий уровень управления ими по самым различным параметрам, критериям и показателям. Системы управления в зависимости от того, какие требования предъявляются к управляемому объекту и условиям, в которых он работает, могут иметь логические элементы электронного, пневматического, гидравлического и меха-



нического типов. Системы управления могут содержать блок памяти и блоки, обеспечивающие автоматическую поднастройку и адаптацию управляемых объектов, позволяющие качественно выполнять требуемый технологический процесс при изменяющихся внешних условиях. Создание систем машин автоматического действия потребует разработки методов вероятностного и структурно-логического анализа и синтеза с учетом их производительности, эффективности, надежности, качества продукции, экономичности и точности действия. Для анализа и синтеза таких систем необходимо создание и развитие специальных формализованных языков, ориентированных на решение проблем синтеза, развитие новых математических методов решения задач структурного синтеза с широким использованием системных подходов к теории исследования операций.

Процессу функционирования больших технологических систем и процессу их синтеза свойственна известная неопределенность, вызванная неполнотой информации об условиях эксплуатации, о качестве используемых систем и т. п. Для анализа и синтеза технологических систем подобного типа, если их рассматривать как системы с неполной информацией, могут быть использованы теории вероятностей, теории массового обслуживания и др. Может быть также использован метод статистического моделирования технологических машин, описанных моделирующими алгоритмами на ЭВМ. В исходных случаях в условиях полной неопределенности тех или иных условий работы технологических систем может быть использована теория игр. Необходимо дальнейшее развитие теории алгоритмических процессов проектирования систем машин автоматического действия. Потребуется разработка новых методов оптимизации, так как проектирование сложных технологических систем машин и линий вследствие множества варьируемых переменных, стохастического характера этих переменных и начальных условий встречает большие математические трудности. Важно, чтобы разработанные методы оптимизации, с учетом специфики синтезируемых систем, давали экономную вычислительную процедуру и по форме были приемлемы для повседневной практики проектирования.

Любая машина, в том числе и машина-автомат, представляет собой совокупность механизмов, выполняющих самые различные операции: технологические, транспортные, контрольные, управляющие и т. п. Многообразие этих механизмов очень велико, и их можно классифициро-

вать по различным признакам в зависимости от поставленной задачи анализа или синтеза. Наиболее всеобъемлющей классификацией будет классификация по видам тех элементов, которые входят в состав того или иного механизма. Так, мы различаем механизмы только с жесткими звеньями и механизмы, у которых кроме жестких звеньев имеются гидравлические, пневматические, электрические элементы и, наконец, электронные и фотоэлектронные элементы. Формирование методов анализа и синтеза механизмов с указанными элементами составляет одну из главных задач современной теории механизмов. В ближайшие годы предстоит совершенствовать структурный синтез кинематических цепей, в первую очередь пространственных цепей со многими степенями свободы. Будет осуществляться дальнейшая разработка теории пространственных механизмов. Методов кинематического и динамического их анализа и методов их синтеза. Должны быть продолжены работы по синтезу плоских механизмов. Основное внимание требуется уделить синтезу механизмов с переменными кинематическими и динамическими параметрами, изменяющейся структурой, с возможностью изменения в процессе движения механизмов основных кинематических характеристик и т. д. Задачи синтеза механизмов с гидравлическими, пневматическими, электрическими и другими элементами весьма сложны, так как кроме характеристик механической части этих механизмов при решении задач синтеза должны учитываться и специфические характеристики гидравлических, пневматических, электрических и других элементов, входящих в структуру механизмов.

Так как задачи синтеза механизмов чаще всего связаны с многокритериальными системами, их решение обычно сводится к поиску оптимальных вариантов. Это возможно, как правило, только с помощью ЭВМ и требует разработки соответствующих алгоритмов и программ.

Большие задачи стоят в области анализа и синтеза механизмов передач. Здесь в первую очередь надо отметить необходимость дальнейшего развития синтеза зубчатых зацеплений, особенно пространственных. Важно также последующее формирование теории и методов проектирования сложных зубчатых редукторов с планетарными и дифференциальными схемами. Быстро разрабатываются теория и методы синтеза волновых передач. Почти все отрасли промышленности нуждаются в надёжных механизмах с бесступенчатым изменением передаточных функций. Должна



получить развитие теория механизмов, осуществляющих движение с остановами, т. е. механизмов типа мальтийских крестов, звездчатых, храповых, рычажных и других механизмов. Немало еще нерешенных задач синтеза кулачковых механизмов, сложных зубчато-рычажных, механизмов с упругими и гибкими звеньями и пр. Важной задачей является создание механизмов для измерения различных физических параметров, контроля обрабатываемой продукции, выполнения различных задач управления и т. д. Здесь особо широкое применение смогут получить механизмы с пневматическими, гидравлическими, электрическими элементами, а в некоторых случаях и чисто механические системы.

Повышение энергетических, силовых и скоростных характеристик машин автоматического действия, высокие требования к их точности и надежности обуславливают развитие в ближайшие годы методов динамического исследования и расчета машин. Необходимо дальше разрабатывать методы изучения динамических режимов машин как в периоды установившихся, так и в периоды неустановившихся движений. Изучение неустановившихся режимов имеет большое значение для транспортных, грузоподъемных машин, вибромашин и т. д. Во многих случаях при составлении уравнений движения машин инерционные коэффициенты не постоянны, а являются функцией положения, скорости или времени. Это, например, имеет место при исследовании технологических машин с изменяемой массой обрабатываемого объекта: конвейеров, погрузочно-разгрузочных машин, полиграфических машин и т. д. Но в отдельных случаях в зависимости от требований технологического процесса не только масса, но и сама структура механизмов может быть переменной.

В связи с внедрением в промышленность автоматических систем типа роботов, манипуляторов, шагающих машин и т. п. оказывается необходимым совершенствование динамики механизмов со многими степенями свободы, методов приведения сил и масс в механизмах этого вида.

Важную роль в развитии динамики играет дальнейшая разработка проблем колебаний в машинах. Как уже говорилось, с одной стороны, это вопросы борьбы с вредными вибрациями путем создания виброустойчивых конструкций машин и механизмов, с другой — использование эффекта вибраций для выполнения различных технологических процессов и создание новых вибрационных двигателей и механизмов, обладающих тре-

буемыми кинематическими характеристиками. «Все в мире вибрирует» — это не просто фраза, а реальная действительность, с которой нам надо считаться и уметь извлекать выгоду. Широкое развитие должны получить методы балансировки роторов и уравнивание механизмов с учетом их конструктивного оформления, зазоров, смазки, упругости. Требуется создание специальных устройств типа виброгасителей, амортизаторов, демпферов и т. д. Важной социальной проблемой являются изучение влияния вибраций на организм человека и разработка средств его вибрационной защиты. Перспективным оказывается направление, связанное с использованием источников вибрации с малыми амплитудами и большими частотами для создания различных приборов, медицинского оборудования, движителей с вращательным и поступательным движением и т. д.

Акустическая динамика машин должна получить дальнейшее развитие в направлении решения важной социальной проблемы — изучения причин и источников шумовых эффектов в машинах и разработки задач динамики машин, связанных с полной или частичной локализацией шумов определенных уровней. Одновременно с этим надо продолжать исследования по использованию шумовых эффектов для технической диагностики машин.

Предстоит и дальше работать над улучшением экспериментальных методов изучения характеристик различных машин и механизмов. При этом особое значение приобретут экспериментальные исследования систем машин автоматического действия в условиях их производственной работы с автоматической регистрацией и обработкой полученной экспериментальной информации.

К машинам автоматического действия относится новый класс машин, получающий широкое применение в технике. Это роботы, автоматические манипуляторы, некоторые типы шагающих машин. Они позволяют осуществлять самые сложные движения исполнительных органов и тем самым автоматизировать широкий круг технологических операций. Особое значение эти машины и системы будут иметь в тех случаях, когда необходимо освободить человека от работы в тяжелых, вредных или опасных условиях, например, при высокой температуре, повышенной радиоактивности, наличии вредных газов и химических продуктов. С их помощью человек может быть освобожден от утомительных и монотонных операций на конвейерах, поточных машинах, при выполнении тяжелых погрузочно-разгрузочных работ.



Подобные автоматические машины и системы уже нашли и будут далее находить применение при проведении научных исследований в космосе, в глубинах и на дне океанов, под землей.

Рабочие органы этих машин, как правило, представляют собой сложные по структуре пространственные кинематические цепи со многими степенями свободы. Задача изучения механики роботов, манипуляторов, шагающих и других машин и систем тесно переплетается с задачами управления в самом широком понимании этих вопросов, т. е. кончая разработкой искусственного интеллекта для них. В первую очередь должны быть развиты работы по структурному, кинематическому и динамическому анализу и синтезу различных схем механизмов, роботов, манипуляторов, шагающих и других машин и систем. Должны быть решены задачи устойчивости движения рабочих органов, изучены колебательные процессы, возникающие в период их движения, рассмотрены задачи, связанные с оптимальными законами движения рабочих органов, разработаны алгоритмы движений этих органов, изучены области обслуживания. При решении задач механики требуется учитывать основные параметры приводов, их влияние на динамику управляемых ими механизмов. Проблема разработки приводов и систем управления роторами, манипуляторами, шагающими и другими машинами является одной из важнейших в создании машин подобного типа. При решении этих задач возникают вопросы создания систем с большой надежностью, оптимальными габаритами, малой инерционностью, обладающих широким диапазоном воспроизводимых скоростей и моментов. Необходимо дальнейшее развитие теории программного управления промышленными роботами, манипуляторами, шагающими и другими машинами с повышением свойств адаптации и самонастройки.

Промышленные роботы и манипуляторы, управляемые человеком-оператором или с помощью программного устройства, могут быть отнесены к роботам первого поколения. В настоящее время большие усилия должны быть направлены на создание роботов последующих поколений, имеющих «технические органы чувств», аналогичные осязанию, слуху, зрению, обонянию, либо воспринимающих неощутимую человеком информацию, например, в форме ультразвука, электромагнитных, тепловых полей и т. д. К роботам еще более высоких поколений будут относиться устройства, обладающие искусственным интеллектом. Для этого должны быть созданы методы

описания окружающего мира, формирования этого мира в памяти роботов, разработки специальных формализованных языков как средств управления роботами, их обучения и управления их поведением, к проблеме искусственного интеллекта для роботов тесно примыкает проблема взаимодействия робота со средой и человеком.

Решение перечисленных вопросов неразрывно связано с развитием вычислительной техники, методов математического моделирования как самих роботов, так и условий, в которых они функционируют, для того чтобы создавать оптимальные конструкции систем управления применительно к назначению создаваемых роботов. Все это возможно сделать только на базе общих и специализированных ЭВМ и других средств вычислительной техники.

Одна из важнейших проблем создания систем машин автоматического действия — проблема механики и управления шагающими машинами и подобными устройствами. Создание локомотивных устройств, передвигающихся с помощью конечностей, требует решения задач структурного, кинематического и динамического анализа и синтеза механизмов, выбора и проектирования движителей, разработки легких, малогабаритных и мощных приводов с высоким КПД и пр. К этой проблеме относятся и задачи разработки экзоскелетов, т. е. устройств для усиления силовых параметров человека, его выносливости и перемещения человека с поврежденным опорно-двигательным аппаратом.

Роботы и шагающие машины по своей структуре и функциональным характеристикам во многом копируют человека и животных. Поэтому очень важно развитие исследований по биомеханике и физиологии. Здесь мы имеем в виду изучение биомеханических характеристик опорно-двигательного аппарата человека, животных, насекомых и физиологических процессов, лежащих в основе управления двигательными процессами, получения слуховой, зрительной и других форм информации, а также изучение процессов пространственной ориентации и средств, обеспечивающих устойчивость движения живых существ.

Я попытался рассказать о будущем теории механизмов и машин в условиях бурной автоматизации технологических процессов и интеллектуального труда человека. В решении задач автоматизации важнейшая роль принадлежит теории механизмов и машин как научной базе машиностроения.

Развитие современной теории механизмов и

машин требует самого тесного сотрудничества ученых и практиков. Практика будет ставить перед теорией все новые и новые вопросы, а теория будет черпать в практике базу для своих научных исследований.

Заканчивая, хочу напомнить одно из высказывания П. Л. Чебышева: «Сближение теории с

практикой, — писал он в одном из своих мемуаров, — дает самые благотворные результаты и не одна только практика от этого выигрывает, сама наука развивается под влиянием ее, она открывает им новые предметы для исследования или новые стороны в предметах, давно известных».

УДК 621.431

## ДВИГАТЕЛИ ПРОФЕССОРА АЛЕКСЕЯ НЕСТОРОВИЧА ШЕЛЕСТА

*П. А. Шелест, канд. техн. наук (г. Фрязино)*

Всем известны такие изобретения XIX века, как пароход Фултона (США), паровоз инженера Стефенсона (Англия), двигатели Рудольфа Дизеля (Германия). Однако мало кто знает, что в XX веке в России были изобретены тепловоз и современная газовая турбина.



*Рис. 1. Профессор А.Н. Шелест в Вене, 1922 г.*

### 1. Двигатель с поршневым генератором сжатых газов

В 1913 г. будущий Заслуженный деятель науки и техники, лауреат Сталинской премии, доктор технических наук, профессор МВТУ Алексей Несторович Шелест (рис. 1), будучи студентом-дипломником Московского Императорского Технического Училища (ныне МГТУ им. Н.Э. Баумана), предложил новый принцип работы тепловых машин. В выданной ему привилегии № 28189 записано: «Сущность предполагаемого изобретения заключается в том, что двигатель внутреннего сгорания работает совместно с компрессором, но не связывается кинематически с колесами тепловоза, а свою энергию в виде горячего сжатого газа (не особенно высокой температуры) подает в газовый ресивер, откуда газы расходятся расширительной машиной».

На рис. 2 показана схема тепловоза системы

профессора А.Н. Шелеста. Для осуществления такого принципа работы машин может быть взят любой двигатель внутреннего сгорания, работающий на любом топливе и по любому циклу. Примем исполнение этого двигателя по четырехтактному циклу. Воздух засасывается из атмосферы в компрессор 2 и сжимается в нем до необходимого давления. Из компрессора сжатый воздух по трубопроводу 3 попадает в ресивер 4, откуда в период впуска через трубопровод 5 и клапан 6 подается в цилиндр 1 двигателя, где заполняет его полезный объем. При подходе поршня к нижней мертвой точке впускной клапан 6 закрывается, а при движении поршня вверх происходит сжатие воздуха в цилиндре. Около верхней мертвой точки через форсунку 7 подается топливо, которое от соприкосновения с горячим сжатым воздухом самовоспламеняется и сгорает. При движении поршня вниз происходит расширение продуктов сгорания. Около нижней мертвой точки открывается выпускной клапан 8 и газы по трубопроводу 9 поступают в ресивер 10, а оттуда к расширительной машине 11.

Тяговая характеристика такого тепловоза соответствует тяговой характеристике паровоза, т.е. близка к идеальной. Таким образом, в тепловозе с генератором сжатых газов сохраняются преимущества хорошей тяговой характеристики, и устраняется главный недостаток паровоза — низкий КПД.

В 1916 г. А.Н. Шелест получает деньги на строительство тепловоза от «Общества содействия научным исследованиям в области естествознания и техники» имени крупного мецената Х.С. Леденцова, но вскоре произошла революция и деньги пропали. В 1923 г. Совет Народных Комиссаров выделяет средства в иностранной валюте для постройки тепловоза системы А.Н. Шелеста за границей.

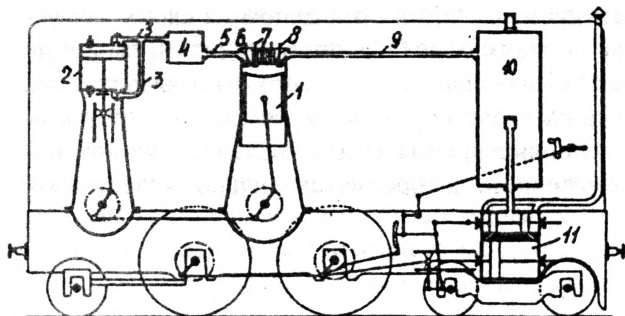


Рис. 2. Схема тепловоза профессора А. Н. Шелеста

Строительство этого тепловоза началось в Англии на заводе фирмы «Армстронг-Витворт» в г. Ньюкасл-апон-Таун. К 1926 г. силовую установку изготовили и испытали на стенде (рис. 3). По современной терминологии это была первая в мире комбинированная силовая установка с высоким наддувом, иными словами — двигатель профессора А.Н. Шелеста с поршневым генератором сжатых газов и расширительной машиной. Такое разделение имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с обычным двигателем внутреннего сгорания. Прежде всего генератор газов отделен от рабочей машины, приводящей в движение колеса локомотива, винт теплохода или вал насоса для перекачивания нефти или газа по магистральному трубопроводу. При этом расширительная машина может быть поршневого или турбинного типа. Отделение генератора сжатых газов от расширительной машины позволяет автоматически регулировать его простым изменением частоты вращения вала. Первые же испытания генератора сжатых газов в Англии подтвердили его работоспособность.

В мае 1927 г. произошел разрыв дипломатических отношений между СССР и Англией. С последними представителями профессор А.Н. Шелест выехал в Ленинград, а в трюме парохода вместе с изобретателем ехала его машина.

Между тем за границей продолжали работать над подобными двигателями. Практически двухтактный генератор сжатых газов был осуществлен в 1933 г. на заводе «Гота-Веркен» в г. Готтенбурге (Швеция): был построен мотовоз с генератором сжатых газов, работающим по двухтактному циклу. Силовая установка мотовоза состояла из двух цилиндров сгорания и одноцилиндрового компрессора двойного действия. Коленчатый вал был общим для двух агрегатов. Работа двухтактных двигателей полностью затрачивалась на привод компрессора. Вся масса продувочного воздуха пропусклась через продувочные окна цилиндров сгорания. Выпускные газы из

цилиндра сгорания направлялись к расширительной машине. Корпус компрессора был отлит заодно с корпусом цилиндров сгорания. Номинальное давление генерированных газов составляло 4,2 ат, а максимальное давление сгорания топлива — 60 ат. Продукты сгорания расширялись до давления, соответствующего давлению генерированных газов. Смесь продуктов сгорания и продувочного воздуха имела температуру около 500 °С, которая соответствовала производительности генератора сжатых газов 72,5 кг газа на 1 кг топлива. Одновременно были построены два локомотива с поршневой и турбинной расширительными машинами.

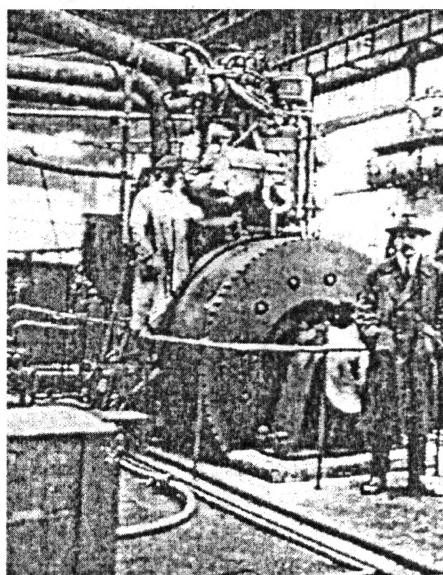


Рис. 3. Первый в мире поршневой генератор газов, изготовленный в Англии под руководством профессора А. Н. Шелеста

В 1939 г. был спроектирован механический генератор газов для замены паровой турбинной установки на минном заградителе мощностью 6500 л.с. Установка состояла из четырех шестицилиндровых генераторов газа с диаметром цилиндра сгорания 370 мм и ходом поршня 480 мм. Две турбины были соединены со своими гребными винтами при помощи редукторов. Мощность рабочей турбины 1300 л.с.

В 1955 г. на Шведских государственных железных дорогах были проведены приемные испытания тепловоза с генератором сжатых газов. Общая масса локомотива составляла 60-63 т, а максимальная нагрузка на ось 13-13,5 т при колесной формуле 1-3-1. Тяговое усилие при трогании равнялось 13500 кгс. Движение от газовой турбины, имевшей частоту вращения вала 12500 мин<sup>-1</sup>, передавалось ведущим колесам при помощи редук-

тора. Мощность рабочей турбины составляла 1300 л.с., а скорость движения достигала 90 км/ч.

После второй мировой войны центр производства генераторов сжатых газов переместился во Францию. Здесь на фирме «Рено-Сигма» талантливый конструктор Р.П. Пескара разработал свободнопоршневой генератор газов. Во Франции было изготовлено несколько тысяч таких силовых установок.

Генератор сжатых газов имеет ступенчатый поршень. Поршень меньшего диаметра образует камеру сгорания, а кольцевая полость между стенками цилиндра компрессора и поршнем цилиндра сгорания образует полость компрессора. Движение двух ступенчатых поршней происходит под действием сил давления газов. На рис. 4 показана схема такого генератора газов, в котором имеются два ступенчатых поршня 3, образующих камеру сгорания 2 переменного объема, две полости компрессора 6 и переменные объемы буферных цилиндров 7. Здесь буферные цилиндры выполняют роль кривошипно-шатунного механизма и маховика генератора. Процесс работы свободнопоршневого генератора газов осуществляется следующим образом. При установившемся режиме работы машины ступенчатые поршни совершают возвратно-поступательное движение, то сближаясь, то расходясь. В период сближения поршней в камере сгорания происходит сжатие воздуха. В момент расположения поршней около внутренней мертвой точки форсунки 1 распыляет жидкое топливо в горячий сжатый воздух. Топливо при этом самовоспламеняется и сгорает, а давление газов в камере сгорания увеличивается. Под действием давления газов ступенчатые поршни начинают расходиться, что соответствует прямому ходу поршней. При этом в полости компрессора 6 подается атмосферный воздух через впускные клапаны 5. В буферных цилиндрах 7 в это время происходит сжатие воздуха.

При максимальном расхождении поршней открываются сначала выпускные, а затем и впускные окна камеры сгорания. Газы из камеры сгорания попадают в ресивер 8, а затем в газовую турбину 9. Процесс в камере сгорания характеризуется индикаторной диаграммой 10. После открытия впускных окон сжатый воздух из продувочного ресивера проходит в камеру сгорания. Так как объем продувочного воздуха по сравнению с объемом камеры сгорания больше, то лишний воздух через выпускные окна устремляется в ресивер 8, где перемешивается с продуктами сгорания. При этом условии турбина 9 работает на

смеси воздуха с продуктами сгорания. Сжатие продувочного воздуха происходит в полостях компрессора 6.

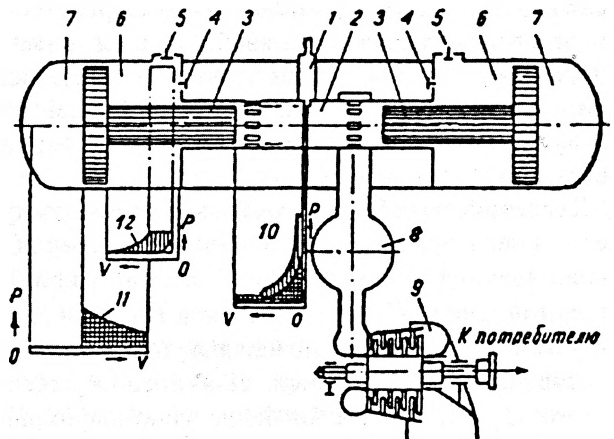


Рис. 4. Схема двигателя профессора А. Н. Шелеста со свободнопоршневым генератором сжатых газов

При расхождении поршней генератора газов давление воздуха в буферных цилиндрах 7 повышается; они накапливают энергию, определяемую индикаторной диаграммой 11. При достижении максимального расхождения поршни останавливаются давлением воздуха в буферных цилиндрах. В следующий момент давление воздуха в этих цилиндрах заставляет поршни начать движение к центру машины. Обратный ход поршней сопровождается расширением воздуха в буферных цилиндрах и сжатием воздуха в камере сгорания после закрытия выпускных окон, а также сжатием воздуха в полостях компрессора. При давлении воздуха, несколько большем давления в продувочном ресивере, открываются нагнетательные клапаны 4, и продувочный воздух нагнетается в ресивер. Процесс в компрессоре характеризуется индикаторной диаграммой 12. При сближении поршней форсунка 1 вновь подает топливо, и вышеописанный процесс повторяется. Таким образом, за прямой и обратный ходы поршней цикл работы машины полностью завершается.

Работа генератора сжатых газов со свободнодвижущимися поршнями характеризуется тремя уравнениями баланса:

- 1) при прямом ходе поршней работа цилиндров сгорания и компрессора равна работе буферных цилиндров и работе сил трения;
- 2) при обратном ходе поршней работа буферного цилиндра равна работе камеры сгорания, компрессора и сил трения;
- 3) работа компрессора за цикл равна работе ци-



линдра сгорания с учетом всех потерь.

Первые два уравнения справедливы для схемы генератора сжатых газов на рис. 4, а последнее условие пригодно для всех типов генераторов сжатых газов. Три уравнения баланса работы генератора сжатых газов со свободнодвижущимися поршнями позволяют решить все основные задачи, связанные с законом движения поршней, производительностью генератора газов и взаимодействием отдельных полостей.

Теоретически оба ступенчатых поршня движутся в генераторе газов совершенно синхронно. Однако разница в трении между стенками цилиндров и поршнями, а также разница давлений в одноименных полостях может нарушить синхронность движения поршней. Для предотвращения этого служит специальный шатунно-шарнирный механизм синхронизации, примененный на французском генераторе газов типа GS-34, который получил наибольшее распространение.

Генераторы сжатых газов типа GS-34 обеспечивают мощность газовой турбины в 1000 л.с. (736 кВт). В дальнейшем эти генераторы газов были форсированы по мощности в 1,5 раза за счет уменьшения коэффициента избытка воздуха с 2 до 1,45.

Широкая область применения генераторов сжатых газов связана прежде всего с их большим КПД. При этом высокий уровень давлений и температур внутри цилиндра сгорания позволяет употреблять все виды жидкого топлива, начиная от сырой нефти и кончая соляровым маслом. Во Франции были построены пять резервных электростанций. Две из них оборудованы генераторами сжатых газов со свободнодвижущимися поршнями (СПГТ), а три — газотурбинной силовой установкой (ГТУ).

Сравнение их характеристик показывает, что генераторы сжатых газов обеспечивают больший КПД, чем газотурбинная установка со сгоранием при постоянном давлении. Мало того, силовая установка с генератором газов позволяет работать турбине с меньшей температурой, чем газотурбинная установка, что обеспечивает ее большую долговечность. Следует заметить, что силовая установка в г. Сан-Дизье простейшая. Более сложные газотурбинные установки позволяют получать и больший КПД.

Тепловоз с двигателем профессора А. Н. Шелеста был построен во Франции фирмой «Рено-Сигма». Силовая установка тепловоза состояла из одного генератора газов типа GS-34 и газовой турбины. От трехступенчатой турбины вращение вала

передается через центральный редуктор и карданную передачу тележкам локомотива. Центральный редуктор имеет две ступени скорости и механизм реверса. Максимальная скорость движения тепловоза на первой скорости 71, а на второй — 125 км/ч. Кривые силы тяги тепловоза с генератором газов проходят выше, чем у тепловоза той же мощности с электрической передачей [1].

В 1961 г. был построен лесовоз «Павлин Виноградов» с генераторами газов со свободнодвижущимися поршнями и газовой турбиной. Он представляет собой однопалубное одновинтовое судно с расположением мостика, машинного помещения и жилища команды в корме. Лесовоз предназначался для перевозки зерна и леса и имел неограниченный район плавания. Много лет «Павлин Виноградов» бороздил моря и океаны под флагом СССР.

## 2. Двигатели с турбинным генератором газа

В 1920-1922 гг. профессор А. Н. Шелест находился в заграничной командировке в составе Российской железнодорожной миссии. В это время он продолжал заниматься своими изобретениями и научными трудами. В Швейцарии 11 марта 1921 г. А. Н. Шелест подал заявку на новое изобретение, а 16 июня 1922 г. ему выдали Главный патент на газовую турбину № 95277. Патентная формула звучала следующим образом: «1. Газовая турбина, отличающаяся тем, что компрессор сжимает воздух и направляет его в камеру сгорания, а возникающие в ней продукты сгорания применяются для привода компрессора и рабочей машины».

В патентной формуле существует и пункт об автоматическом регулировании газотурбинной установки: «Газовая турбина по пункту 1, отличающаяся тем, что автоматическое регулирование силовой установки происходит за счет изменения частоты вращения вала генератора сжатых газов, что обеспечивается регулятором давления, установленном в районе между генератором сжатых газов и рабочей расширительной машиной» [2].

Главным в этом изобретении было отделение турбины, вращающей вал компрессора, от рабочей турбины, приводящей в движение ротор электрического генератора, винт вертолета, колеса локомотива и т. д. До сих пор все практические решения газовых турбин опираются на этот патент профессора А. Н. Шелеста и отличаются только конструктивными особенностями. Изобретение давало двойной выигрыш: с одной стороны, увеличивался КПД, с другой — облегча-

лась работа рабочей турбины, лопатки которой можно было изготовить из материала менее стойкого к высоким температурам.

Проанализируем, чем же отличается новое изобретение профессора А.Н. Шелеста (рис. 5). Компрессор 1, камера сгорания 2 и турбина 3 образуют генератор сжатых газов для рабочей турбины 4. В этом несомненное сходство с патентом, который А.Н. Шелест получил еще в 1913 г. Отличие состоит лишь в том, что генератор газов на рис. 2 сформирован из поршневых машин, а газотурбинная установка, схема которой представлена на рис. 5, для сжатия, сгорания и расширения имеет самостоятельные агрегаты.

В книге «Проблемы экономичных локомотивов», изданной в 1923 г., профессор А. Н. Шелест описывает преимущества своего газотурбинного двигателя следующим образом (см. рис. 5):

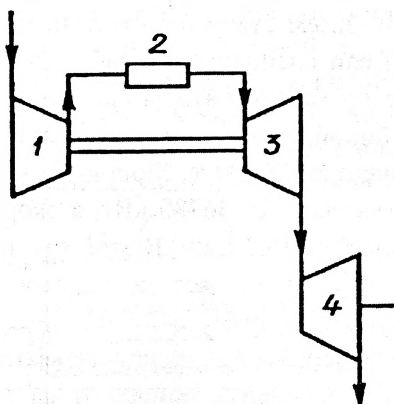


Рис. 5. Схема двигателя профессора А.Н. Шелеста с газотурбинным генератором сжатых газов

«Преимущества этих генераторов заключаются в том, что газы из камеры сгорания 2 охлаждаются в процессе расширения в турбине 3, служащей для сжатия воздуха в компрессоре 1. Благодаря этому к турбине 4 подаются газы примерно того же давления и той же температуры, какие имеет перегретый пар. Следовательно, охлаждение газов получилось полезным, и весь процесс по экономичности равен процессу газовой турбины...»

Преимущества этого генератора газов следующие: высокая экономичность; простота устройства и потому его низкая стоимость; возможность использования любой рабочей машины, работающей на перегретом паре (для этого нужно только заменить паровые котлы генераторами сжатых газов); возможность надежной работы на всяком порошкообразном топливе, если вопрос об очищении порошкообразного топлива от зольности получит практическое разрешение.

В той же книге далее говорится: «Все существующие локомотивы могут быть переделаны без больших затрат при каждом капитальном ремонте, стоит только снять котел и поставить на раму локомотива генератор сжатых газов, и локомотив готов к работе. Непроизводительно работать с паром там, где можно применить сгоревшие и охлажденные газы. Тепловую энергию топлива, подаренную нам природой, надо расходовать как можно экономичней. Запасы топлива не вечны, и нужно продлить их применение для наших детей на возможно долгие годы».

Профессор А.Н. Шелест своим открытием опередил время. Только на пороге XXI века его изобретение стало широко применяться в авиации, на морском и речном флоте, танках, резервных электростанциях, нефте- и газоперекачивающих станциях и на многих других объектах.

Сегодня двигатели профессора А.Н. Шелеста получили распространение и в авиации. На рис. 6, а представлен такой двигатель для турбовинтового самолета. Здесь воздух поступает в компрессор 1 из атмосферы, сжимается в нем до нужного давления и подается в камеру сгорания 2, куда специальной форсункой впрыскивается топливо. Из камеры продукты сгорания попадают в турбину 3, вращающую вал компрессора. Таким образом, компрессор 1, камера сгорания 2 и турбина 3 образуют генератор сжатых газов, которые расширяются в рабочей турбине 4, вращающей вал винта 5. Особенностью конструкции является то, что вал от турбины 4 проходит внутри трубы, соединяющей компрессор 1 с турбиной 3. Аналогично устроен газотурбинный двигатель, устанавливаемый на вертолетах.

Несколько отличается конструкция рабочей расширительной машины двигателя профессора А.Н. Шелеста для турбореактивных самолетов. На рис. 6, б показана схема такого двигателя. Здесь генератор газов образован по обычной схеме: компрессор 1 — камера сгорания 2 — турбина 3 для привода компрессора. Отличие заключается в рабочей расширительной машине, которая в этом случае выродилась в сопло 4, где сжатые газы расширяются до атмосферного давления и разгоняются при этом до больших скоростей. Реакция этой струи толкает самолет вперед. Такое решение силы тяги аэроплана устраняет основной недостаток воздушного винта самолета — падение силы тяги при увеличении скорости полета. Турбореактивный двигатель, наоборот, увеличивает силу тяги по мере роста скорости полета.



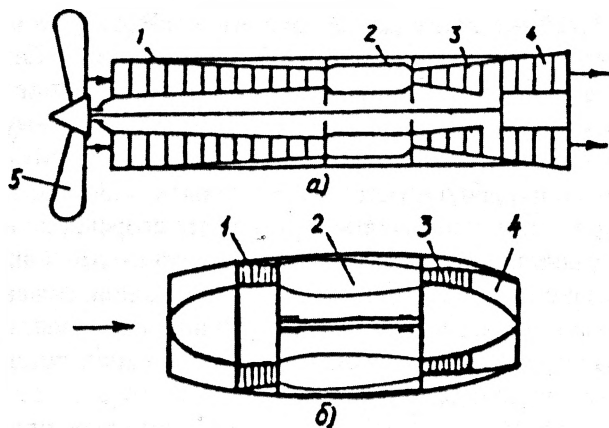


Рис. 6. Схемы газотурбинных двигателей профессора А.Н. Шелеста в авиации

На газоперекачивающих станциях используют газотурбинные установки, которые приводят во вращение вал компрессора, сжимающего транспортируемый газ до давления 7,5 МПа. Схема такой перекачивающей станции с двигателем профессора А. Н. Шелеста показана на рис. 7, а. Здесь 1, 2, 3 — генератор сжатых газов, 4 — рабочая турбина и 5 — компрессор, сжимающий газ для транспортировки его по трубопроводу.

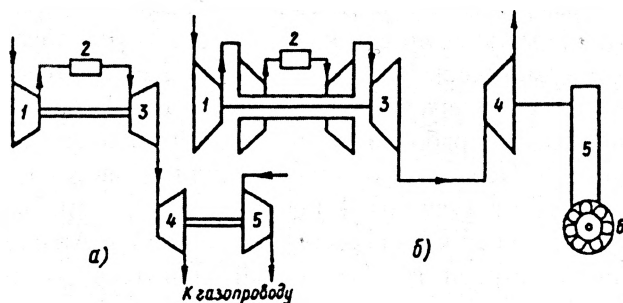


Рис. 7. Схема силовой установки газоперекачивающей станции и танкового двигателя

В последние годы на отечественных танках также стали применять газотурбинные установки. До этого использовали только двигатель внутреннего сгорания с воспламенением от сжатия. Схема танковой газотурбинной установки изображена на рис. 7, б. Здесь 1 — центробежный двухступенчатый компрессор, 2 — камера сгорания, 3 — двухступенчатая турбина генератора сжатых газов, 4 — рабочая турбина, 5 — понижающий редуктор, 6 — звездочка, приводящая в движение ленту траков танка.

Воздух из атмосферы поступает в первую ступень центробежного компрессора, сжимается в ней и подается во вторую ступень центробежного

компрессора, а оттуда направляется в камеру сгорания 2, откуда продукты сгорания поступают в первую ступень турбины 3, а после расширения в ней попадают во вторую ступень той же турбины. Особенностью конструкции генератора газов в данном случае является то, что первая ступень центробежного компрессора 1 приводится во вращение валом второй ступени турбины 3, а вторая ступень компрессора 1 — валом первой ступени турбины 3. С таким газотурбинным двигателем расход топлива на 100 км пробега существенно ниже, чем у аналогичного по мощности танка с поршневым двигателем внутреннего сгорания.

Первоначально морские суда на подводных крыльях типа «Тайфун» оборудовались двумя газотурбинными двигателями авиационного типа по 1280 кВт каждый, от которых вращались гребные винты. Затем стали изготавливать газотурбинные двигатели специально корабельного типа. В настоящее время генераторы сжатых газов с рабочей турбиной установлены на контейнеровозах водоизмещением 36000 т. Мощность их силовой установки составляет 36780 кВт, а скорость движения достигает 46,2 км/ч. В этой газотурбинной установке применены все достижения отечественной науки и техники.

Широкое применение нашли генераторы сжатых газов с рабочей турбиной и на резервных электростанциях. Основным качеством, которым должны обладать резервные электростанции, является быстрый запуск газотурбинного двигателя. Здесь особенно хорошо проявляется достоинство изобретения профессора А. Н. Шелеста, который разделил всю силовую установку на две части: генератор сжатых газов и рабочую турбину, приводящую, в данном случае, во вращение ротор электрического генератора. Тем самым удалось уменьшить почти вдвое момент инерции ротора генератора сжатых газов, который запускается первоначально. Для этого служит специальный электростартер, который раскручивает ротор компрессора и соединенную с ним газовую турбину до тех пор, пока из компрессора не начнет поступать сжатый воздух нужного давления. При этом в камеру сгорания начинается подвод топлива, которое первоначально зажигается при помощи специального электрозажигания. Турбина начинает работать, а стартер и электрозажигаю-



шее устройство выключаются. На все это затрачивается около 100 с, после чего на сжатом газе можно запускать и рабочую турбину, приводящую в движение генератор электрического тока.

Однако до сих пор газовая турбина не получила применения на тепловозах. Эффективная работа газотурбинных двигателей в авиации показывает, что их использование на локомотивах является вопросом времени. Схема тепловоза с двигателем профессора А. Н. Шелеста представлена на рис. 8. Сжатый воздух из компрессора 1 попадает в камеру сгорания 2, куда подается форсункой жидкое или газообразное топливо. Из камеры сгорания газы перемещаются в турбину 3, служащую для привода компрессора 1. После расширения газов в турбине 3 они попадают в рабочую турбину 4, где расширяются до атмосферного давления. Отработавшие газы выбрасываются в атмосферу через трубу 5. При этом правый вал турбины 4 через двухскоростной редуктор 6 с помощью карданной передачи приводит во вращение колеса одной тележки локомотива, а левый вал — другой. Баллон 7, расположенный между двумя тележками, служит для хранения топлива.

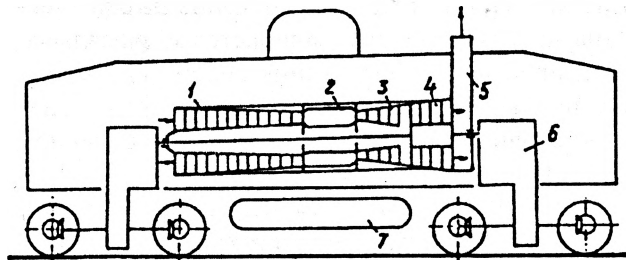


Рис. 8. Схема тепловоза с двигателем профессора А.Н. Шелеста

Преимущества такого газотурбинного двигателя заключаются, прежде всего, в непрерывном горении топлива в камере сгорания 2, что обеспечивает гораздо меньшую токсичность выбросов по сравнению с поршневыми двигателями. Другими словами, при одинаковой мощности газотурбинный двигатель в экологическом отношении более чистый, чем поршневой. Еще больший эффект достигается при переходе с жидкого на газообразное топливо, что позволяет уменьшить вредные выбросы в атмосферу и сделать этот показатель ниже европейского стандарта, введенно-

го в действие в 1999 г. Для хранения сжиженного природного газа под давлением 25 МПа предусмотрен баллон 7. В камеру сгорания 2 газ будет подаваться в газообразном состоянии под давлением 8 МПа, для чего предусмотрен специальный редуктор давления [3].

### 3. Коэффициент полезного действия двигателей профессора А.Н. Шелеста

В двигателях профессора А.Н. Шелеста газообразное рабочее тело подготавливается вне рабочей расширительной машины, приводящей в движение потребитель энергии. Это обстоятельство вызывает некоторые особенности при определении КПД подобных двигателей.

КПД локомотива со свободнотурбинными поршнями генератора сжатых газов составляет 41 %, что значительно превышает КПД современных тепловозов с электрической передачей (~30 %). При современных ценах на топливо преимущества от перевода железнодорожного транспорта на тепловозы с двигателем профессора А.Н. Шелеста, более чем очевидны [4].

#### Заключение

Во всех странах мира двигатели с генераторами сжатых газов считаются безмянными. Надо восстановить историческую справедливость и называть их «Двигатели профессора А. Н. Шелеста». Россия должна быть особенно заинтересована в этом, ибо изобретателем этих силовых установок был ее гражданин.

#### Литература

1. Шелест А. Н. Механические генераторы газов для транспорта и промышленности // Труды МВТУ. Выпуск 29. М.: Машгиз. 1954. 246 с.
2. Schelest A. Hauptpatent «Gaskraftmaschine» Patentschrift n 95277. Feroflentlicht am 16 Juni 1922., Schweizerische Eidgenossenschaft fur Geistiges Eigentum.
3. Шелест П. А. Алексей Несторович Шелест изобретатель газовых турбин // Машиностроитель. 2000. № 4.
4. Шелест П. А. О фундаментальных открытиях, сделанных в России // Техника машиностроения. 2000. № 6; 2001. № 1 и 3.

«Вестник машиностроения», № 7, 2002 г.

*Сначала неизбежно идут: мысль, фантазия, сказка. За ними шествует научный расчет, и уже, в конце концов, исполнение венчает мысль.*

*К.Э. Циолковский*



## О ВЛИЯНИИ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИВОДА НА ДИНАМИКУ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЦЕПЛЕНИЕМ

*Ю.М. Захарик, к.т.н.*

На работоспособность систем автоматического управления агрегатами и узлами автомобиля решающее влияние оказывает инерционность их элементов: электронного устройства управления и исполнительного механизма.

В общем виде управляющее воздействие формируется электронным блоком на основе сигналов датчиков информационной системы, преобразованных с помощью аналого-цифрового преобразователя и преобразователя частотных сигналов. Усиленное управляющее воздействие в зависимости от характера изменения входного сигнала подается на обмотку электромагнитного клапана выпуска или выпуска в виде прямоугольного импульса. Регулирование давления в рабочей полости исполнительного цилиндра осуществляется посредством повторения циклов включения-выключения электромагнитных клапанов выпуска и выпуска в соответствии с поступающими на их обмотку управляющими воздействиями. При поэтапном преобразовании управляющего воздействия в каждом блоке функциональной схемы происходит запаздывание выходного сигнала по отношению к входному. Величины запаздываний определяют инерционность электронного устройства управления.

Инерционность электронного устройства управления обусловлена не только запаздыванием формирования управляющего воздействия в блоках функциональной схемы, но и запаздыванием, вызванным работой микропроцессора. Так, в пошаговом режиме для вычисления управляющего воздействия с помощью микропроцессора должен быть выполнен ряд операций программы управления. Следовательно, при функционировании управляющего элемента возникает промежуток времени от считывания информации с датчиков до выдачи управляющего воздействия. Данный промежуток времени определяет запаздывание электронного устройства управления при работе микропроцессора.

Механизм возникновения запаздывания в исполнительном устройстве при работе электромагнитных клапанов, представляющий практический интерес для исследователя и конструктора, следующий.

При подаче команды включения на электромагнитный клапан в виде электрического импульса напряжения, сила тока в обмотке электромагнита постепенно нарастает до тех пор, пока не произойдет отрыв штока от седла электромагнитного клапана. Далее с некоторым запаздыванием начинается движение штока электромагнитного клапана при одновременном падении силы тока в обмотке до момента перемещения штока в конечное положение. Затем сила тока в обмотке электромагнитного клапана вновь возрастает до определенного постоянного значения.

При подаче команды выключения на электромагнитный клапан в момент времени, когда он становится обесточенным в связи с возникновением противо ЭДС, ток в обмотке электромагнита не исчезает мгновенно. Движение штока электромагнитного клапана начинается с запаздыванием лишь после достижения силой тока значения, при котором усилия электромагнита будет недостаточно для удержания штока в конечном положении.

Анализ 90 осциллограмм переходных процессов, полученных при высокой скорости записи, показывает четкое наличие величины запаздывания  $\Delta t_1$  при включении электромагнитных клапанов и величины запаздывания  $\Delta t_2$  при выключении. Причем, максимальные отклонения этих величин составляют  $\sigma_{\Delta t_1} = 14,8 \%$  и  $\sigma_{\Delta t_2} = 18,2 \%$ . При использовании в электропневмоприводе клапана типа АТЭ-3, рассматриваемые запаздывания на включение и выключение соответственно равны  $\Delta t_1 = 0,005$  с и  $\Delta t_2 = 0,046$  с и в основном зависят от параметров и конструкции клапанов (типа электромагнита, активного и индуктивного сопротивлений обмотки, жесткости возвратной пружины), применения форсирующих режимов работы.

Анализ осциллограмм изменения силы тока, напряжения обмотки электромагнитного клапана, перемещения его штока, давления во время переходного процесса, вызванного подачей электрического импульса на электромагнитную часть клапана, показывает, что для целей исследования

и проектирования систем управления агрегатами и узлами автомобилей можно принять скачкообразное перемещение штока на максимальный рабочий ход  $h_{max}$  через временной интервал  $\Delta t_1$  после подачи управляющего воздействия и скачкообразное перемещение штока в начальное положение через интервал  $\Delta t_2$  после снятия управляющего воздействия.

Такой подход позволяет комплексно учесть запаздывание электронного устройства управления и исполнительного механизма сцепления. Допускается при расчетах принимать мгновенное изменение напряжения электронными ключами в момент времени  $t_0$  при подаче на обмотку электромагнитного клапана прямоугольного импульса, который может быть описан математическим выражением

$$U = \begin{cases} 0 & ; \text{ при } 0 < t < t_0 \text{ и } t > t_0 + T_{и} \\ U_{п} & ; \text{ при } t_0 \leq t \leq t_0 + T_{и} \end{cases}$$

где  $T_{и}$  – длительность импульса;  $U_{п}$  – бортовое напряжение автомобиля.

Закон открытия впускного и выпускного клапанов с учетом указанных допущений в этом случае примет вид:

$$h(t) = \begin{cases} 0 & ; \text{ при } t_0 < t < \Delta t_1 + t_0 \\ h_{max} & ; \text{ при } t \geq \Delta t_1 + t_0 \end{cases}$$

$$h(t) = \begin{cases} h_{max} & ; \text{ при } \Delta t_1 + t_0 \leq t \leq T_{и} + \Delta t_2 + t_0 \\ 0 & ; \text{ при } t > T_{и} + \Delta t_2 + t_0 \end{cases}$$

Уравнения соответствуют процессам включения (открытое состояние) и выключения (закрытое состояние) клапанов соответственно.

Типовые осциллограммы переходного процесса реакции электропневмопривода в фазе наполнения и опорожнения на входное воздействие  $U$  представлены, соответственно, на рис. 1 и 2. Совокупность таких входных воздействий, отличающихся лишь длительностью импульса, представляет собой управляющее воздействие электронного блока. Теоретическое изучение особенностей реакции электропневматического привода представляет интерес с точки зрения получения полной информации о работе привода, определения путей повышения качества управления исполнительным механизмом. Недооценка влияния инерционности электромагнитных клапанов может привести к ухудшению переходных процессов в агрегатах автомобиля, а также при определенных условиях к потере функциональной работоспособности систем управления.

В исходном состоянии исполнительного меха-

низма давление  $P$  в рабочей полости силового цилиндра равно давлению окружающей среды либо промежуточному значению (рис. 1). Началом фазы наполнения считается момент времени  $t_0$ , когда происходит отрыв штока от седла клапана впуска. Заканчивается фаза наполнения в момент времени  $t_1$ , когда шток клапана устанавливается в исходное положение. Запаздывание начала перемещения штока по отношению к моменту подачи единичного импульса составляет  $\Delta t_1 = 0,005$  с, запаздывание срабатывания клапана после снятия ступенчатого воздействия -  $\Delta t_2 = 0,015$  с.

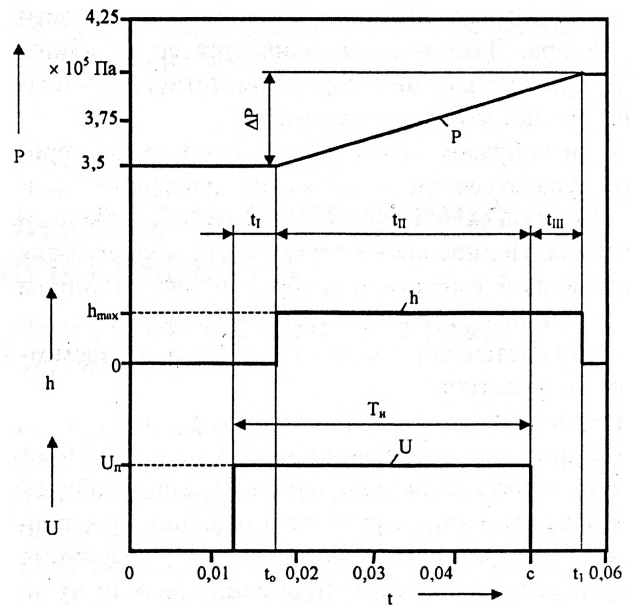


Рис. 1. Реакция электропневмопривода на единичное возмущение в процессе выключения сцепления

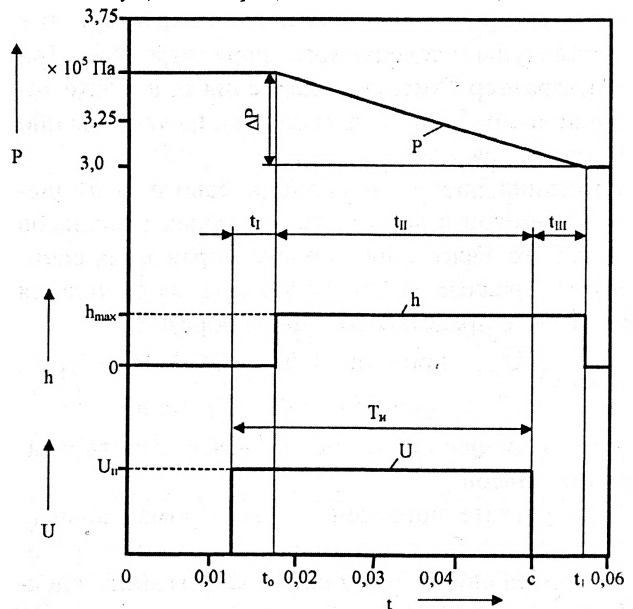


Рис. 2. Реакция электропневмопривода на единичное возмущение в процессе включения сцепления

Переходной процесс в электропневмоприводе сцепления для данного режима состоит из трех участков, характеризующихся временными интервалами:

$t_I$  – подача электрического сигнала на обмотку электромагнитного клапана. Здесь не наблюдается изменения давления  $P$  из-за инерционности электромагнитного клапана;

$t_{II}$  – начало отрыва штока от седла клапана из исходного положения. На этом участке осуществляется наполнение рабочей полости исполнительного цилиндра;

$t_{III}$  – продолжение наполнения рабочей полости цилиндра. Давление увеличивается до величины  $P_{III}$ , причем давление  $P_{III}$  соответствует окончанию процесса регулирования.

Таким образом, длительность  $t_{II} + t_{III}$  характеризует срабатывание клапана по давлению, длительность  $t_I$  определяет зону нечувствительности клапана. Полное время переходного процесса для переменной емкости исполнительного цилиндра за единичный цикл включения-выключения клапана представляет собой сумму времен рассмотренных участков:

$$t = t_I + t_{II} + t_{III}$$

Реакция электропневмопривода на единичное входное воздействие при опорожнении рабочей полости цилиндра аналогична реакции электропневмопривода при наполнении. В результате входных возмущений в виде единичных импульсов различной длительности  $T_{и} = 0,010 - 0,080$  с в рабочем диапазоне давлений  $P = 0,1 - 0,6$  МПа происходит изменение временных характеристик и амплитуды исследуемого параметра  $\Delta P$ . При этом характер изменения давления  $P$ , а также соотношение рабочих участков  $t_I$ ,  $t_{II}$ ,  $t_{III}$  качественно не изменяется.

Имитация внешнего периодического возмущения на привод в виде прямоугольных импульсов при работе электронного блока управления сцеплением в режиме плавного включения сцепления может быть представлена таким образом:

$$U(t) = \begin{cases} U_{II}; & \text{при } (n-1)/f < t \leq (n-1)/f + T_{и} \\ 0; & \text{при } (n-1)/f + T_{и} < t \leq n/f \end{cases}$$

где  $n$  – заданное целое число;  $f$  – частота следования импульсов.

В результате проведенных экспериментальных исследований было установлено наличие пороговой длительности импульса срабатывания электромагнитного клапана  $t_{n1}$  при его включении и  $t_{n2}$  при выключении в диапазоне рабочих частот  $f$ . В случае, если длительность импульсов  $T_{и}$ , воз-

никающих при работе привода в режиме управления меньше либо равна пороговой длительности импульса  $t_{n1}$ , давление в рабочей полости цилиндра сцепления не изменяется (рис. 3, а). Это объясняется тем, что за данный интервал времени

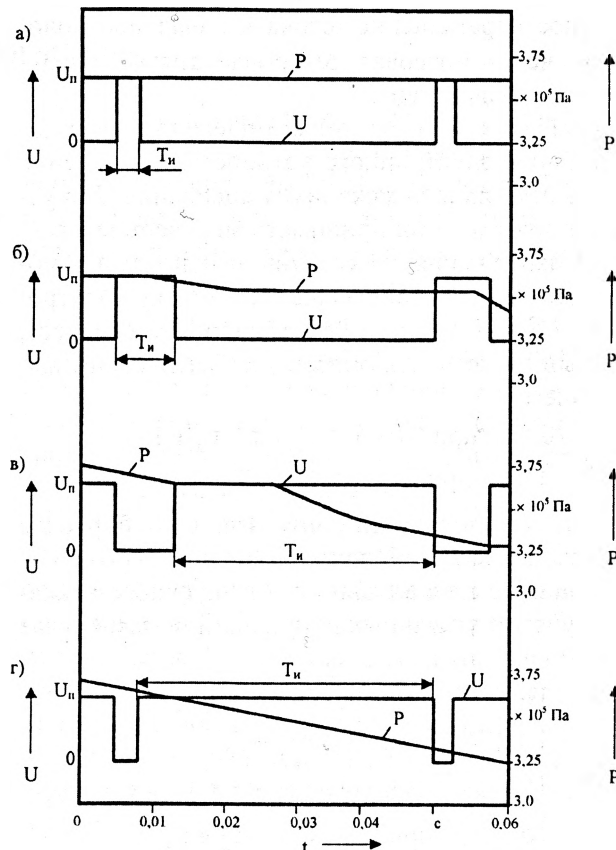


Рис. 3. Диаграмма работы электропневмопривода сцепления при периодическом электрическом воздействии на электромагнитный клапан выпуска

$t_{n1}$  после подачи команды на электропневмоклапан в виде электрического импульса напряжения из-за инерционного роста силы тока в обмотке клапана величина активной электромагнитной силы к моменту окончания импульса не превышает сил сопротивления, действующих на шток, так как сила тока в обмотке электромагнитного клапана не превышает значения, при котором шток начинает отрываться от седла. Следовательно, клапан остается в закрытом положении и начинается отрыв штока от седла клапана только при выполнении условия  $T_{и} > t_{n1}$  (рис. 3, б). Очевидно, данное условие должно быть справедливо не только для длительности импульсов  $T_{и}$ , но и для длительности пауз  $T_{п} = 1/f - T_{и}$ . В случае если  $T_{п} \leq t_{n2}$ , длительность паузы настолько мала, что за данный промежуток времени сила тока в обмотке клапана не успевает снизиться до значения, при котором активная электромагнитная си-

ла не превышает силы сопротивления и усилия электромагнита еще достаточно для удержания клапана в открытом положении. Шток клапана остается неподвижным в конечном положении (клапан открыт), продолжается изменение давления в рабочей полости цилиндра (рис. 3, г). При выполнении условия  $T_n > t_{n2}$ , шток клапана устанавливается на седло и электромагнитный клапан выключается (рис. 3, в).

Процессы, происходящие при периодическом входном воздействии для фазы наполнения аналогичны рассмотренным.

Рассмотренное условие необходимо учитывать при разработке алгоритма управления, когда длительность управляющего воздействия  $T_n$  в некоторые моменты времени может быть недопустима мала для срабатывания клапанов.

Кроме того, в процессе работы электропневматического привода сцепления происходит изменение рабочей частоты  $f$  срабатывания электромагнитных клапанов впуска и выпуска в зависимости от характера изменения входного воздействия. Следовательно, необходимо учитывать возможность реализации рабочей частоты  $f$  электромагнитными клапанами. С учетом динамических процессов в электромагнитной части клапана, условие устойчивой работы клапанов выглядит таким образом:

$$f < f_{\max} = 1/(\Delta t_1 + \Delta t_2),$$

где  $f_{\max}$  – максимальная частота, реализованная электромагнитными клапанами.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

*Захарик А.М., к.т.н., Гологуш А.А., Захарик Ал.М., к.т.н., Захарик Ю.М., к.т.н., Мерников Г.Д., МАЗ*

Наиболее эффективным подтверждением правильности построения динамической модели является эксперимент.

Целью проведения данного эксперимента является подтверждение правильности построения компьютерной модели трансмиссии автобуса МАЗ-110 путем сравнения АЧХ, полученных теоретически и экспериментально, определения резонансных зон и соответствующих им коэффициентов динамичности.

Указанные задачи решались при дорожных испытаниях, несмотря на то, что последние не позволяют в полной мере исследовать все процессы, происходящие при передаче крутящего момента в исследуемом объекте.

На рис. 1 показана схема ведущего моста и место установки токосъемного узла:

- 1 — центральный редуктор;
- 2 и 4 — сателлиты бортового редуктора;
- 3 — ведущая шестерня бортового редуктора;
- 5 — ведомая шестерня;
- 6 — ведущее колесо автобуса;
- 3' — 6' — элементы, относящиеся к правому бортовому редуктору.
- 7 — малая полуось
- 8 — большая полуось
- 9 — блок токосъемников

Схема информационно-измерительной систе-

мы, применяемая при испытаниях, показана на рис. 2, где обозначены: Д – датчики, ДУ – дифференциальный усилитель, два из 4-х каскадов которого предназначены для увеличения входного сопротивления устройства, 3-й является инвертирующим, а 4-й – суммирующим усилительным каскадом. Они служат для подавления фазной помехи.

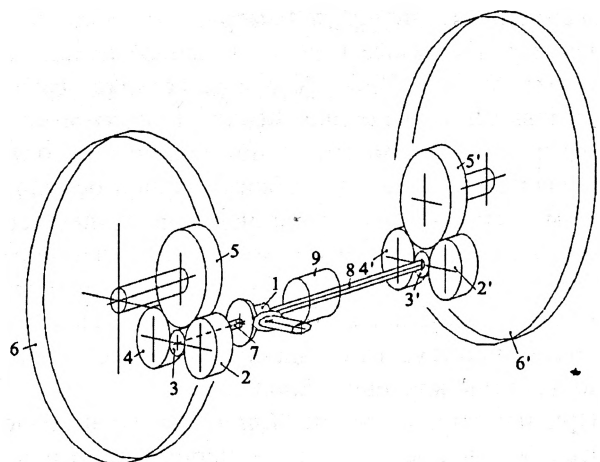


Рис. 1. Схема ведущего моста городского автобуса

Нормирующий усилитель согласовывает входные источники сигналов по напряжению и сопротивлению.

Канал УН является однокаскадным усилителем,

в котором для получения стабильных и точных коэффициентов усиления в качестве сопротивления в цепи обратной связи используется резисторная матрица R-2R.

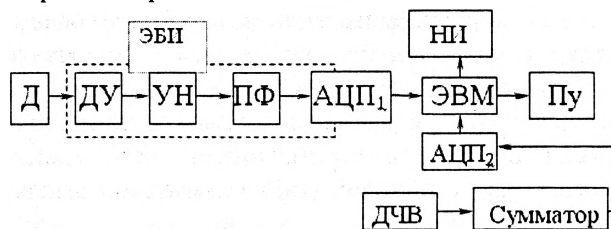


Рис. 2. Схема взаимодействия испытательного оборудования

Модуль полосовых фильтров (ПФ) содержит включенные последовательные RC-фильтры нижних и верхних частот, собранные на интегральных отрицательных усилителях.

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП<sub>1</sub>) служит для преобразования аналогового сигнала в цифровой код и выполнен на базе интегральных микросхем цифро-аналогового преобразователя (ЦАП), регистра последовательного приближения, компаратора и операционных усилителей.

ЭВМ – портативный IBM 486. Осуществляет опрос 2-х АЦП и размещает данные ОЗУ, а также сохраняет их на внешних носителях.

Программа, написанная по алгоритму, приведенному на рис. 3, позволяет выполнять основные функции по взаимосвязи частей испытательного оборудования: считывать данные с датчиков, сохранять их на диске, выводить на экран в графическом и текстовых режимах, определять максимальные значения измеряемых величин и проч. Предлагаемые варианты выбора находятся в блоке № 5. В блоке № 6 осуществляет выбор пользователем основных режимов работы программы. В зависимости от пожеланий оператора производится переход в режим записи осциллограмм (основной), сохранение данных на диске (блок 7); вывод на экран (блок 8), завершение работы программы (блок 23, 24). При выборе режима записи осциллограммы (переход на блок 9) в блоке 10 происходит ожидание начала испытания (по нажатию клавиши «Enter»).

При нажатии клавиши “Enter” на экран выводится сообщение о начале эксперимента, и начинается запись осциллограммы в ОЗУ (блоки 13-19).

В блоке 14 происходит осуществляется прерывание от таймера, по которому в блоках 17 и 18 будет происходить считывание сигналов от АЦП<sub>1</sub> и АЦП<sub>2</sub>. В блоке 19 происходит накопление

времени в программируемых системных часах и запись его в ОЗУ.

В блоке 23 и 24 происходит возвращение векторов прерывания, вывод на экран результатов работы программы и ее завершение.

### Проведение испытаний.

*Подготовка испытаний* заключалась в тарировке тензометрической аппаратуры, создании рабочего измерительного места, подготовке ведущего моста к испытаниям.

Тарировка тензометрической аппаратуры заключалась в определении чувствительности измерительного канала. Для этого на испытуемую (снятую с моста автобуса) полуось наклеивались тензодатчики и на стенде создавался статический момент, величина которого менялась от 0 до 1600 Нм с шагом 400 Нм. Значения момента выставлялись по показаниям весового устройства и вводились в компьютер (M<sub>i</sub>) с клавиатуры, который также считывал показания ЭБИ (R<sub>i</sub>) – электронного блока испытаний. Аналогичные действия производились и при разгрузке полуоси.

Если принимать, что между показаниями ЭБИ и реальным моментом нагружения существует линейная зависимость, то можно записать:

$$M_i = \mu_M R_i$$

Опытные данные описываются нормальным уравнением

$$\sum_{i=1}^n (M_i R_i) - \mu_M \sum_{i=1}^n R_i^2 = 0$$

где n- количество ступеней нагружения .

Для контроля чувствительности измерительного канала применялась электрическая калибровка тензометрической аппаратуры. Для этого была применена схема, в которой применяется тарировочный резистор R<sub>T</sub>, искусственно разбалансирующий мост (рис. 4). Данный резистор позволяет компенсировать изменения чувствительности в процессе проведения замеров.

*Рабочее измерительное место* включает место оператора, расположенное на пассажирском сидении, рабочий столик с коммутацией ЭБИ, клеммы источника питания, штепсельных соединений с экранированными проводами от датчиков измерительной аппаратуры, ЭВМ.

*Подготовка ведущего моста к испытаниям* заключалась в установке токосъемного устройства в условиях ограниченного пространства картера моста. В связи с этим была изготовлена конструкция, которая позволяла производить все регулировки на собранном агрегате, компенсировать

возможные колебания исследуемой детали в радиальном направлении, не оказывать заметного

влияния на массу и другие параметры исследуемых систем, надежно работать в масляной среде.

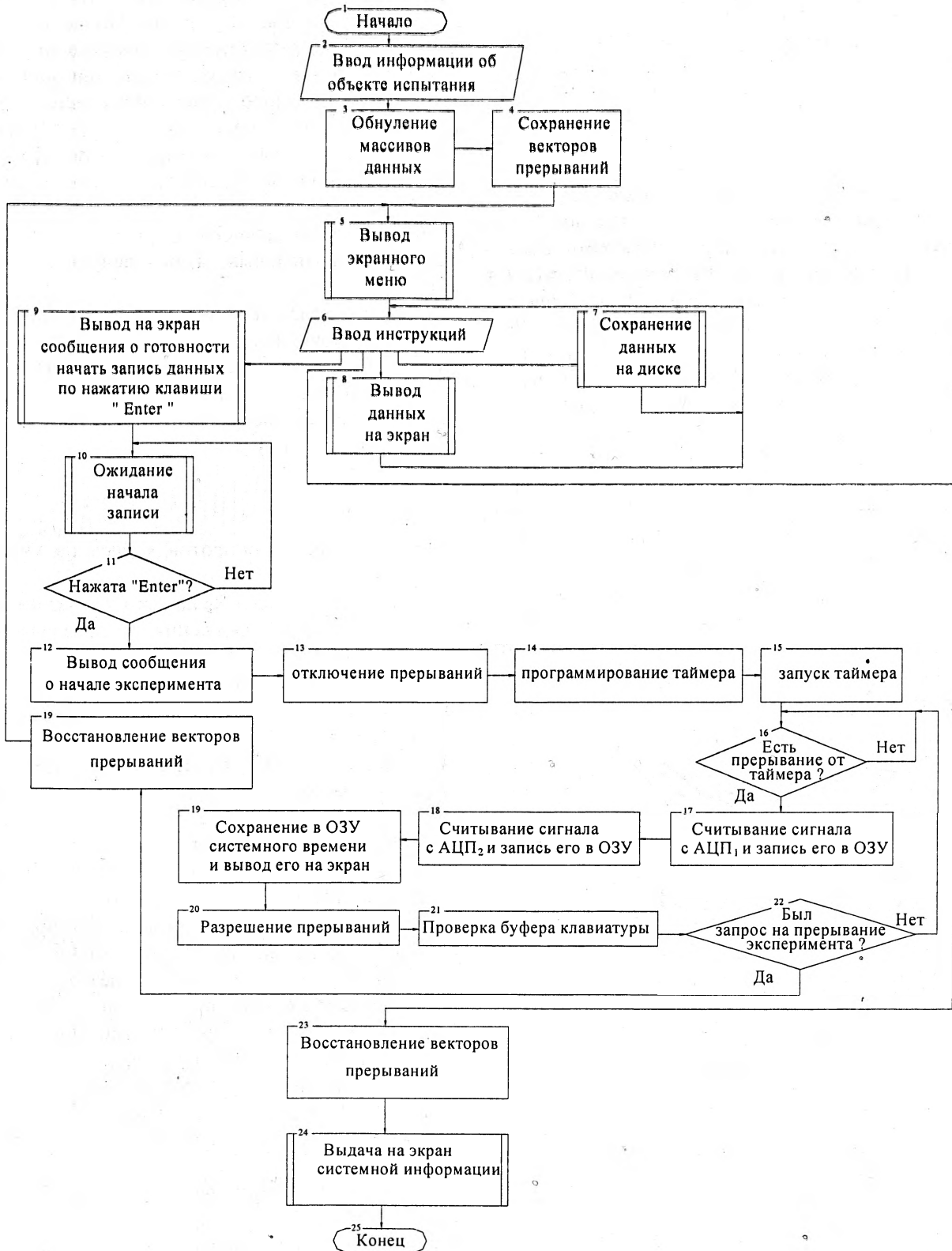


Рис. 3. Алгоритм программы, управляющей испытаниями

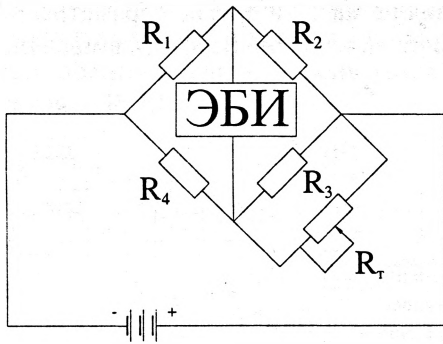


Рис. 4. Схема электрической калибровки

Схема такого устройства показана на рис. 5.

Вращающаяся часть 1 с токосъемными кольцами 2, изготовленная из текстолита, крепится к полуоси 3 и посредством лабиринтного уплотнения контактирует с неподвижной частью 7 и, имея небольшие зазоры в радиальном направлении, обладает возможностью относительного смещения к неподвижной части 7 и корпусу колодок 4, которые жестко установлены в отверстии корпуса моста 5. Внутри корпуса располагаются контакты, пружины и регулировочные винты, собранные в общие контактные блоки 6, от которых к штепсельному соединению типа ШЗ32У12ЭГ1, расположенному на кронштейне на крепежных болтах редуктора моста, идут экранированные провода. Далее кабель, объединенный с проводами индуктивного датчика частоты вращения, ведет к монтажному столику с клеммам ЭБИ.

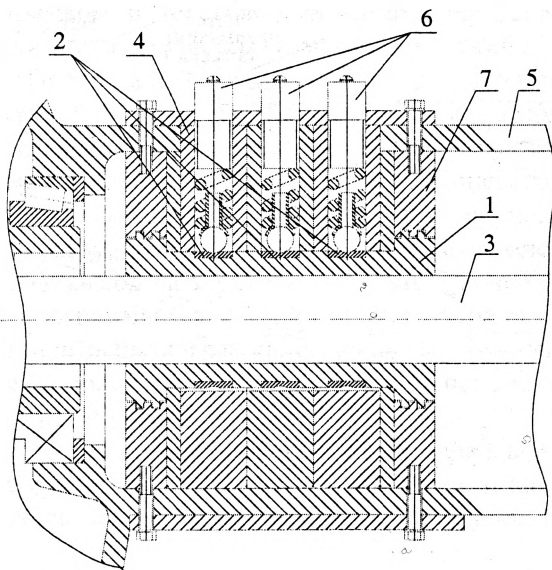


Рис. 5. Схема токосъемного устройства

Датчик частоты вращения ведущего колеса индукционного типа «Wabco», серийно установлен на ведущих мостах и выполняет функции измере-

ния частоты вращения ведущих колес.

*Методика проведения и условия испытаний.*

Испытания проводились в сухую безветренную погоду на участке с сухим асфальтовым покрытием. Учитывая сложность и компоновочную насыщенность ведущего моста, а также цели проведения испытаний, исследования динамической нагруженности проводились только для одной детали (большой полуоси).

В предварительные замеры входит определение кинематического радиуса ведущих колес автомобиля.

Величина кинематического радиуса определяется методом «меловых пятен» следующим образом:

На дороге краской наносилась поперечная линия, на которую накатывается колесо автобуса, движущегося со скоростью 50 км/ч, и оставляет на дороге отпечатки. Замерив расстояние между двумя крайними отпечатками, определяют радиус колеса по формуле

$$R_k = \frac{S}{2\pi n_k},$$

где  $n_k$  - количество оборотов колеса на участке длиной  $S$ .

Изменение величины  $R_k$  на всем диапазоне возможных скоростей движения и передаваемых крутящих моментов не превышает 2%. Данный радиус необходим для вычисления скорости автобуса по частоте вращения колеса.

$$v_a = \omega_k R_k = 2\pi/60 n_k R_k.$$

**Режим испытаний** был принят следующий:

Автобус разогнался с минимальной до максимально устойчивой скорости для каждой передачи с разной интенсивностью, соответствующей определенному положению педали управления подачи топлива (10°, 20°, 30°). При этом под педалью устанавливался регулируемый упор, с помощью которого задавался определенный уровень подачи топлива для каждого заезда.

Перед заездом оператор вводит информацию о номере заезда, номере передачи и интенсивности разгона. Далее регулировался упор педали подачи топлива на соответствующую величину. Педаль выставлялась водителем до упора, включалась первая передача в коробке передач, и отпускалось сцепление.

В это же время оператором управления блоками тензометрической аппаратуры производился запуск записи осциллограмм. При достижении автобусом скорости, при которой требовалось переключение на высшую передачу, обороты двига-



теля сбрасывались до холостых, включалась необходимая передача, отпускалось сцепление (со средней интенсивностью), включалась подача топлива и автобус продолжал разгон.

В нескольких заездах процессы разгона отличались друг от друга только скоростью, на которой происходило переключение передачи, с целью исследования всех рабочих частот.

Всего было сделано 9 заездов, в каждом из которых обнаружены зоны резонанса. Осциллограмма движения автобуса при совпадении частот возмущающих сил и собственных частот системы представлена на рис. 6.

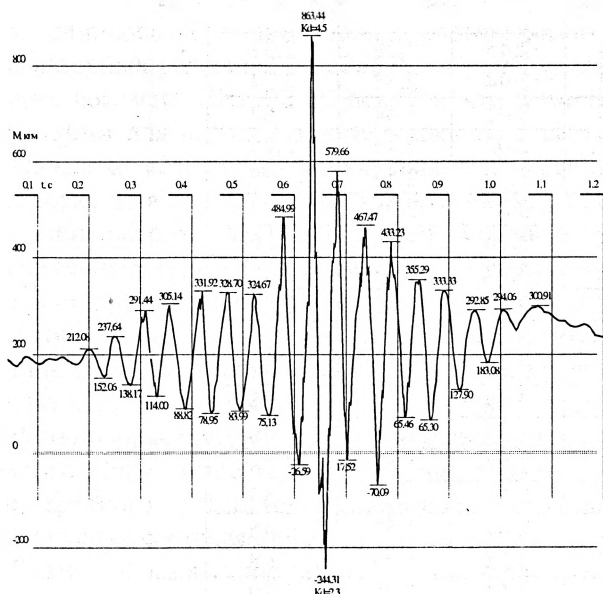


Рис. 6. Образец осциллограммы при движении на 4-й передаче

Анализируя данные осциллограмм (при расшифровке использовался пакет для обработки экспериментальных массивов данных "Expert"), полученные в различных заездах, можно сделать вывод о резонансе, существующем в трансмиссии автобуса. Собственная частота системы, найденная с помощью созданной компьютерной модели, и коэффициент динамичности отличаются от экспериментальных данных соответственно на 11,02% и 18,57%.

Несовпадение результатов моделирования и эксперимента объясняется невозможностью абсолютно точно воспроизвести в модели все условия эксперимента, а также определенную ограниченность модели, учитывая, что исходная модель, включающая детальный учет вращающихся масс, без упрощения не может реально служить инструментом для исследований, учитывая то, что время расчета значительно увеличивается.

Для сравнения экспериментальных и теоретических данных по динамической нагруженности бортового редуктора в условиях частичной загрузки и разных положениях педали подачи топлива приведена таблица 1. В таблице обозначены: коэффициенты динамичности  $K_{д \text{ Теор}}$  – коэффициент динамичности, полученный в результате компьютерного исследования модели трансмиссии автобуса,  $K_{д \text{ Эксп}}$  – коэффициент динамичности, полученный при проведении дорожных испытаний по приведенной ранее методике;  $\alpha_{пт}$  – угол нажатия педали подачи топлива (в процентах от максимального открытия). Виден большой процент совпадения теоретических и экспериментальных данных при загрузке 100% и полной подаче топлива и определенный разброс данных при частичной нагрузке, что можно объяснить несовершенством построенной модели.

На рис. 7. приведена гистограмма для сопоставления теоретических и экспериментальных данных. Цифры 1, 2, 3 при столбцах соответствуют степени нажатия на педаль подачи топлива, соответственно, 10%, 50%, 100%; ① ② ③ соответствуют значениям отклонения теоретического и экспериментального коэффициентов динамичности для каждого положения педали подачи топлива.

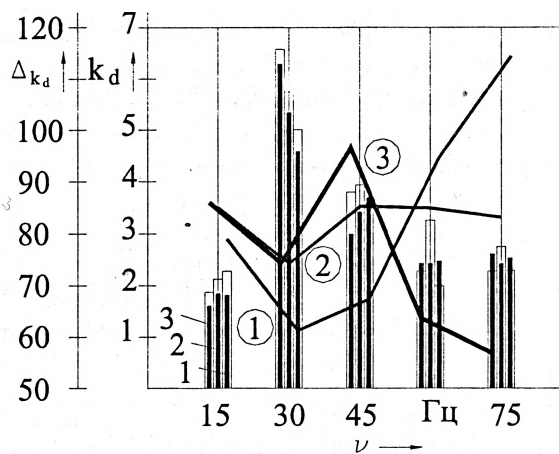


Рис. 7. Гистограмма отклонений теоретических и экспериментальных значений коэффициента динамичности по частотам

Для выявления возможных других причин повышенной динамической нагруженности были проведены заезды при преодолении препятствия, при движении автобуса на повороте на разных передачах, бросок сцепления. Примеры осциллограмм на данных режимах приведены на рис. 8...10.

Ни в одном случае повышенных нагрузок выявлено не было.

В результате проведенного эксперимента мож-



но сделать вывод о высокой степени адекватности компьютерной модели реальным узлам трансмиссии автобуса, позволяющей выявить существующие зоны резонанса в области рабочих частот трансмиссии. Источником повышенных

динамических нагрузок в трансмиссии автобуса являются внутренние факторы, проявляющиеся при передаче крутящего момента через узлы трансмиссии.

Таблица 2

Зависимость коэффициента динамичности от положения педали подачи топлива

Загрузка, %	$K_d$	$\alpha_{пт}, \%$	Частота, Гц				
			15	30	45	60	75
100	$K_{д\text{ Теор}}$	10	1,26	4,38	2,45	2,28	2,32
		50	1,36	5,42	2,94	2,32	2,74
		100	1,62	6,30	3,01	2,44	2,62
	$K_{д\text{ Эксп}}$	10	1,79	5,01	2,02	2,14	2,75
		50	1,82	5,92	3,20	2,56	1,35
		100	1,88	6,58	3,81	2,28	2,28
50	$K_{д\text{ Теор}}$	10	1,33	4,24	3,16	1,33	2,36
		50	1,62	4,72	3,27	1,63	2,46
		100	1,85	5,35	3,42	1,85	2,43
	$K_{д\text{ Эксп}}$	10	1,24	4,20	3,01	1,98	2,31
		50	1,77	4,38	3,88	2,00	2,41
		100	2,13	5,76	3,94	2,13	2,75
0	$K_{д\text{ Теор}}$	10	1,29	3,68	2,89	1,55	2,46
		50	1,60	3,95	3,04	1,60	2,58
		100	1,82	4,59	3,70	1,83	2,53
	$K_{д\text{ Эксп}}$	10	1,78	2,85	2,47	1,57	1,45
		50	1,79	3,25	3,25	1,25	2,68
		100	2,28	6,58	3,61	2,28	2,29

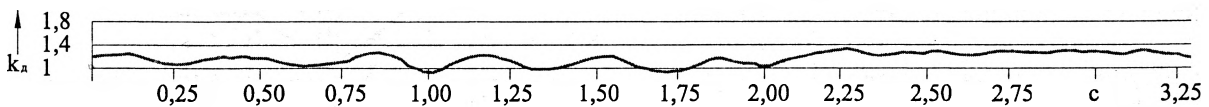


Рис. 8. Осциллограмма движения автобуса на повороте  $R=15$  на первой передаче

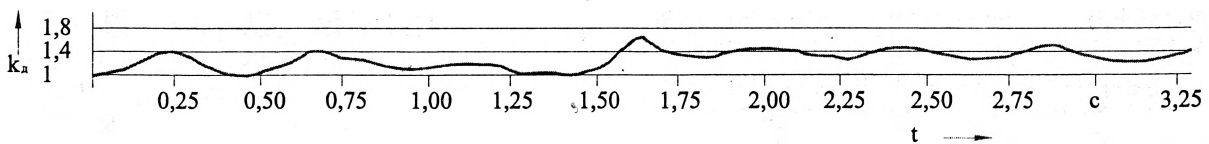


Рис. 9. Осциллограмма движения автобуса на повороте на третьей передаче

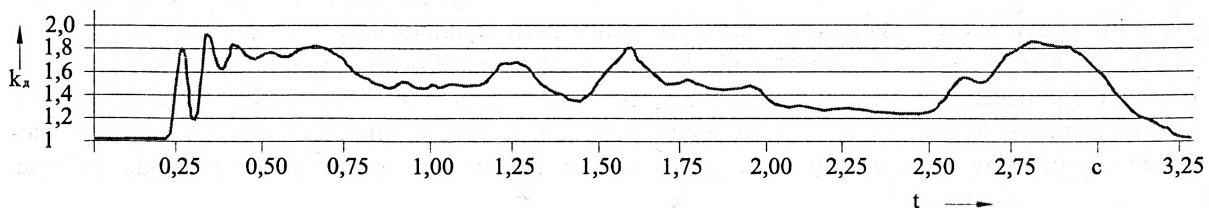


Рис. 10. Осциллограмма движения автобуса при преодолении порогового препятствия

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩЕЙ ПОДВЕСКИ СИДЕНИЯ ВОДИТЕЛЯ

Г. Рейзина, доцент, к.т.н., БНТУ

С целью нормализации условий труда водителей и экипажа автомобилей исследованы характеристики колебательного процесса рабочего места, позволяющие оценить возможность защиты человека от низкочастотных колебаний и определить характеристики виброизолирующей подвески сиденья водителя.

Анализ колебаний над передней осью автомобиля, длиннобазного автомобиля, работающего в характерных условиях, на общую виброн нагруженность согласно СН1102-78 показал, что доминирующими для сиденья водителя являются вертикальные колебания, затем продольно и поперечно-угловые. Для вертикальных характерны как наибольшие абсолютные уровни ускорений, так и существенные (примерно в два раза) превышения величин, устанавливаемых санитарными нормами в октавных полосах 2, 4 и 8 Гц. Поперечные колебания достигают значительных величин и превосходят допустимые границы при 8 и 4-часовом воздействии практически во всех октавных полосах частот. Допустимое время движения автомобиля без вредного воздействия поперечных колебаний на человека составляют 1 час.

Таким образом, нормализация условий труда водителей и экипажа требует соответствующего снижения уровней колебаний во всех 3-х направлениях.

Поэтому в качестве обобщенной оценки виброн нагруженности принимают средние квадратические значения как вертикальных, так продольных и поперечных ускорений на сиденье водителя. Ускорения поперечных колебаний являются одним из основных факторов нагружающим человека, они не привычны для человеческого организма. На многоосных автомобилях они составляют 70–110% вертикальных ускорений.

Для выбора параметров подвески, обеспечивающих достижение необходимого виброизолирующего эффекта составлена математическая модель, учитывающая кроме кинематических связей динамические особенности тела сидящего человека, дифференциальное уравнение которого имеет вид:

$$[M][\ddot{f}(t)] + [N][\dot{\varphi}(t)] + [K][f(t)] + [C][\varphi(t)] + [E][\dot{f}(t)] \times x e^{i\alpha} = [B][\varphi(t)] + [A][\dot{\varphi}(t)]$$

где  $M$ ,  $N$ ,  $K$ ,  $C$  – матрицы инерционных, диссипативных и жесткостных коэффициентов;  $E$  – единичная матрица;  $B$  и  $A$  – диагональные матрицы жесткостных и диссипативных коэффициентов поддресоренной массы над передней осью;  $f(t)$  и  $\varphi(t)$  – векторы искомых перемещений и кинематического воздействия.

Модель исследовали на ЭВМ путем перебора вариантов для ряда сочетаний величин параметров  $M$ ,  $N$  и  $K$ , которые задавались с определенным шагом в пределах выбранных границ ( $K = 100\text{--}1000 \text{ Н/(м.с)}$ ;  $N = 10\text{--}80 \text{ Н/(м.с}^2)$ ;  $M = 60\text{--}140 \text{ кг}$ );  $\chi$ ,  $\alpha$  – модуль  $[\text{Н/(м.с)}$ ] и аргумент (в град) комплексной величины импеданса человека [1].

Значение  $C = 10^4 \text{ Н/м}$  было выбрано как минимальное из условия соблюдения комфортности.

Варианты виброизолирующей характеристики сопоставляли с характеристикой, требуемой для соблюдения СН1102-78, а величины параметров, наиболее полно соответствующие условию компромиса между возрастанием колебаний в резонансе и степенью виброизоляции в зарезонансной зоне, определялись с использованием минимаксного критерия. В результате определены рабочие параметры виброизолирующей подвески сиденья водителя автомобиля, техническая характеристика которого приведена ниже.

Жесткость пружины в Н/м	$1 \times 10^4$
Масса с сиденьем в кг	100
Коэффициент вязкого сопротивления в Н/(м/с)	400
Коэффициент инерционного сопротивления в Н/(м/с <sup>2</sup> )	30
Собственная частота с водителем в Гц	1,3
Виброизолирующая характеристика подвески рассчитывалась в диапазоне частот 0–4 Гц, в котором располагаются точки с максимальной и минимальной вибропередачей. Для сравнения определены допускаемые уровни виброн нагруженности, а также показатель эффективности $J_{\text{эф}}$ . Последний определяли как отношение вибронагруженности поддресоренного и неподдресоренного сиденья.	

Использование поддресоривания подвески позволило существенно снизить вибрацию сиденья, особенно в наиболее опасных октавных полосах 2



и 4 Гц, где показатель эффективности составил около 0,4, на этих частотах вибронегруженность моделируемого сиденья оказалась значительно ниже предельно допускаемых величин.

Вместе с тем происходило некоторое возрастание колебаний в октаве 1 Гц, сопровождающееся превышением допускаемого уровня в среднем на 3 дБ. Однако такое превышение незначительно и может быть частично или полностью устранено при дальнейшем совершенствовании подвески. Одно из направлений – снижение массы подвески

при сохранении величины демпфирования – приводит к уменьшению резонансных явлений, что в итоге позволит полностью получить характеристику в соответствие с действующими нормативами.

*Литература*

1. Прутчиков О. К. К вопросу о нормировании безопасных режимов работы водителей грузовых автомобилей. - В сб.: Влияние вибрации на организм человека. М.: Наука, 1977, с. 405-409.

## **НА ВСЕ РУКИ «ПОЛЕСЬЕ»**

### **Союзная программа поможет вывести новый комбайн на белорусско-русское поле**

*Союзное государство показывает наглядный пример того, как за счет общего бюджета удалось решить действительно масштабные задачи.*

Беларусь и Россия могут заметно повысить эффективность аграрной отрасли, поставив на конвейер оригинальные сельхозмашины повышенной производительности.

По сравнению с 1990 годом энерговооруженность крестьянского труда упала вдвое. Сегодня по этому показателю наши страны отстают от развитых стран. При том, что 75—85 процентов оставшейся на ходу техники давно исчерпали ресурс. На практике это значит: самый распространенный в Беларуси и России зерноуборочный комбайн «Дон-1500» на десятом и последующих годах жизни теряет до 10 процентов урожая.

Очевидно, что поднимать аграрный сектор нашим странам жизненно необходимо. И принципиально важно развивать его на основе качественно новой техники. Беларусь в этом смысле имеет немалый опыт. Еще в 80-х годах в государственном специальном конструкторском бюро при ПО «Гомсельмаш» задумали отказаться от общепринятой в мире схемы мономашин. А взамен предложили единое универсальное энергетическое средство, на которое по мере необходимости можно навешивать самые различные рабочие агрегаты.

Преимущества идеи видны невооруженным глазом. Ведь сколько работает, к примеру, зерноуборочный комбайн? От силы месяц в году. И одиннадцать месяцев простаивает. Примерно то же можно сказать о технике для уборки кормов, свеклы. А белорусские конструкторы решили «запрячь» в работу свой универсальный комплекс

с апреля по ноябрь. К тому же он значительно дешевле, чем набор соответствующих специализированных сельхозмашин.

Будь предприятие послабее, такая смелая идея могла так и остаться в чертежах. Но потенциал «Гомсельмаша» позволил ее материализовать. Ведь в свое время гомельчане десятками тысяч в год выпускали кормоуборочные комбайны КСК-100, снабжая ими весь СССР. В последующем здесь сохранили высокий уровень производства и высококвалифицированные кадры. В новое оборудование было вложено около 30 миллионов долларов. Это удалось во многом благодаря поддержке со стороны государства, пояснили в объединении корреспонденту «СОЮЗа». И результат налицо. Более полутора тысяч комплексов на базе универсального энергосредства УЭС-2-250А «Полесье» уже работают на полях. «Полесье» убирает зерно и корма, сено и свеклу. Недавно этот перечень пополнился универсальным комбинированным агрегатом, который позволяет за один проход вносить минеральные удобрения, обрабатывать почву и обеспечивает точный посев зерновых или свеклы. Аналогов ему в СНГ нет. На выходе — картофелеуборочный комбайн...

По достоинству оценили оригинальные гомельские машины в Краснодарском крае, Белгородской, Самарской, Челябинской и других областях России. Не случайно экспорт гомельских машин в 2003 году в Россию на 18 процентов опережает соответствующий уровень прошлого года. Однако и возможности сотрудничества, и потребности

наших стран в новой технике для села многократно больше. Это давно уже поняли люди дела, которые пытаются наладить совместное производство. В Рыбинске, что в Ярославской области, предполагается изготавливать универсальное энергосредство для Нечерноземья, а комплектовать его навесными агрегатами будет «Гомсельмаш». Однако, во-первых, этого сегодня мало. Во-вторых, даже на запуск такого, относительно небольшого проекта не хватает средств.

Между тем Союзное государство показывает наглядный пример того, как за счет общего бюджета удалось решить действительно масштабные задачи. Вспомним программы «Союзный телевизор» или «Дизельное моторостроение». Совместные телеприемники сегодня успешно конкурируют на внутреннем рынке с зарубежными, а отечественные грузовики стандарта «Евро-2» уже не редкость на дорогах. Столь же перспективно и совместное создание новой техники для села.

Специалисты российского Министерства промышленности, науки и технологий и белорусского Минпрома уже разработали проект соответствующей союзной программы. Предусматривается к 2007—2009 годам создать 11 основных комплектов машин. Первое семейство — на основе созданного в Гомеле универсального энергосредства УЭС-350 с экономичным мотором переменной мощности, второе — менее мощное для не-

черноземной зоны. Как рассказали в ПО «Гомсельмаш», опытные образцы машин уже опробованы. В перспективе объединение может изготавливать их до 5000 в год. Ряд уборочных агрегатов — жатки, подборщики и другое — будут поставлять заводы России. В программе примут участие российские и белорусские НИИ.

По мнению разработчиков нашим странам нужно более 50 тысяч таких многофункциональных машин. Они заменят до 70 тысяч обычных агрегатов, высвободят 11 тысяч механизаторов, наполовину сократят потребность в мощных двигателях, сэкономят 150 тысяч тонн топлива. Плюс к этому за счет более качественного приготовления травяных кормов должны ощутимо повыситься удои и привесы. Вложенные в проект средства вернутся уже в 2009 году, то есть на третий год с начала производства комплексов даже в минимальном количестве.

Но вот на старт финансов и не хватает. Всего нужно 1782 миллиона российских рублей. Одним из источников может стать бюджет Союзного государства. В пользу финансирования нового проекта высказались не только упомянутые министерства, но и губернатор Ярославской области Анатолий Лисицын, многие другие известные российские специалисты и руководители.

«СОЮЗ»

*Владимир Бибилов, Минск—Ростов-на-Дону*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ТРУБ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ БЕЗОБРАЗЦОВЫМ НЕРАЗРУШАЮЩИМ МЕТОДОМ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ТВЕРДОСТИ

*П.П. Пётух, Ц.Д. Сорохан, И.И. Герасимчик, ОАО «Белтрансгаз»  
С.М. Красневский, Г.О. Яровой, ФТИ НАН Беларуси*

Процессы деформационно-механического старения металла труб длительно эксплуатирующихся магистральных газопроводов (МГ) приводят к заметному ухудшению его свойств. В связи с этим остро стоит вопрос об использовании высокоэффективных методов и средств, позволяющих без разрушения быстро и достоверно оценивать фактическое состояние прочностных свойств металла. Такая оценка является важным фактором, определяющим надежность и безопасность работы МГ в условиях

длительной эксплуатации. При выполнении расчетно-диагностических работ по установлению остаточного ресурса МГ в зоне выполнения ремонтно-восстановительных работ всегда требуются данные о фактическом состоянии механических свойств металла, обеспечивающих его прочность.

Проведение вырезов металла для установления механических свойств путем стандартных испытаний образцов, например на одноосное статическое растяжение [1], требует значительных вре-



менных и материальных затрат, наносит значительный ущерб прочности объекта исследования, а в ряде случаев просто невозможно.

Среди существующих неразрушающих безобразцовых способов контроля прочностных свойств металла (магнитные, акустические и др.) наиболее широкое распространение получили методы испытания на твердость с последующим расчетом интересующих свойств по эмпирически установленным зависимостям [2,5,6]. Твердость является единственной характеристикой механических свойств металла, по своей сути, наиболее близкой к традиционным образцовым испытаниям, которую можно измерить, не нарушая целостности контролируемой конструкции. Поэтому естественным представляется стремление установить взаимосвязь между этой интегральной характеристикой металла и его прочностными свойствами – пределом прочности  $\sigma_b$  и пределом текучести  $\sigma_{0,2}$ .

Особое значение имеет установление корреляционных зависимостей между твердостью и прочностными свойствами для оборудования и трубопроводов, отработавших длительный срок или свой расчетный ресурс, поскольку эти свойства приобретают первостепенное значение при оценке возможности их дальнейшей эксплуатации.

На данный момент существует достаточное количество надежных портативных переносных средств контроля (твердомеров), позволяющих быстро и достоверно в полевых условиях определять твердость как основного металла труб МГ, так и металла сварных соединений. Имеющийся опыт показывает, что для этих целей наиболее подходят следующие электронные твердомеры динамического действия: ТЕМР-2 (3), ИТ 5038-01, 54-359М, ТДМ-1, Equotip и др., а также переносные твердомеры статического действия ТПП-2М (измерения по ГОСТ 2999-75); Ernst-hardometer (измерения согласно ИСО/Р 79-73).

Основные задачи, которые решаются путем измерения твердости металла труб МГ, следующие:

- определение фактических прочностных характеристик металла труб МГ, таких как предел текучести  $\sigma_{0,2}$  и предел прочности  $\sigma_b$  в интересующих местах без разрушения;
- проверка соответствия прочностных характеристик труб МГ паспортным данным и данным сертификатов на материал;
- выявление локальных зон с аномальными прочностными характеристиками, возникающих

вследствие пластических деформаций, а также процессов обезуглероживания, науглероживания, наводороживания и др., обусловленных воздействием на металл рабочей и окружающей среды.

Как правило, места, и объем контроля твердости металла труб МГ определяется программой диагностического обследования с учетом конструктивных особенностей и состояния контролируемого участка наружной поверхности трубы.

В обязательном порядке должна измеряться твердость сварных соединений, включая наплавленный металл сварного шва, околошовную зону термического влияния и прилегающий к ней основной металл трубы, а также твердость зон пересечения продольных и кольцевых швов и мест наиболее значительного коррозионного повреждения трубы.

Оценка механических свойств по значениям характеристик твердости производится аналоговым путем или с помощью формул, полученных расчетно-экспериментальными методами. При этом связь между твердостью металла и его прочностными характеристиками при нормальной температуре всегда была предметом пристального внимания специалистов, работающих в области материаловедения и механических испытаний материалов. Так, используя вдавливание шарового индентора, М.П. Марковец установил зависимость, позволяющую вычислять характеристики прочности по критическим значениям твердости:  $H_{0,2} = P_{0,2} / 0,6$  ( $P_{0,2}$  – нагрузка, отвечающая отпечаткам диаметром 0,9 мм с площадью 0,6 мм<sup>2</sup>). С помощью этой зависимости можно с точностью 5 % определить предел текучести  $\sigma_{0,2}$  для конструкционных сталей [3,4]. Известны, также, эмпирические зависимости [7] для определения характеристик прочности углеродистой конструкционной стали по ее твердости:

$$\sigma_b = 3,33\text{НВ}, \quad (1)$$

$$\sigma_{0,2} = 3,67\text{НВ} - 240. \quad (2)$$

Эти соотношения свидетельствуют о существовании линейной зависимости между характеристиками прочности и твердостью металла. Необходимо отметить, что указанные соотношения работают с точностью  $\pm(5\div 10)$  % только лишь в определенном диапазоне величин твердости для указанного класса сталей.

В общем случае феноменологическая связь между твердостью и пределом прочности более устойчива, чем между твердостью и пределом текучести материала, и при расчете дает меньшую

погрешность. Для установления предела прочности  $\sigma_b$  по твердости НВ в нормативной документации [2] предусмотрены таблицы, которые носят рекомендательный характер и распространяются на конструкционные углеродистые стали перлитного класса. Для другого класса материалов, например аустенитных нержавеющей сталей, существуют свои эмпирические зависимости [6], которые значительно отличаются от указанных в формулах (1, 2).

Из вышесказанного следует, что достоверные результаты при использовании эмпирических зависимостей для определения прочностных свойств материалов получаются лишь в том случае, когда исследуемые материалы относятся к тому же классу и структурному состоянию материалов, для которых эти зависимости и были установлены. Результаты будут еще точнее, если эмпирические формулы будут получены для однотипного оборудования, изготовленного из одной марки стали по единой технологии.

По конструктивному исполнению магистральные газопроводы, работающие под внутренним давлением газа, относятся к тонкостенным оболочкам, в которых, как известно, существует следующая зависимость между напряжениями и давлением  $p$ :

$$\sigma_{ок} = pR/S, \sigma_{пр} = pR/2S, (3)$$

где  $\sigma_{ок}$  и  $\sigma_{пр}$  – величины окружных и продольных напряжений;  $S$  и  $R$  – текущие значения толщины и радиуса трубы.

Кроме того, на стенку трубы МГ действует радиальное (по толщине) напряжение  $\sigma_{рад}$ . Однако для тонкостенных трубопроводов величина  $\sigma_{рад}$  намного меньше  $\sigma_{ок}$  и  $\sigma_{пр}$  (на внутренней поверхности трубы  $\sigma_{рад}$  составляет не более 3 % от  $\sigma_{ок}$ , а на наружной поверхности трубы  $\sigma_{рад}$  равно нулю). Пренебрегая радиальным напряжением из-за его малости, можно сказать, что металл труб МГ постоянно находится в условиях двухосного напряженного состояния.

Известно, что большинство разрушений труб МГ происходит под действием наибольшего окружного напряжения  $\sigma_{ок}$ , которое является первым главным напряжением. Поэтому фронт магистральной трещины при ее развитии, распространяясь вдоль осевой линии трубы, на своем пути постоянно испытывает сопротивление металла поперечного сечения стенки трубы. Следовательно, для оценки прочности металла труб МГ необходимо знать интегральные свойства металла по

всему поперечному сечению стенки трубы. Однако, при проведении натурной диагностики трубопроводов неразрушающими методами контроля, как правило, доступна лишь наружная поверхность металла труб.

Для электросварных труб МГ, изготовленных из стальных листов, характерно наличие пространственной анизотропии механических свойств, которая обусловлена прокаткой стального листа — заготовки на валках прокатного стана. Поэтому логично полагать, что и твердость, измеренная со стороны наружной поверхности трубы, будет отличаться от твердости, измеренной по сечению. Использование существующих обобщенных эмпирических соотношений, например представленных в формулах (1, 2), для установления прочностных характеристик металла труб не будет отличаться точностью, приемлемой для проведения прочностных расчетов.

Отсюда вытекает *основная цель* настоящего исследования — попытаться установить эмпирические зависимости, с помощью которых в дальнейшем можно будет достоверно определять прочностные свойства металла  $\sigma_b$  и  $\sigma_{0,2}$  в поперечном сечении стенок труб МГ безобразцовым неразрушающим методом по твердости, имея доступ к металлу лишь с наружной поверхности трубы. В дополнение к основной цели, требуется оценить степень пространственной анизотропии механических свойств металла труб МГ по значениям твердости.

Для осуществления поставленных задач была произведена вырезка темплета из трубы  $\varnothing 1220 \times 14,5$  третьей нитки магистрального газопровода Торжок–Минск–Ивацевичи, из которого были изготовлены поперечные цилиндрические образцы (тип 3 в соответствии с [1]) для испытаний на одноосное статическое растяжение при нормальной температуре в количестве 12 штук. Испытания проводились на универсальной разрывной машине ZD10/90.

В результате проведенных испытаний были получены экспериментальные числовые массивы данных механических свойств исследуемого металла (сталь 17Г1С), в частности массивы прочностных характеристик  $\sigma_b$  и  $\sigma_{0,2}$ . После проведения статистической обработки результатов испытаний было установлено следующее:

- среднее значение предела прочности  $\sigma_b = 547,7 \pm 5,8$  МПа;
- среднее значение предела текучести  $\sigma_{0,2} =$

384,8±7,8 МПа.

Для получения экспериментальных массивов значений твердости НВ металла со стороны наружной поверхности трубы, а также твердости НВ по поперечному сечению стенки трубы Ø1220×14,5 были произведены измерения на подготовленных поверхностях пяти призматических образцов, вырезанных в поперечном направлении. При этом вырезка образцов из темплета осуществлялась по схеме, указанной на рис. 1.



Рисунок 1. Схема вырезки образцов для исследований

Плоскость №1 исследуемого образца, изображенная на рис. 2, практически совпадает с наружной поверхностью трубы (максимальное снятие металла со стороны наружной поверхности трубы для изготовления плоской грани №1 составляет 0,3 мм в центральной части образца). Плоскость №4 образца (см. рис. 2), ближайшая к внутренней поверхности трубы, расположена на расстоянии не более 4 мм от внутренней поверхности трубы.

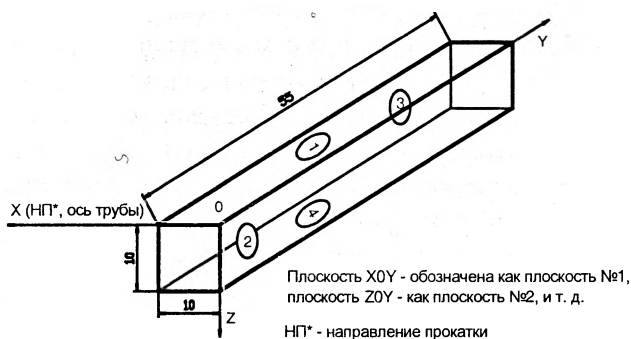


Рисунок 2. Схема нумерации исследуемых поверхностей образца

Номера призматических образцов, в соответствии с общей нумерацией вырезанных образцов, следующие: №3, №9, №11, №12 и №16. Твердость металла измерялась на четырех взаимно противоположных гранях (№№1÷4) каждого из указанных образцов (см. рис. 2), при этом места замеров равномерно распределялись по поверх-

ности контролируемой грани в соответствии с требованиями [2,6].

Измерения твердости проводились вдавливанием шарового индентора с помощью переносного твердомера статического действия Ernst-hardometer (Швейцария). Твердомер устанавливался на специальный штатив, предусмотренный изготовителем прибора для исследований образцов в лабораторных условиях. При этом диаметр восстановленного отпечатка в металле, от шарового индентора, составлял 150+170 мкм, что на порядок превышает размер зерна. Размер зерна металла исследуемых образцов, по данным металлографического контроля, составляет 15+16 мкм.

По величине прикладываемой нагрузки и диаметру отпечатка измерения твердости НВ, выполненные с помощью вышеуказанного твердомера, занимают промежуточное положение между микро- и макротвердостью и в принципе позволяют судить о свойствах исследуемого металла в целом, а не об отдельных его фазовых составляющих.

На каждой из исследуемых граней образцов было произведено не менее шести серий измерений. В каждой серии не менее пяти замеров твердости, которые перед внесением в массив данных по твердости НВ усреднялись.

После проведения статистической обработки результатов измерений твердости было установлено следующее:

- среднее значение твердости по грани №1 (наружная поверхность трубы) для всех образцов –  $184,0 \pm 3,8$  НВ;
- среднее значение твердости по граням №2 и №3 (поперечное сечение трубы) для всех образцов –  $162,5 \pm 5,4$  НВ;
- среднее значение твердости по грани №4 (не соответствует внутренней поверхности трубы) для всех образцов –  $165,2 \pm 3,0$  НВ.

Исходя из полученной твердости основного металла (сталь 17Г1С) трубы Ø1220×14,5 МГ третьей нитки Торжок-Минск-Ивацевичи, установлено, что усредненная по всем выборкам твердость НВ наружной поверхности трубы (грань №1) на 11,7 % превышает усредненную по всем выборкам твердость металла, полученную при измерениях по сечению металла стенки трубы (грани №2 и №3).

Повышенная твердость, полученная при измерениях со стороны наружной (внутренней) поверхности металла трубы, по сравнению с твердостью по сечению стенки трубы, объясняется наличием



деформационного упрочнения поверхностных слоев металла обусловленного прокаткой листа – заготовки трубы при его изготовлении.

Определение прочностных свойств основного металла  $\sigma_b$  и  $\sigma_{0,2}$  труб МГ по твердости с помощью обобщенных эмпирических зависимостей (например, указанных в формулах (1, 2)) будет давать неприемлемую, для достоверной оценки прочности труб, погрешность. В связи с этим была выполнена совместная обработка данных измерений твердости и результатов испытаний образцов на одноосное статическое растяжение. Распределения характеристик твердости НВ и прочностных свойств исследуемого металла относительно среднего показывает, что они близки к нормальному или «гауссову» распределению.

В итоге были получены следующие эмпирические зависимости между твердостью НВ, измеренной со стороны наружной поверхности трубы (грань №1), и интегральными прочностными характеристиками материала трубы:

$$\sigma_b \text{ (МПа)} = 2,98 \times \text{НВ}, \quad (4)$$

$$\sigma_{0,2} \text{ (МПа)} = 2,09 \times \text{НВ}. \quad (5)$$

Полученные соотношения будут работать с точностью  $\pm 3\%$  только для основного металла не термообработанных электросварных труб магистральных трубопроводов, изготовленных из листового проката (сталь 17Г1С) по соответствующей технологии.

Результаты, полученные с помощью эмпирических соотношений (4,5), позволят более достоверно оценивать прочность металла труб МГ безобразцовым неразрушающим методом по твердости, измеряемой со стороны наружной поверхности трубы.

#### Литература

1. ГОСТ 1497–84. Металлы. Методы испытаний на растяжение.
2. ГОСТ 22761–77. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Бринеллю переносными приборами статического действия.
3. ГОСТ 22761–77. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости на пределе текучести вдавливанием шара.
4. М.П. Марковец. Сб.: Исследования в области измерения твердости. «Труды метрологических институтов СССР» выпуск 91 (151). Издательство стандартов, 1967.
5. М.С. Дрозд. Определение механических свойств металлов без разрушения. М., «Металлургия», 1965.
6. РД ЭО 0027–94. Определение характеристик механических свойств металла оборудования АЭС безобразцовыми методами по характеристикам твердости.

## НАНОТЕХНОЛОГИИ

*В недрах нашей цивилизации зреет грандиозная техническая революция. В 80-х годах прошлого века были сформулированы принципиальные основы получения наноструктурных материалов (из порошковых частиц менее 100нм). Это дало толчок развитию новой перспективной технологии во всем мире. В 1991 году японским исследователем Сумио Иишима были открыты углеродные нанотрубки (УНТ), являющиеся очень перспективным материалом для применения в различных областях техники. УНТ обладают рядом уникальных свойств, которые выделяют их из всех ранее известных материалов и способны, при наличии технологии их массового производства, революционизировать целые отрасли экономики и стать базой для формирования принципиально нового технологического уклада всего общества в целом. Механическая прочность нового материала превышает прочность стали в 100 раз; отношение механической прочности к весу — в 500 раз больше чем у алюминия; электропроводность — как у меди; теплопроводность — как у алмаза.*

*Созданием промышленной нанотехнологии сегодня интенсивно занимаются ученые и специалисты всех развитых стран. Сделаны определенные шаги в этом направлении и в Беларуси. В институте тепло- и массообмена НАН Беларуси им. Лыкова под руководством С.А. Жданка с помощью установки высоковольтного разряда атмосферного давления (ВРАД) оказалось возможным осуществить масштабирование процесса и, используя дешевое и доступное сырье, начать массовое производство УНТ для нужд отечественного рынка и для экспорта в другие страны (С.А. Жданок. Ж. «И-М» № 2 (15) 2002 г.). Думаем, что подключатся к разработке названной технологии и другие институты НАН Беларуси.*



Предлагаем читателю подборку материалов об уже достигнутых результатах и перспективных проектах нанотехнологии.

## НАНОСТРУКТУРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ — СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТОК И ПЕРСПЕКТИВЫ

(Статья приводится в сокращении)

*Р.А. Андриевский, д.т.н., Институт проблем химической физики РАН*

Давно уже было показано, что в ультрадисперсном состоянии, характеризуемом обычно размером структурных элементов (например, порошковых частиц) менее 100 нм могут быть получены самые разнообразные металлы, сплавы, соединения, а также полупроводники, полимеры и т.д. Важным толчком к развитию исследований в области наноструктурных материалов (НМ) явились работы Глейтера и сотрудников, которые в начале 80-х годов впервые сформулировали принципиальные основы НМ и предложили установку, позволяющую совмещать процесс получения ультрадисперсных порошков (УДП) с вакуумным прессованием небольших наноструктурных образцов (диаметром до 10-15 мм и высотой до 0,2-0,5 мм) при высоких давлениях (до 3-5 ГПа) [2, 3]. Это дало возможность, благодаря исключению контакта с окружающей средой, избежать загрязнения и получить широкую гамму объектов для всесторонних физических и физико-химических исследований. Метод Глейтера был взят на вооружение во многих странах, что позволило выявить многие важные особенности нанокристаллической структуры (НС) [4-7]. Впервые в нашей стране отчетливо акцент НМ прозвучал на 1-й Всесоюзной конференции по физикохимии ультрадисперсных систем в 1984 г. [8], а одна из первых отечественных публикаций, посвященная исследованию твердости консолидированного при высоких давлениях и температурах никелевого УДП появилась в 1983 г. [9].

Следует отметить, однако, что фактически проблематика НМ ведет отсчет с исследований в области коллоидной химии, катализа, УДП и тонких пленок [1, 4, 6-8, 10]. К настоящему времени понятие НМ значительно расширилось по содержанию и включает в себя как традиционные консолидированные объекты на основе металлов, сплавов, соединений типа оксидов, интерметаллидов, карбидов, боридов, нитридов и т.п., так и нанополупроводники, нанополимеры, углеродные наноструктуры, нанопористые материалы, нанобиоматериалы, гибридные нанокompозиты, катализаторы и супрамолекулярные материалы. Интерес к развитию этого направления связан, по крайней мере, с тремя обстоятельствами. Во-первых, это обусловлено

стремлением реализовать в нанокристаллическом состоянии высокий уровень физических, механических, химических, биологических и эксплуатационных свойств: в ряде случаев это уже удалось на уровне промышленного и полупромышленного выпуска продукции в самых разнообразных отраслях техники, сельскохозяйственного производства и медицины. Во-вторых, проблематика НМ является ярким примером действительно междисциплинарного направления, в развитие которого активно включились физики, химики, материаловеды, механики, биологи, технологи, специалисты в области наук о земле. И, наконец, в-третьих, эта проблематика выявила немало брешей не только в наших фундаментальных знаниях, но и в технологических приемах (например, представления о природе нанокристаллического состояния или выбор оптимальных методов его реализации и т.д.). Отражением пристального внимания к нанотехнологии является и то, что в США 2001 год был объявлен приоритетным для этого направления со значительным повышением бюджетных ассигнований, причем значительная часть (около 40%) выделяется на фундаментальные исследования. Инвестиции со стороны частного капитала еще более внушительны — примерно в 2 раза больше государственных ассигнований. По немецким данным, общемировой рынок продуктов нанотехнологии в 2000-2001 гг. оценивался в 6—100 миллиардов немецких марок с быстрорастущей тенденцией роста (по крайней мере около 10% в год).

Информация в области НМ весьма обширна, ежегодно уже на протяжении многих лет по этому вопросу проводится до 20-25 международных конференций.

В рамках данной статьи главное внимание сосредоточено на консолидированных материалах, для которых важным требованием является не только НС, то есть размер кристаллитов (зерен, фаз) менее 100 нм, но и отсутствие дефектов типа пор, несплошностей и т.д. Кстати, указанный верхний предел размера структурных составляющих является довольно условным и основывается скорее на соображениях удобства нежели на каких-либо физиче-

ских или химических предпосылках [6, 7]. Но как показывают несложные оценки, начиная с размера  $L \sim 100$  нм, доля атомов, расположенных на поверхностях раздела (границах зерен и фаз), составляет уже несколько процентов; при дальнейшем уменьшении  $L$  эта доля существенно повышается, включая в себя и так называемые тройные стыки, достигая при  $L \sim 2$  нм нескольких десятков процентов [6, 7].

Обратим, прежде всего, внимание на разнообразие методов, которыми могут быть получены консолидированные НМ (табл. 1). Порошковая технология — наиболее универсальный метод, однако в связи с интенсивной рекристаллизацией получения беспористых образцов (изделий) с НС представляет известные трудности и может быть реализовано в большинстве случаев только при использовании высокоэнергетических методов консолидации (например, обработка при высоких давлениях и высоких температурах). Определенные возможности обнаруживают также приемы спекания с контролируемой скоростью нагрева и электроразрядного горячего прессования, однако размер кристаллитов в данном случае обычно не ниже 50-100 нм и реализа-

ция преимуществ НС достигается не всегда. Активно развиваемые методы интенсивной пластической деформации, позволяющие получать массивные беспористые металлы и сплавы с размером зерна около 100 нм находят все большее распространение, однако спектр их применимости все же ограничен деформируемыми объектами с НС на верхнем пределе. Тем не менее многие из этих разработок представляют интерес как в прикладном отношении (например, создание высокопрочного наноструктурного титана для имплантантов, так и в теоретическом плане для

выяснения роли деформационного и наноструктурного упрочнения. Беспористые НМ, в том числе и массивные, могут быть также изготовлены кристаллизацией из аморфного состояния, но естественно, что этот метод распространяется лишь на аморфнокристаллизующиеся объекты. Наконец, технология пленок и покрытий позволяет получать преимущественно беспористые материалы, но толщиной не более нескольких микрометров. Из приведенного краткого сопоставления различных методов получения НМ очевидно, что эти методы как конкурируют друг с другом, так и в значительной части дополняют друг друга, расширяя технологические возможности, что представляется весьма важным. Как отмечалось выше, слабым местом порошковой технологии является возможное наличие остаточных пор, что губительно порой сказывается на прочности и, в особенности, на пластичности НМ. Так, если уменьшенные размера зерна до 10 нм в случае компактированного нанокристаллического железа (относительная плотность 96%) приводит к росту твердости примерно в 4 раза, то прочность при этом снижается, а относительное удлинение практически падает

Таблица 1

Основные методы получения консолидированных НМ

Метод	Технологический вариант	Объект
Порошковая технология	Метод Глейтера (газофазное осаждение и вакуумное компактирование) Обычное прессование и спекание Горячая обработка давлением (горячее прессование, ковка, экструзия и др.) Высокие статические и динамические давления при обычных и высоких температурах	Элементы, сплавы, соединения
Контролируемая кристаллизация из аморфного состояния	Обычные и высокие давления	Аморфные вещества
Интенсивная пластическая деформация	Деформация кручением при высоких давлениях. Равноканальное угловое прессование	Деформируемые металлы и сплавы
Технология пленок и покрытий	Химическое и физическое осаждение из газовой фазы (CVD и PVD). Электроосаждение. Золь-гель технология.	Элементы, сплавы, соединения

до нуля, что связывается с негативным влиянием трещин и несплошностей. При достижении большей относительной плотности удается повысить не только твердость, но и прочность, что показано во многих работах на примере нанокристаллической меди, но пластичность этих образцов остается весьма низкой [7].

В этом отношении показательны результаты, полученные для высокоплотных образцов меди и никеля (пористость менее 0,5%), изготовленных методом электроосаждения. При высоких показателях

при высоких показателях



прочности, превосходящих данные для обычных поликристаллических образцов в несколько раз, показатели пластичности НМ с размером зерна 30-100 нм были вполне приемлемыми (удлинение 15-30%). Табл. 2 содержит некоторые характеристики обычного и двух типов нанокристаллического никеля (по данным проспекта канадской фирмы «An Ontario Hydro and NanoMetals Strategic Alliance», выпускающей высокопрочную никелевую ленту в промышленном масштабе). Китайским ученым удалось путем прокатки увеличить длину электроосажденной полоски из нано-Cu (величина зерна 27 нм, относительное удлинение 30%) в 50 раз.

Следует подчеркнуть и то, что значительное повышение прочности никелевых, медных и др. металлических вакуумно-осажденных пленок за счет ультрадисперсной структуры было отмечено во многих советских работах еще в 60-х годах (Л.С. Палатник, Б.Я. Пинес, М.Я. Фукс, А.И. Ильинский и др.).

Возможное применение НМ не исчерпывается, конечно, конструкционными и инструментальными сферами, значительное место занимают и функциональные области. Здесь уместно отметить высокоэффективные магнитомягкие материалы (типа фанмет, наноперм, хитперм) с аморфно-нанокристаллической структурой, получаемые контролируемой кристаллизацией из аморфного состояния, а также магнитотвердые материалы Fe-Nd-B на основе УДП и многослойные металлические пленки (например, сверхрешетки типа Fe/Cr) с колоссальными характеристиками магнитосопротивления. Большое значение имеют также наноксидные сенсоры (на основе SnO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>; и др.), пьезокерамические и пироэлектрические материалы (Pb(Ti, Zr)O<sub>3</sub> и др.), НС которых обеспечивает высокую чувствительность и гибкость в регулировании физико-химическими свойствами. Все большее распространение в турбостроении получают и наноксидные термобарьеры (ZrO<sub>2</sub> с добавками Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и др.), отличающие-

Таблица 2

Некоторые механические свойства обычного и нанокристаллического никеля

Показатели	Обычный Ni	Нано-Ni (L=100 нм)	Нано-Ni (L=10 нм)
Предел текучести, МПа, (25°C)	103	690	>900
Предел текучести, МПа, (350°C)	—	620	—
Предел прочности, МПа, (25°C)	403	1120	>2000
Предел прочности, МПа, (350°C)	—	760	—
Относительное удлинение, % (25°C)	50	>15	1

Высокие показатели прочности и пластичности реализованы также в случае массивных образцов из многокомпонентных сплавов на основе Zr, Mg, Al, Pd и др., полученных при контролируемой кристаллизации из аморфного состояния.

Для твердости, как сравнительно малочувствительной характеристики по отношению к трещинам, переход в нанокристаллическое состояние сопровождается практически всегда значительным повышением.

Еще одной привлекательной характеристикой НМ является возможность проявления сверхпластичности, что естественно связано с НС и что особенно важно для хрупких материалов. За счет НС температуру проявления сверхпластичности удастся снизить по сравнению с обычными мелкозернистыми материалами примерно на 300-400°C, однако уровень напряжений остается примерно на порядок более высоким, чем в случае промышленных сверхпластичных металлических материалов.

ся низкой теплопроводностью. Весьма обширна также сфера применения различных гибридных наноконструкций типа металл-полимер и др.

Перечень описанных приложений НМ является далеко не полным, оттенены лишь некоторые важнейшие аспекты, но вместе с тем следует подчеркнуть, что НМ по природе своей отнюдь не универсальны, и в связи с усложнением технологии их стоимость выше таковой для стандартных поликристаллических материалов. Поэтому при решении вопроса о применении всегда нужно находить оптимальный компромисс между повышением стоимости и выигрышем в процессе эксплуатации. Так, наноструктурные твердые сплавы благодаря более высоким характеристикам твердости и износостойкости используются преимущественно при изготовлении сверл для автоматических линий, где требования длительного ресурса работы особенно важны. Стоимость нано WC-Co примерно в два раза выше таковой для стандартных твердых сплавов, но

по ресурсу работы выигрыш составляет почти 4 раза. Тем не менее, их применение для обычных операций резания, несмотря на высокие технические характеристики, оказывается не всегда экономически оправданным. Конечно, экономические соображения отступают на второй план, если НМ обладают уникальными характеристиками, недостижимыми при использовании стандартных технологий, как, например, в случае некоторых функциональных НМ (магнитных, сенсорных и др.).

При разработке НМ возникло много новых проблем, относящихся к технологии, аттестации, контролю, компьютерному моделированию и др. Остановимся лишь на термической стабильности и размерных эффектах. Информация об общих закономерностях термической стабильности НС весьма ограничена и исчерпывается лишь некоторыми частными наблюдениями об эволюции структуры и некоторых свойств в процессе нагрева [6, 7]. Известно, например, что нагрев вплоть до 1000°C практически не сказывается на размере зерен и твердости наноструктурных нитридных пленок. Из общих соображений ясно также, что двухфазные НМ могут противостоять рекристаллизации лучше, чем однофазные. Однако особенности образования пограничных сегрегаций, структура и термодинамика самих по себе границ зерен в нанометровом интервале размеров и общие закономерности движения границ зерен и тройных стыков применительно к НМ, получаемых различными методами, нуждаются в дальнейшем детальном изучении, что, конечно, будет способствовать созданию НМ с оптимальными свойствами.

Применительно к НМ можно отметить, по крайней мере, три отличия размерных эффектов по сравнению с обычными поликристаллическими материалами. Во-первых, как отмечалось ранее, уменьшение размеров зерен до наноинтервала сопровождается значительным ростом объемной доли поверхностей раздела, включая тройные стыки. Во-вторых, свойства этих поверхностей раздела могут быть существенно иными по сравнению с таковыми для поликристаллических аналогов. В-третьих, размер кристаллитов в НМ может быть равным или даже меньшим, чем характерная длина для того или иного физического явления (например, длина свободного пробега носителей для электро- и теплопроводности и др.).

Методы получения консолидированных НМ весьма разнообразны и, несмотря на то, что отчасти имеется конкуренция, важно, что они явля-

ются взаимодополняющими, что расширяет возможности технологов и материаловедов. Порошковая технология наиболее универсальна, но не всегда обеспечивает получение беспористых НМ, что может сказываться на характеристиках пластичности и усталостной прочности. Приведены примеры электроосажденных практически беспористых медных и никелевых НМ с высокими прочностными и пластическими свойствами. Некоторые НМ (твердые сплавы, никелевая лента, магнитные сплавы) уже производятся в промышленном масштабе. Проблемы экономики в связи с усложнением технологии всегда должны сопоставляться с эксплуатационным выигрышем, что показано на примере наноструктурных твердых сплавов. Дальнейшему расширению разработок в области НМ с оптимальными характеристиками будет способствовать проведение фундаментальных исследований по выявлению закономерностей термической устойчивости НС и природы размерных эффектов.

Исследования в области НМ широко развиваются во многих странах мира и считаются одними из наиболее приоритетных.

#### *Литература*

1. Морохов И.Д., Трусов Л.И., Чижик С.П. Ультрадисперсные металлические среды. М.: Атомиздат, 1977, 264с.
2. Gleiter H. Materials with ultrafine grain size. In: Proceedings of Second RISO Int. Symposium on Metallurgy and Materials Science (Eds N.Hansen, T.Leffers and H. Litholt). Roskilde: Denmark, 1981, p.15-21.
3. Birringer R., Herr U., Gleiter H. Japan Inst. Metals, 1986, v.27, p.43-52.
4. Андриевский Р.А. Успехи химии, 1994, т.63. №5, с.431-448.
5. Gleiter H. Nanostructured materials: basic concepts and microstructure. Acta Mater, 2000, v.48. №1, p. 1-31.
6. Андриевский Р.А., Глезер А.М. ФММ, 1999, т.88, №1. с.50-73.
7. Андриевский Р. А., Глезер А.М. ФММ, 2000, т.89. №1, с.91-112.
8. Физикохимия ультрадисперсных систем, Под ред. И.В. Тананаева. М.: Наука. 1987, 256 с.
9. Яковлев Е.Н., Грязное Г.М., Сербии В.И. и др. Поверхность. Физика, химия, механика, 1983, №4, с.138-141.
10. Андриевский Р.А. Порошковая металлургия (Минск), 1999, №22. с. 119-126.

*Ж. «Перспективные материалы», № 6, 2001 г.*



## ЧУДО-ЛИФТ?

*Уже в ближайшее время одна из американских компаний намерена приступить к реализации фантастического проекта — строительству космического лифта.*

Зачем он нужен? Почему ему нынче пророчат большое будущее? Прежде всего речь идет об экономии огромных средств. К примеру, сегодня выведение только одного килограмма полезного груза на обычную околоземную орбиту обходится в 10 тысяч долларов, а на высокую — в 40 тысяч. Между тем «космический подъемник» способен снизить стоимость доставки всего до 100 долларов. В дальнейшем, по мере строительства новых лифтов, вышеназванная цена снизится еще в 10 раз. Таким образом, утверждают ученые, экономический эффект будет измеряться миллиардами долларов в год. Не говоря уже об экологически чистых двигателях и повышенной безопасности так называемых космических лифтов.

Эти вертикальные чудо-подъемники в итоге могут заменить отнюдь не безопасные ракеты и открыть новую эру в освоении межпланетного пространства.

Представим себе: практически бесшумные пассажирские и грузовые кабины, движущиеся на роликах по уходящей в космос ленте, уверенно преодолевают атмосферу Земли и продолжают свой подъем!..

Вообще принцип действия подобного подъемника теоретически известен еще с 1960 года. Главный его элемент — невероятной длины трос. Один конец крепится на поверхности нашей планеты, другой — теряется в далеком космосе на высоте около 100 тысяч километров. Кабель будет натянут струною — вертикально к земному горизонту, точно по направлению к центру Земли. Такова общая схема. Но здесь есть одно весьма слабое звено. Дело в том, что под воздействием собственной тяжести трос рвется уже при длине 50 километров. И до некоторого времени, на какие бы ухищрения ни шли конструкторы, все было тщетно. На этой стадии расчеты обычно заканчивались. Но в последнее десятилетие произошел неожиданный прорыв в разработке принципиально новых материалов.

В 1991 году японский инженер Сумио Иишима, исследуя графитовую сажу, открыл удивительное — так называемые углеродные нанотрубки. Их длина составляет всего несколько микрон. Позже выяснилось, что они могут самостоятельно сплетаться в такие же микроскопические канатики. Изготовленная из них нить прочнее алмаза. Почти невесомая паутинка из углеродных нанотрубок

диаметром в один миллиметр способна выдерживать 20-тонный груз! Именно это изобретение подняло шлагбаум на пути строительства в обозримом будущем космического лифта.

Работы в этом направлении ведутся в США уже два года. На первой стадии перед специалистами была поставлена задача оценить принципиальную возможность сооружения небывалой транспортной системы. Важно подчеркнуть, что финансирует работы американское Национальное агентство по исследованию космического пространства (НАСА), которое зря деньги не тратит.

И вот весной прошлого года первый этап работ был успешно завершён. Отчет, заметим, занимает 80 страниц убористого текста, включая многочисленные чертежи и графики. А уже в августе результаты проведенных исследований обсуждались на международной научной конференции в США. Один из разработчиков проекта, доктор Брэдли Эдвардс, в частности, заявил: «При соответствующем финансировании мы уже через пару лет сможем начать строительство первых стартовых сооружений. И надо торопиться: тот, кто здесь станет первым, будет контролировать космос на протяжении следующего столетия»...

Однако, следует сказать: ряд экспертов не разделяют оптимизма г-на Эдвардса. Во-первых, утверждают они, не ясно, удастся ли найти немалые финансовые ресурсы. Ведь на сооружение только первого лифта требуется до 10 миллиардов долларов. А вся программа «потянет» и на все 40 миллиардов. Такие суммы сегодня не готовы выложить ни НАСА, ни частные инвесторы.

Во-вторых, не решены пока многие принципиальные технические вопросы. Например, как защитить транспортную ленту от метеоритов? Если покрыть ее синтетическим материалом или тонкой металлической пленкой, то сразу же ее вес многократно увеличится. Другая проблема — мощные порывы ветра...

Тем не менее даже скептики признают чрезвычайную перспективность использования в будущем тросовых транспортных систем в космонавтике. Дискуссии идут лишь о сроках. 10-20-50 лет? Доживем ли, дождемся ли?..

*Егор Крупский, ИГ, 17.11.2003*



**25 ноября 2003 года**

**В Физико-техническом институте НАН Беларуси**

*прошел ежегодный семинар под эгидой Министерства промышленности в рамках Государственной программы «Технологии» по проблемам освоения современных технологий и упрочнению технологической оснастки и инструмента*

Семинар собрал более шестидесяти специалистов основных предприятий Республики. Со вступительным словом выступил директор института, академик Гордиенко А.И. Он обрисовал возникающие проблемы внедрения новых технологий, ознакомил собравшихся с современными достижениями института в данной области и науки в целом.

С разработками специалистов Минского автомобильного завода ознакомил заместитель начальника ЦЗЛ УГМет (МАЗ) Михлюк А.И.

Планируется в сталелитейном цехе МАЗ внедрить технологию и оборудование для повышения стойкости стальной литой дроби путем отпуска в специальных индукционных установках, конструкция которых защищена патентами РБ, РФ и Украины на полезную модель. Стойкость дроби после термообработки повысится в 3-5 раз. Экономический эффект от использования технологии и оборудования термообработки стальной литой дроби составит более 1900,0 млн. руб. РБ в ценах 2003г.

Интерес вызвала внедренная технология управляемой прерывистой закалки при индукционном нагреве автомобильных деталей сложной формы.

Упрочнению технологической оснастки и инструмента методами низкотемпературной диффузионной обработки в порошковых смесях и обмазках без использования специального оборудования был посвящен доклад д.т.н., профессора БНТУ Ситкевича М.В.

При упрочнении мелкогабаритных деталей (сверла, метчик, зенкеры, развертки, пунсоны матрицы и др.) их помещают в любую емкость, засыпают диффузионноактивной смесью и выдерживают в печи при 450-550 °С 0,5-3 часа. Упрочнение крупногабаритных изделий (кузнечные штампы, металлоформы) осуществляется с помощью диффузионноактивных обмазок.

Диффузионноупрочненные по предложенной технологии детали инструмента и оснастки испытаны на ряде предприятий республики.

Докторант БНТУ, к.т.н. Томило В.А. доложил, что в рамках выполнения ГНТП «Технологии» ФТИ НАН Б разработана технология и создано оборудование для упрочнения рессорных листов. Согласно предложенному способу, снятие остаточных растягивающих напряжений и поверхностное упрочнение рессорной полосы осуществляется только с одной стороны. Поэтому и инструмент для обработки полос рессор должен обеспечивать поверхностную пластическую деформацию с одной стороны и упругую - с другой. Кроме того, для уменьшения усилия деформирования и мгновенной затрачиваемой мощности обработка производится на части поверхности полосы путем последовательного непрерывного перемещения инструмента по всей обрабатываемой поверхности.

Вакуумно-плазменному упрочнению концевой мелкогабаритной металлорежущего инструмента был посвящен доклад д.т.н. А.К. Вершины.

В инструментально-штамповом производстве широкое распространение получают технологии упрочнения металлорежущего инструмента путем осаждения покрытий, в том числе и композиционных, формируемых вакуумно-плазменными методами. В решающей степени стойкость инструмента с покрытиями предопределяется оптимальностью режимов осаждения пленок. При нанесении покрытий на мелкогабаритный инструмент методом конденсации с ионной бомбардировкой вопрос оптимального сочетания технологических параметров процесса приобретают доминирующее значение, так как в этом случае энергетическое воздействие плазмы на инструментальный материал проявляется наиболее критически.

В дискуссии выступили д.т.н. Мицкевич М.Т. и к.т.н. Поболь И.Л., которые дополнили докладчиков по методам электронноэрозионной вырезке вырубных штампов и электроннолучевой сварке тяжело нагруженных шестерен.

Подвел итоги семинара научный руководитель ГНТП «Технологии», академик Астапчик С.А.



**БЕЛОРУССКОЕ ОБЩЕСТВО ИНЖЕНЕРОВ-МЕХАНИКОВ:  
13.11.2003 г. ПРОВЕЛО СЕМИНАР  
«ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ  
ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОДОСНАБЖЕНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ  
И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА»**

**БЫЛИ ЗАСЛУШАНЫ ДОКЛАДЫ:**

«О выполнении постановления № 1820 СМ РБ 27.12.2002г. (О мерах по экономному расходованию ТЭР)» — *Тур И.В., начальник технического управления, Комитет по энергоэффективности.*

«Приборы учета энергоносителей» — *Некрашевич В.А., ст. научный сотрудник, Институт проблем энергетики.*

«Преобразователи частоты в системах управления производственными процессами» — *Алчаков В.П., директор ООО «Селект» г. Брест.*

«Преобразователи частоты в энергосберегающем приводе (насосы, вентиляторы) — проектно-конструкторские решения. Автоматизированные насосные станции нового поколения» — *Мушко С.В., НТЦ «Приводная техника», РФ.*

Информация представителей фирм - изготовителей оборудования и приборов. ИП «Витера-Энергосервис», НТЦ «Приводная техника»; ЗАО «Белпромоборудование»; ООО «Энситех» и др.

**В первом квартале 2004 г.  
ОО «БОИМ» ПРОВЕДЕТ СЕМИНАРЫ**

**15 ЯНВАРЯ**

**«ЛИФТЫ ПАССАЖИРСКИЕ И ГРУЗОВЫЕ —  
ПРОБЛЕМЫ ТЕКУЩЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ.  
СПОСОБЫ ИХ РЕШЕНИЯ.  
МОДЕРНИЗАЦИЯ ЛИФТОВОГО ХОЗЯЙСТВА»**

**5 ФЕВРАЛЯ**

**«ДИАГНОСТИКА И ЭКСПЕРТИЗА СОСТОЯНИЯ  
ОБОРУДОВАНИЯ И СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК  
И ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ»**

**4 МАРТА**

**«ПРИБОРЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ И УЧЕТА  
ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ»**



## УДАРИМ АВТОПРОБЕГОМ ПО...

### ПРОБЛЕМЫ ТРЕНИЯ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКЕ ДВЕ СТОРОНЫ ОДНОЙ МЕДАЛИ

(Продолжение. Начало см. в № 2(11) - № 3 (20) 2003 г.)

Моющие свойства определяют на установке ПЗВ (рис. 21), представляющей собой легко разбираемую и собираемую модель малолитражного одноцилиндрового двигателя, в котором поршень приводится в движение электродвигателем. С помощью электронагревательных элементов температура головки цилиндра поддерживается на уровне 300 °С, середины цилиндра – 225 °С, масла в картере двигателя – 125 °С, воздуха на всасывании – 220 °С.

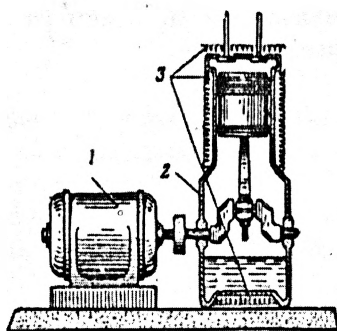


Рис. 21. Схема установки ПЗВ определения моющих свойств масел: 1 – электродвигатель; 2 – одноцилиндровый двигатель; 3 – электронагревательные элементы.

После двухчасовой работы двигателя на стандартном режиме вынимают поршень и оценивают в баллах моющие свойства масла по состоянию боковой поверхности поршня, сопоставляя его с цветной эталонной шкалой. Поверхность поршня без лака оценивается баллом 0, а поршня с максимальным отложением лака — баллом 6. Чем меньше балл, тем устойчивее масло против образования лаковых отложений, тем меньше их будет в двигателе.

Основным средством уменьшения лакообразования в двигателе является добавка к маслам моющих присадок сульфонатных СБ-3, СК-3 ПМС; алкилсалицилатных АСК, АСБ, МАСК и АСМ, а также многофункциональных. Добавка моющих присадок в количестве 3-5% снижает лакообразование с 3,5-5,5 до 0,5-1,5 балла. При работе на таких маслах поршни двигателя длительное время сохраняются чистыми, будто бы вымытыми.

Большинство моющих присадок, являющихся поверхностно активными веществами, создают защитные пленки на твердых или пластичных

частицах окисленного масла, в результате чего эти частицы теряют способность слипаться друг с другом, а также прилипать к нагретым поверхностям. В этом смысле моющие присадки называют еще диспергирующими, так как они стабилизируют суспензию из углеродистых частиц в масле.

Содержание моющих присадок в масле оценивают по показателю зольности - при прокаливании металл присадок переходит в нелетучие окислы. Однако к данному показателю следует относиться критически, так как источником золы могут быть и другие несгораемые примеси.

Поскольку моющие присадки при интенсивном перемешивании масла способствуют его вспениванию особенно при подаче разбрызгиванием, то для нейтрализации этого процесса нередко добавляется антипенная присадка ПМС-200А в количестве 0,001-0,005% представляющая собой кремнийорганическое соединение – полиметилсилоксан. Действие присадки основано на снижении поверхностного натяжения, в результате чего разрушаются воздушные пузырьки пены.

Нагар - это твердые коксообразные отложения на днищах поршней, стенках камер сгорания и клапанах. Нагар на стенках камеры сгорания нарушает тепловой режим двигателя и способствует возникновению детонации. Закоксование электродов свечей вызывает перебои в зажигании. Раскаленные частицы нагара служат причиной преждевременной вспышки (калильное зажигание) рабочей смеси. Частицы нагара, попадая в масло, ухудшают его качество, усиливают осадкообразование при низкой температуре.

Источниками нагара являются смазочное масло и частично топливо. Количество образующегося нагара зависит в основном от температурного режима двигателя. Качество масла и топлива влияет на свойства нагара и его способность удерживаться на деталях камеры сгорания. С повышением температуры нагара становится меньше, так как он быстрее выгорает. Чем менее химически стойко масло и чем больше его расход, тем быстрее образуется предельное количество нагара. Некоторые присадки к маслам (МНИ ИП-22к, БФК) препятствуют нагарообразованию. Вместе с тем большинство присадок, содержащих металлы (кальций, барий), повышают зольность



масла. Зольные присадки при добавление их в масло в значительном количестве (10-20%) усиливают образование нагара. Зола после сгорания масла спекается и приливает к поверхности камеры сгорания, клапанов, свечей. Чем ниже температура плавления золы и выше температура деталей, тем больше зольных отложений. Частицы спекшейся золы абразивны. За последнее время начали внедрять беззольные моющие присадки, т.е. присадки, не содержащие металла. Примером беззольных присадок являются сукцинимиды, в которых металл заменен аминогруппой.

Оценка склонности моторных масел к образованию высокотемпературных отложений - лака и нагара совместно заключается в испытании масла на одноцилиндровой карбюраторной установке НАМИ-1М, представляющей собой отсек двигателя ЗИЛ-130, в течение 120 ч с последующей оценкой нагара- и лакоотложений на поршне по сравнению с результатами испытания на данной установке эталонного масла. При оценке масла по давнему методу учитывают также износ деталей

цилиндропоршневой группы.

Низкотемпературные отложения (шлам) являются веществами, осаждающимися из используемого масла в поддоне картера, маслопроводах, клапанной коробке, на фильтре и сетке приемника маслососа. По виду это липкая, мажеобразная масса серо-коричневого или черного цвета.

Состав отложений зависит от качества применяемого масла и горючего, технического состояния двигателя и условий его эксплуатации. Основными составляющими частями отложений являются масло (50-85%) и (5-35%); кроме них содержатся продукты окисления масла горючего, углеродистые вещества, частицы износа деталей, пыль. При работе двигателя на этилированном бензине в отложениях обнаруживаются соединения свинца. Все эти вещества в результате энергичного перемешивания в двигателе образуют стойкую эмульсию и выпадают из масла в виде мажеподобных сгустков.

*Продолжение в сл. номере*

#### ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

от механика *И.И. Гайкина*  
(ответы на вопросы  
в Ж «И-М» № 3 (20) 2003)

1. В Англии в 1830 г. паровой, в 1847 г. — гидравлический.
2. В 1892 г. в Германии сооружен автомобиль с пожарным насосом.
3. Джеймс Уатт (1736-1819).
4. Джозеф Кессель.
5. Николаус Риггенбакль.
6. Денис Пален (1647-1714).

#### ВАМ ВЫБИРАТЬ:

Юбилеи .....	1
История науки и техники .....	13
Разработки ученых и специалистов .....	24
Семинары .....	45
Страница автомеханика .....	47

### Счастья, здоровья, успехов Вам в Новом году!

Ж «И-М» издается с июля 1998 года. Выходит один раз в три месяца. Подписной индекс 00139.

Учредитель - Белорусское общество инженеров-механиков

Журнал зарегистрирован в Госкомитете РБ по печати, свидетельство № 1132 от 21 апреля 1998 года

Главный редактор академик НАН Б С.А. АСТАПЧИК

Редакционная коллегия: М.С. ВЫСОЦКИЙ, Ю.М. ЗАХАРИК, А.Б. ЗУЕВ,  
С.М. КРАСНЕВСКИЙ, М.М. КОМАРОВСКИЙ, Д.И. КОРОЛЬКОВ, Г.С. ЛЯГУШЕВ,  
Е.И. МЕДВЕЦКИЙ, М.Г. МЕЛЕШКО, И.А. СОЛОДУХА,  
К.Г. ЧЕСНОВИЦКИЙ, В.А. ШУРИНОВ

Компьютерный набор, верстка, дизайн Людмила Ходарина.

Журнал выходит на русском и белорусском языках.

Мнение авторов публикуемых материалов может не совпадать с мнением редакции.

Заказчики несут ответственность за содержание своих объявлений и рекламы.

Наш адрес: 220141, г. Минск, ул. Купревича, 10. Тел. 264-43-85, 264-60-10, 226-73-36.

Лицензия ЛП № 245 от 9.03.2003 г. Подписано к печати 29.12.2003 г.

Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печатных листов 5.

Тираж 600 экз. Заказ №330 . Цена номера договорная.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика в Физико-техническом институте НАН Б.



## ∞ В РЕАНИМАЦИИ ∞

В сверкающей снегом палате  
 Меня привязали к кровати:  
 За правую руку к раствору,  
 За левую — к монитору.  
 На грудь, как герою медалей,  
 Наклеили сосок-миндалей.  
 Прищепкой с оранжевым светом  
 Мне палец большой прищепили.  
 Все это стожильною ЛЭП  
 С компьютером соединили.

И ровно в назначенный срок  
 Манжета мне бицепс сжимает.  
 Давление в порядке — короткий гудок,  
 Чуть сбой — отзывается лаем.  
 Лай будит: сестрица уж рядом со мной.  
 Друзья и родные — в тревожной настройке.  
 Я силюсь припомнить тот миг роковой,  
 Который привел на больничную койку.

*Алексей Zubov*

## ∞ ЗНАНИЕ — СИЛА ∞

Открыл свои двери информационный центр, созданный в рамках отдела библиотечного маркетинга Республиканской научно-технической библиотеки (к. 607). Создание его было давней мечтой и насущной потребностью библиотеки такого уровня. Основная задача информационного центра РНТБ — наладить прочную связь между наукой, инновационной деятельностью и производством. Эту задачу сотрудники отдела решают путем организации и проведения целого ряда научно-технических мероприятий. Каких?

Например, ярмарка идей. Ведь во главе угла любой деятельности всегда стояла, стоит и будет стоять идея. А если в какой-либо отрасли есть ряд интересных решений? Тогда и надо проводить ярмарку, где разработчики и производители смогут обсудить все достоинства предлагаемых проектов и реализовать самое эффективное решение. Информационный центр РНТБ — это та демонстрационная площадка для каждого отечественного изобретателя, рационализатора, творческого производственного коллектива, которая позволит раскрыть и использовать новые отечественные достижения во благо развития страны.

Как показывает международный опыт, одним из наиболее популярных и действенных методов обмена опытом являются мини-конференции, круглые столы, где в узком кругу заинтересованных специалистов рождается плодотворное сотрудничество в той или иной отрасли производства. Этот опыт также взят на вооружение сотрудниками отдела библиотечного маркетинга.

Сейчас все активнее используется такая форма представления, как презентация. В информационном центре РНТБ это может быть как презентация издания, электронного информационного продукта, так и промышленного образца, рационального предложения, инновационного проекта.

И все эти мероприятия, конечно, будут базироваться на информационной платформе РНТБ. По каждой обсуждаемой теме специалистами центра будет подготовлена выставка литературы и документов из фонда библиотеки, предложена библиографическая информация, глобально раскрывающая изучаемый вопрос, представлены соответствующие отечественные и международные информационные базы данных.

Участником и соорганизатором подобных мероприятий может стать **любая организация** или творческий «технар». Для такого совместного мероприятия специалисты центра подготовят электронную презентацию, пригласят на него заинтересованных в вашей разработке специалистов и представят самую последнюю информацию по рассматриваемому вопросу.

Информационный центр — это еще и место, где ежемесячно проводятся тематические выставки, для специалистов различных отраслей деятельности, где наиболее полно раскрывается информационный потенциал РНТБ. Уникальность подобных выставок состоит в том, что специалист в одном месте (в информационном центре) может получить весь спектр новейшей профессиональной информации: отечественные и зарубежные книги, периодические издания, патенты, стандарты, промышленные каталоги. Несмотря на то, что информационный центр открылся в июле 2003 года, уже были организованы и проведены две крупномасштабные тематические выставки: «Пожарное дело», приуроченная к 150-летию пожарной службы Беларуси, и «От проекта до ключа: промышленное и гражданское строительство». Выставки вызвали большой интерес не только у профессионалов, о чем свидетельствуют отзывы посетителей выставок.

Информационный центр — современное, уютное помещение, обеспеченное мультимедийной техникой, которая позволяет наиболее полно раскрыть и представить любой инновационный проект, продемонстрировать работу программных продуктов, донести нужную информацию.

Но, как говорится, лучше один раз попробовать, чем... Надеемся, что информационный центр РНТБ, что находится на проспекте Машерова, 7, будет надежным информационным партнером для многих республиканских предприятий, организаций в деле развития научно-технического прогресса в Беларуси.

*М.Д. Ясюк, зав. отделом библиотечного маркетинга*

**ЖДЕМ ВАС В РНТБ**





РСО

*Соратнику  
белорусской индустрии,  
детищу Петра Первого,*

*Новолипецкому  
металлургическому  
комбинату —*

**300 лет**



*Исключительный вклад в достижение  
комбинатом мировых высот внес его  
генеральный директор*

**Иван  
Васильевич  
Франценюк**