

# ИНЖЕНЕР- МЕХАНИК

№ 1 (46)  
январь – март  
2010

Республиканский межотраслевой производственно-практический журнал  
Издается с июля 1998 года  
Выходит один раз в три месяца

Учредитель — Белорусское общество инженеров-механиков

Главный редактор академик С.А. Астапчик

Редакционная коллегия: М.С. Высоцкий, М.А. Андреев, В.Н. Дашков, А.М. Захарик, А.Б. Зуев, В.Л. Колпашиков, Л.Н. Крупец, Д.И. Корольков, Г.С. Лягушев, Е.И. Медвецкий, М.Г. Мелешко, С.А. Чижик

Адрес редакции:

220141, Минск, ул. Купревича, 10 (ранее Жодинская, 4)

тел./ факс 203-88-80; 226-73-36

E-mail: mail@boim.by

Свидетельство о регистрации № 1132 от 21.04.1998

Подписной индекс 00139

Компьютерная верстка Н.В. Райченко

Подписано в печать 15.03.2010

Формат 60×84/8. Бумага офсетная.

Гарнитура «Таймс». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 5,6. Уч.-изд. л. 3,1.

Тираж 350 экз. Заказ №

Цена номера договорная.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика в ГНУ «Физико-техническом институте НАН Беларуси».

Лицензия ЛП № 02330/0494176 от 3.04.2009 г.

220141, г. Минск, ул. Купревича, 10.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Разработки ученых и специалистов

Детонационные процессы в гомогенных и гетерогенных системах: теория, эксперимент, диагностика.....2

Памяти Константина Захаровича Шепеляковского.....5

Опыт применения смазочно-охлаждающих жидкостей на Минском автомобильном заводе.....6

Испытания материалов на трение в космосе.....9

Определение максимального перемещения части рабочего органа рессорной мельницы.....16

Технологические машины планетарного типа и перспективы их использования.....19

Покрытие пресс-форм эпилами.....23

Создание импортозамещающих кровельных покрытий «Пинофол».....24

Резервирование газа с целью компенсации пиковых нагрузок газопотребления.....27

Некоторые пути совершенствования измельчителей ударного действия.....31

### Из истории МВИЗРУ

Кузница инженерных кадров для войск ПВО страны.....36

### Из истории авиации

Наш ответ Чемберлену, или Стратегическая авиация СССР.....39

### Из истории Минска

Минск глазами очевидца.....43

## ДЕТОНАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ГОМОГЕННЫХ И ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ: ТЕОРИЯ, ЭКСПЕРИМЕНТ, ДИАГНОСТИКА

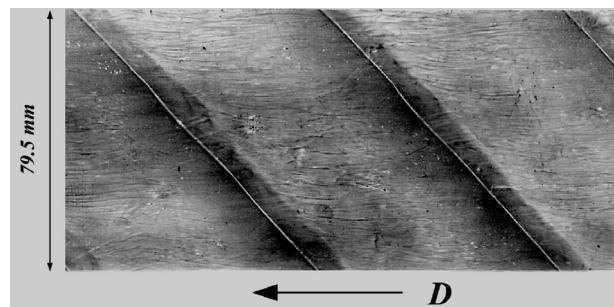
*Жданок С.А., Пенязьков О.Г., Фомин Н.А.*

Горение — один из важнейших природных процессов и, наверное, является первым предметом наблюдений, исследований и технологических применений в истории человечества. Одним из наиболее сложных ее проявлений является детонация, которая представляет собой процесс сверхзвукового распространения волны химической реакции по исходной смеси горючих газов или газозвесей со скоростью 1,5–3,0 км/с. Взрывная волна сопровождается резким скачком давления, в 15–30 раз превышающим его начальный уровень, и за миллионные доли секунды превращает исходное вещество в продукты химической реакции. Особый интерес к исследованиям детонации появился после открытия эффектов пространственной самоорганизации течения в детонационном фронте, приводящих к образованию сложной трехмерной ячеистой структуры детонационной волны, а также явления спиновой детонации. В научной литературе часто проводятся аналогии между структурой детонации и другими периодическими механизмами самоорганизации течения в смежных областях физико-химической газодинамики и магнитоплазмотоники.

Характерные элементы структуры течения в детонационном фронте, образующиеся по мере его эволюции в пространстве, — детонационные ячейки — наиболее просто регистрировать и измерять следовым методом, покрыв перед опытом стенки трубы тонким полупрозрачным слоем сажи. Проходящая детонация оставляет на сажевом слое сетку следов, вычерчиваемую точками пересечения ударных разрывов и напоминающую рыбацкую сеть. При переходе к спиновой детонации сетка на стенке трубы превращается в винтовую линию или полосу с некоторой внутренней структурой, представляющую собой след

единственной поперечной волны, движущейся вдоль окружности трубы (рис. 1). При этом движение очага воспламенения происходит строго по винтовой линии с шагом, равным примерно трем калибрам канала, с направлением движения очага под углом  $45^\circ$  к поперечному сечению трубы. Развертка собственного свечения при спиновой детонации в смеси  $2\text{CO} + \text{O}_2$ , сделанная методом компенсации полной скорости поперечной волны, приведена на рис. 2, а. Ячеистые и спиновые структуры регистрируются также оптическими и другими экспериментальными методами, обладающими необходимым пространственно-временным разрешением. Одна из классических фотографий, фиксирующая траектории движения наиболее ярких точек детонационного фронта при переходе детонации из трубы в цилиндрический объем, показана на рис. 2, б.

Законченной теоретической модели, позволяющей предсказывать поведение и свойства трехмерной детонации для произвольных граничных условий, еще не создано, хотя в некоторых работах сделаны попытки такого описания. В этой связи развитие трехмерных представлений о структуре



*Рис. 1. Следовой отпечаток движения волны спиновой детонации вдоль круглой трубы*

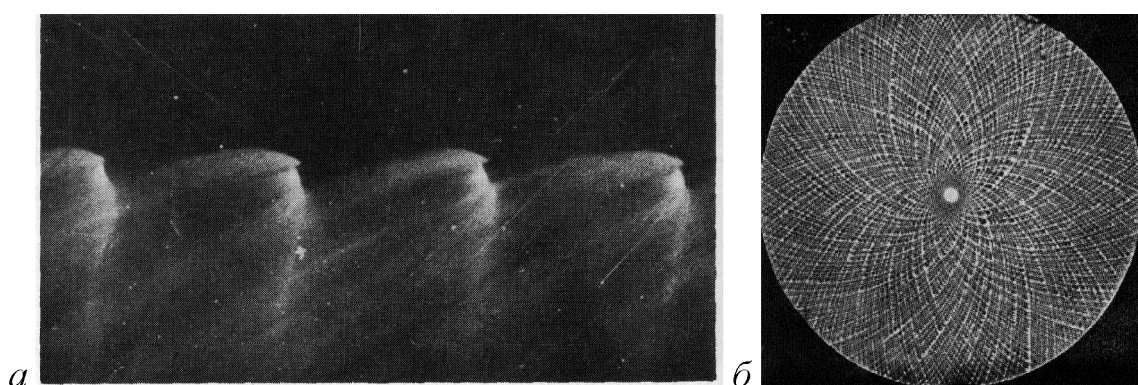


Рис. 2. Развертка собственного свечения волны спиновой детонации (Войцеховский Б.В. и др., 1958) и свечение незатухающей детонации, распространяющейся в цилиндрическом объеме (Солоухин Р.И., 1963)

течения и энерговыделения во фронте детонационной волны весьма актуально с точки зрения теории и многих практических приложений, которые стали развиваться в последнее время. Стоит отметить, что учет фактора трехмерности чрезвычайно важен и при описании многих реагирующих течений с ударными волнами, происходящих в сложных неоднородных условиях.

Работы по изучению высокотемпературного воспламенения и горения газов и газовзвесей в динамических условиях за проходящими и отраженными ударными волнами (УВ), которые обеспечивают режимы распространения и пределы детонации, интенсивно ведутся как у нас в стране, так и за рубежом. Такие исследования всегда определялись насущными практическими проблемами. Связано это с прикладными задачами создания высокоэффективных камер сгорания, новых видов боеприпасов, разработкой ракетных и авиационных двигателей следующего поколения, усовершенствованием двигателей внутреннего сгорания (ДВС), подавления процессов детонации, пожаро- и взрывобезопасностью и многими другими фундаментальными проблемами в механике, теплофизике, физики горения и взрыва.

По сравнению с существующими схемами организации горения в воздушно-реактивных и ракетных двигателях детонационное сжигание топлива имеет ряд принципиальных преимуществ, главное из которых — высокий термодинамический коэффициент полезного. Этот режим позволяет поддерживать чрезвычайно высокий массовый расход рабочей смеси через фронт детонационной волны и в этом отношении является весьма перспективным для использования в двигательных установках ввиду высокого удельной мощности, эффективности и простоты. Существует несколько принципиальных схем организации рабочего

процесса для двигателей, работающих в режиме детонационного горения. Одна из них основана на сгорании топлива во вращающейся поперечной детонационной волне, распространяющейся в кольцевых цилиндрических камерах. В этом случае непрерывная работа двигателя обеспечивается за счет движения фронта волны вдоль замкнутой траектории. При этом продукты реакции постепенно выталкиваются к выходному сечению камеры сгорания и замещаются свежей смесью. Вторая схема базируется на концепции сжигания топлива в стоячей детонационной волне. Это означает, что скорость набегающего потока должна быть очень высокой, т. е. больше либо равной скорости детонации для топливной смеси, используемой в силовой установке. Для проточных систем такая организация рабочего процесса рассматривается, прежде всего, применительно к использованию на гиперзвуковых летательных аппаратах. Третья схема основана на концепции взрывного горения рабочей смеси в периодически возникающих детонационных волнах, которые распространяются вдоль камеры сгорания. Этот режим силовой установки импульсного детонационного двигателя (ИДД) обладает способностью работать в достаточно широком диапазоне скоростей полета, вплоть до дозвуковых. На рис. 3 представлены расчетные КПД циклов сжигания топлива при постоянном давлении —  $p = \text{const}$  (цикл Брайтона), постоянном объеме  $V = \text{const}$  (цикл Хампри) и цикла ИДД в зависимости от числа Маха полета. Видно, что КПД цикла с детонационным сжиганием топлива значительно выше КПД цикла Брайтона, используемого в современных реактивных двигателях летательных аппаратов, особенно при низких степенях сжатия. Это связано с тем, что при одинаковых начальных условиях продукты детонации горячей

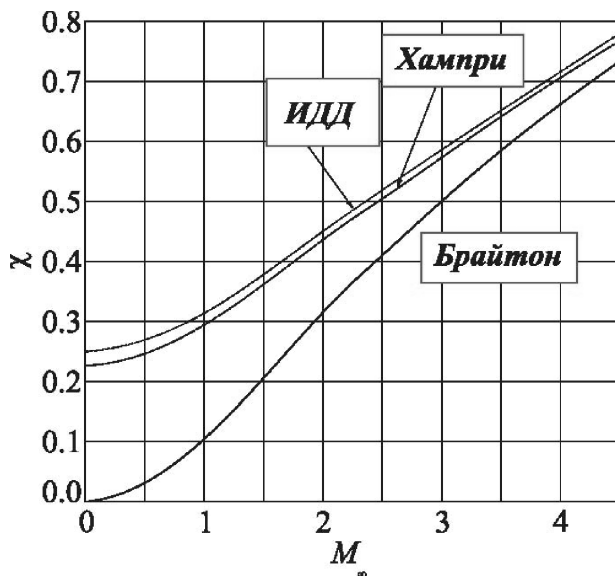


Рис. 3. Термический КПД детонационного цикла сжигания топлива (кривая ИДД) по сравнению со сгоранием при  $p = \text{const}$  (цикл Брайтона) и при  $V = \text{const}$  (цикл Хампри) в зависимости от скорости полета летательного аппарата с прямоточным бескомпрессорным двигателем (Фролов С.М., 2005)

смеси обладают меньшей энтропией, чем продукты горения в замкнутом объеме, и при постоянном давлении, и при изэнтропическом расширении продуктов в атмосферу большая часть химической энергии топлива превращается в полезную работу. Такое повышение КПД, если оно технически достижимо, привело бы к значительному повышению экономичности двигателя.

Особый интерес к исследованиям детонации горючих газовзвесей также связан с их широким распространением в промышленности, где подобные газовзвеси используются в качестве рабочих тел в химической, аэрокосмической, горной и других видах промышленности. В частности, здесь возможна реализация нежелательных ситуаций, когда под воздействием какого-либо волнового воздействия неустойчивые отложения реагирующей пыли (частицы металла регулярного и наноразмера, угля и др.) образуют взрыво-пожароопасную смесь и способны к воспроизводству детонационно-подобных режимов сгорания. Для предотвращения подобных нежелательных явлений и оценки последствий катастрофических взрывов в промышленности необходимо создание научных основ безопасной работы различных технических устройств в условиях запыленной атмосферы, а также и в пористых средах. Это

необходимо также для выработки научно обоснованных критериев взрыво-пожаробезопасности.

Для создания научных предпосылок решения прикладных проблем использования детонации в Институте теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (ИТПМ) и Институте тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси (ИТМО) в течение многих лет проводились многоплановые исследования детонационных явлений, инициированные академиком Н.Н. Яненко и чл.-корр. Р.И. Солоухиным. В их основе лежит комплексный подход, основанный на использовании методов физического и математического моделирования процессов механики гетерогенных сред, высокотемпературной теплофизики, газовой динамики, химической кинетики и теории тепло- и массопереноса, а также новых методов оптической и контактной диагностики высокоскоростных высокотемпературных потоков.

Теоретические и экспериментальные работы, проводимые в ИТПМ СО РАН с начала семидесятых годов по настоящее время, посвящены проблемам механики течений реагирующих смесей газов и дисперсной фазы. В ИТМО НАН Беларуси исследования горения и детонации ведутся также с начала семидесятых годов до настоящего времени. Белорусские авторы разработали научные основы сверхадиабатического горения в пористых средах, теорию воспламенения и детонационного горения различных углеродо- и водородо-воздушных топлив в широком диапазоне условий, распространения и пределов детонации в сложных трехмерных средах с учетом эффектов фокусировки. Работы Сибирской и Белорусской школ проводились в рамках совместных проектов и сотрудничества, взаимно дополняя друг друга, ежегодно докладывались и обсуждались на международных научных форумах и получили высокую оценку научной общественности.

За эти годы на основе экспериментальных и теоретических исследований создана иерархия физико-математических моделей, соответствующие экспериментальная и математическая технологии для моделирования, описания и прогнозирования воспламенения и горения топливно-воздушных рабочих сред, включая газовзвеси с твердыми частицами, распространения горения и детонации в таких средах, в совокупности позволившие создать научные основы предотвращения катастрофических взрывов, а также использования процессов нестационарного горения и детонации в новых технологических процессах и вновь развивающихся аэрокосмических приложениях.

## ПАМЯТИ КОНСТАНТИНА ЗАХАРОВИЧА ШЕПЕЛЯКОВСКОГО

известного советского и российского ученого-металловеда, крупного специалиста в области металловедения и термической обработки с использованием скоростного нагрева, профессора, доктора технических наук, заслуженного изобретателя РСФСР.



1913–2001

Константин Захарович Шепеляковский был первым учеником и соратником основателя индукционного нагрева — члена-корреспондента АН СССР В.П. Вологодина. Жизненный путь К.З. Шепеляковского — яркий пример служения науке: Ленинградский электротехнический институт — учащийся рабфака, студент; АМО-ЗиС (ЗиЛ) — начальник бюро ТВЧ, непосредственный участник эвакуации завода в начале Великой Отечественной войны в г. Миасс (ныне ОАО «УРАЛАЗ») и срочнейшего пуска индукционных установок под руководством В.П. Вологодина, главный конструктор по электротермическому оборудованию; Московский вечерний

металлургический институт — заведующий кафедрой, научный руководитель Отраслевой лаборатории Минавтопром; ЗАО «Техмаш» (ныне ЗАО «НПК Техмаш и ОПЗ») — научный руководитель. Он скоропостижно ушел из жизни на 89 году, собираясь в командировку на Урал в г. Чусовой.

Вклад К.З. Шепеляковского в мировую науку не оценим. Он показал, что скоростной электронагрев позволяет сформировать в структуре стали сверхмелкое аустенитное зерно № 11–15 (ГОСТ 5639, ASTM). Это способствует получению комплекса высоких прочностных и пластических характеристик стали в закаленном и низкоотпущенном состоянии, которой невозможно было достичь при печном нагреве. Благодаря тщательным исследованиям, проводимым в 50–60-х гг. Константином Захаровичем, классическая теория термической обработки стали оказалась приемлемой и для скоростного нагрева, т. к. в этих работах были опровергнуты ошибочные объяснения причин повышения прочности стали и так называемой «сверхтвердости» неоднородностью мартенсита по содержанию углерода и дроблением блоков мозаики. Позднее К.З. Шепеляковский доказал экономическую необоснованность таких технологий, как термоциклирование с большим количеством циклов и закалка под слоем жидкости. Созданный им прогрессивный способ термической обработки — объемно-поверхностная закалка (метод ОПЗ) — и сегодня не имеет аналогов в мировой практике.

В области металлургии К.З. Шепеляковский, используя новейшие технологии выплавки, разработал углеродистые стали пониженной и

регламентированной прокаливаемости (стали ПП и РП) с устойчивым особо мелким действительным зерном. Наличие такого зерна в сталях позволяло применять для них не только индукционный, но и печной нагрев, и заменять тем самым дорогостоящие легированные стали и трудоемкие процессы термической и химико-термической обработки на метод ОПЗ.

В 1960 г. К.З. Шепеляковский впервые в мире внедрил в производство шестерен из стали 55пп интенсивное охлаждение быстродвижущимся потоком воды в процессе ОПЗ. Вопреки общественному мнению тех лет такое резкое охлаждение позволило значительно повысить твердость высоко- и низкоуглеродистых сталей без трещинообразования за счет подавления отпуска мартенсита в процессе его образования, имеющего место при закалке в слабых охлаждающих средах — масле, эмульсии и широко применяемых сегодня на заводе водорастворимых полимерах.

К.З. Шепеляковским проведены фундаментальные исследования кратковременных процессов самоотпуска и электроотпуска стали и доказана абсолютная идентичность этих режимов с длительным печным отпуском.

Заслуги Константина Захаровича Шепеляковского в электротехнологии машиностроения неоспоримы. Он продолжил традиции В.П. Вологодина, на практике подтвердив преимущественную роль звуковых частот над радиодиапазоном в термической обработке и кузнечном производстве. Разработанный им метод стабилизации индукционного нагрева с обратной связью по конечному

электрическому параметру в настоящее время применяется во всем мире.

К.З. Шепеляковским опубликовано более 150 научных работ, включая 6 монографий. Монография «Упрочнение деталей машин поверхностной закалкой при индукционном нагреве» удостоена премии имени Д.К. Чернова.

В течение многих лет К.З. Шепеляковский являлся членом национального комитета по электротермии и более 40 лет входил в состав редколлегии журнала «Металловедение и термическая обработка металлов». Он является основателем школы металлоспециалистов-металлургов и электротермистов. Ему вместе с коллективом единомышленников довелось внедрить свои разработки с высокими экономическими показателями на предприятиях РФ и СНГ — это шестерни, полуоси, крестовины кардана, железнодорожные подшипники из сталей ПП и РП и др.

К.З. Шепеляковский подготовил более 25 кандидатов и докторов наук. Его трудовая деятельность отмечена правительственными наградами: два ордена «Знак Почета», орден «Трудового Красного Знамени». Как автору более 90 изобретений и 30 иностранных патентов, ему присвоено почетное звание «Заслуженный изобретатель РСФСР».

Ученики и последователи Константина Захаровича Шепеляковского продолжают развивать дело его жизни.

*В.И. Иванов, А.А. Кузнецов  
ВНИИ ТВЧ им. В.П. Вологодина,  
ЗАО «НПК Техмаш и ОПЗ»*

УДК 629.621.9.079

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ НА МИНСКОМ АВТОМОБИЛЬНОМ ЗАВОДЕ

*к. т. н. Сидоренко М.И., доц. Бакин В.А., Казленко Ю.А.*

Одним из важнейших средств повышения производительности труда при механической обработке деталей и улучшения качества продукции является правильный выбор смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). Их роль при внедрении

высокопроизводительного оборудования, оснащенного числовым программным управлением (ЧПУ), не только не снижается, но даже возрастает.

В нашей стране и зарубежных государствах за последнее время появилось большое количество

СОЖ различных наименований и назначений. Это говорит о том, что указанное направление нефтехимии успешно развивается и у заводских специалистов появляются разнообразные и эффективные способы воздействия с помощью новых СОЖ увеличивать стойкость режущего инструмента, улучшать качество обработанных поверхностей в процесс механической обработки деталей.

На ОАО «МАЗ» для охлаждения режущего инструмента при механической обработке применяют водосмешиваемые, водорастворимые и масляные СОЖ как отечественных, так и зарубежных производителей. Поэтому весьма актуальной является задача проведения испытаний и внедрение в производство наиболее эффективных и экономически доступных СОЖ.

На менее ответственных операциях механической обработки на заводе применяется 6-процентная эмульсия на основе концентрата ЭК-2С, ТУ РБ 101353647.001-2003 (производитель ООО «Сантома», г. Минск). Эмульсия на основе этого концентрата обеспечивает оптимальную стойкость режущего инструмента и качество обработанных поверхностей в соответствии с требованиями чертежно-технической документации (ЧТД). Она стабильна в процессе эксплуатации, микробопораженность не превышает  $10^5$  микробов в  $1 \text{ см}^3$ , т. е. соответствует санитарным нормам. Да и способ приготовления весьма прост: концентрат разводится холодной водой путем перемешивания «обратным» насосом или с помощью ковитатора в эмульсоварочных участках.

К сожалению, у данной СОЖ есть существенный недостаток — межоперационная защита обработанных деталей от коррозии не превышает 48 ч.

Поэтому при обработке ответственных деталей, большинство из которых обрабатывается на станках с ЧПУ или на обрабатывающих центрах, на заводе до последнего времени использовалась 5-процентная эмульсия на основе концентрата «EMOL-O-CUT 297E» (производитель — «ML Lubrication GmbH», Германия).

Защитная способность от коррозии такой эмульсии достигает 7–10 сут.

Однако в последнее время очень остро стал вопрос о замещении импортных СОЖ на отечественные.

В связи с этим на заводе проведены производственные испытания отечественного концентрата «Виттол-297» (производитель ООО «Сервовит», г. Минск). 5-процентная эмульсия на основе концентрата «Виттол-297» испытывалась при механической обработке кронштейнов,

изготавливаемых из стали 40Х твердостью 156...229 НВ на обрабатывающем центре ИС-800.

Перед началом испытаний система охлаждения станка и емкость для хранения и раздачи эмульсии были тщательно промыты и очищены с помощью моюще-дезинфицирующего средства МДС-К.

В ходе испытаний сравнивались стойкость режущего инструмента, возможность нарезания качественных резьб, шероховатость обработанных поверхностей, антикоррозионные свойства, рН и стабильность эмульсии, санитарно-гигиенические свойства: запах и воздействие на кожу рук работающих по сравнению с 5-процентной эмульсией на основе концентрата «EMOL-O-CUT 297E» (Германия).

Испытания, длившиеся более 3 месяцев, показали, что качество нарезаемых резьб и шероховатость обработанных поверхностей соответствовали требованиям ЧТД, а стойкость режущего инструмента была одинаковой, как при охлаждении эмульсией на основе немецкого концентрата.

Опытная эмульсия в процессе испытаний оставалась стабильной, выдерживала испытания на коррозию, рН оставался в пределах нормы 9,2–9,3, неприятного запаха и отрицательного воздействия на кожу рук работающих не наблюдалось.

Особо следует отметить, что в течении периода эксплуатации опытной эмульсии процентное содержание концентрата возросло, т. к. со стружкой преимущественно происходил унос воды. Испаряемость опытной эмульсии была такой же, как и ранее применяемой на основе немецкого концентрата.

Проведенные испытания позволили заменить немецкий концентрат «EMOL-O-CUT 297E» на отечественный — «Виттол-297». Экономический эффект в 2009 г. составил более 100 млн. руб.

На особо ответственных операциях шлифования, где требуется получить шероховатость поверхности не более  $1,25 \text{ мкм}$  в качестве СОЖ используется 3-процентная эмульсия на основе полусинтетического концентрата Велс-1М, производства Пермского нефтеперерабатывающего завода (Россия).

К сожалению, испытания полусинтетических отечественных СОЖ не дали положительных результатов.

На операциях зубообработки и резьбонарезания применяется осерненное масло МР-7 производства завода «Горного воска» г. п. Свислочь.

На особенно отечественных операциях резьбообработки используется осерненное масло

«Виттол 225» производства ООО «Серовит», содержание серы в котором увеличено до 3,0–3,5 %. Тогда как в масле MP-7 содержание серы — 1,2–2,0 %.

В течение последних 3 лет заводом были приобретены высокопроизводительные станки фирмы «LIEBHERR» и «Reishauer» (Германия) и зубодолбежные станки фирмы «LIEBHERR».

При обработке деталей на этих станках применялись три разных немецких масла: «Dascolene 617» и «Macron 2425 S14» на зубошлифовальных станках «LIEBHERR» и «Reishauer» соответственно и масло «Ecoscut 628 LE» — на зубодолбежных станках фирмы «LIEBHERR». Все эти масла приходилось закупать у трех разных дилеров, находящихся на территории России.

Охлаждающие масла при зубошлифовании имели низкую вязкость 12–20 мм<sup>2</sup>/с и очень высокую температуру вспышки — 180–190 °С. А в масле для зубодолбления были специальные противозадирные присадки. Масел с такими физико-химическими свойствами и противозадирными присадками в Беларуси не производится.

Поэтому было принято решение совместно с фирмой «ML Lubrication GmbH» (Германия)

провести работы по созданию одного охлаждающего масла для всех зубошлифовальных станков и другого — для зубодолбежных станков.

Такие масла были созданы:

- EMOL-O-HON 925/6 для зубошлифования;
- EMOL-O-HON 925/2 для зубодолбления.

Данные о ранее используемых маслах и вновь созданных приведены в таблице.

Испытания показали, что стойкость абразивных кругов при зубошлифовании и долбяков при зубодолблении, а также шероховатость обработанных поверхностей при замене применяемых охлаждающих масел на вновь созданные не изменилась.

Преимущество новых охлаждающих масел состоит в том, что они были значительно дешевле применяемых и закупаются у одной фирмы без посредников напрямую из Германии, т. к. представительство этой фирмы «ML Lubrication GmbH» находится в Минске.

Внедрение новых охлаждающих масел взамен применяемых позволило получить экономический эффект около 50 млн. руб.

Работы по изысканию и внедрению в производство новых СОЖ продолжаются.

Таблица

Операция, модель станка и фирма производитель	Деталь, наименование, материал, твердость	Охлаждающее масло, фирма производитель	Физико-химические показатели охлаждающих масел	
			Вязкость при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с	Температура вспышки, °С
Зубошлифование: RZ 400 «Reishauer»	Шестерня ведущая, Сталь 20ХН3А, 59 HRC не менее	Было: «Dascolene 617», «Стюарт»	17–19	180
		Стало: EMOL-O-HON 925/6 «ML Lubrication GmbH»	18–20	190
Зубошлифование: LCS 300 «LIEBHERR»	Сателлит, Сталь 20ХН3А, 59 HRC не менее	Было: «Macron 2425 S14», «Shell Macron GmbH»	13–16	190
		Стало: EMOL-O-HON 925/6 «ML Lubrication GmbH»	18–20	190
Зубодолбление: LFS 300 «LIEBHERR»	Ведомая шестерня, Сталь 25ХГТ, Сталь 40Х, 241...285 HB	Было: «Ecoscut 628 LE», «Fuchs Europe Schmierstoffe»	24–26	180
		Стало: EMOL-O-HON 925/2 «ML Lubrication GmbH»	18–22	180



# ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА ТРЕНИЕ В КОСМОСЕ

<sup>1</sup>Мышкин Н.К., <sup>1</sup>Григорьев А.Я., <sup>2</sup>Басинюк В.Л., <sup>3</sup>Броновец М.А.

<sup>1</sup>Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси,

<sup>2</sup>Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

<sup>3</sup>Институт проблем механики РАН

*Рассмотрены вопросы аппаратно-методического обеспечения космических и наземных испытаний материалов на трение и износ. Приведены основные характеристики используемого в эксперименте триботехнического оборудования.*

## Введение

Дальнейшее освоение околоземного пространства не может быть обеспечено только наращиванием числа и частоты вывода на орбиту объектов космической техники даже при использовании перспективных средств их доставки. Успешное решение этой задачи неразрывно связано с увеличением надежности и ресурса орбитальных аппаратов. В этой связи основные направления развития космической техники следующего поколения предусматривают значительное увеличение сроков ее эксплуатации. Одной из задач, возникающих при реализации этих требований, является обеспечение необходимого ресурса работы узлов трения, работающих в открытом космосе.

По условиям эксплуатации многие узлы трения орбитальной техники — зубчатые передачи и подшипники антенных платформ, петли люков, приводы различных механизмов, резьбовые соединения, замковые механизмы, контактные уплотнения, работают вне герметизированных отсеков. Трение в этих узлах происходит при воздействии целого ряда неблагоприятных факторов космического пространства (ФКП), к главным из которых относят отсутствие окислительной среды и паров воды, значительных перепадов температуры (170–420 К), ионизирующего и ультрафиолетового излучения, пучков ионов и тяжелых частиц. В таких условиях механизмы трения и изнашивания существенно отличаются от наземных, что не позволяет использовать традиционные (наземные) решения для обеспечения требуемых характеристик и параметров надежности узлов трения.

С момента первых запусков космических аппаратов этой проблеме уделялось самое пристальное внимание. Однако в наземных условиях невозможно провести адекватные по совокупности действующих ФКП испытания триботехнических материалов. Во-первых, очень трудно подобрать условия испытаний, идентичные условиям эксплуатации, и, во-вторых, не все ФКП известны и могут быть воспроизведены. По этим причинам невозможно обойтись без проведения натуральных исследований.

## Первое триботехническое испытание в космосе

Первый и пока единственный эксперимент по исследованию трения и изнашивания материалов в открытом космосе был проведен в ходе выполнения научной программы Луна-4 (1974 г.). Для его реализации на НПО им. С.А. Лавочкина был создан прибор — имитатор трения (ИТ), установленный снаружи космического аппарата Луна-24, выведенного на орбиту Луны [1]. С помощью этого прибора был решен ряд наиболее актуальных задач космического трибоматериаловедения [2]. Испытания в вакуумных камерах и на космическом корабле производились по одним и тем же схемам испытаний.

В комплект имитатора трения входили: автономный прибор ИТ (габариты: 315×230×180 мм, масса — 4,0 кг); два пятиканальных тензометрических преобразователя (габариты: 225×170×120 мм, масса — 1,5 кг); блок управления испытуемыми узлами (габариты: 240×180×60 мм, масса — 1,5 кг).

Автономный прибор ИТ показан на рис. 1, а. Он состоит из герметичного электромеханического привода 1 и блока узлов трения 2. В приборе ИТ использовались две схемы испытаний на трение: схема «диск – палец» 1 рис. 1, б и схема «вал – втулка» 2 рис. 1, б. Одновременно испытываются девять узлов трения: три узла «вал – втулка» и шесть узлов «диск – палец».

Согласно техническому заданию, продолжительность работы прибора ИТ на борту космического аппарата должна была ограничена 120–150 ч. из-за обширной общей научной программы по исследованию Луны и окололунного пространства и ограниченности числа каналов телеметрии. Испытаниям подвергалось широко применяемое в узлах трения механизмов космических аппаратов твердое смазочное покрытие (ТСП) ВНИИ НП-212, смазочным компонентом которого является  $\text{MoS}_2$ .

Образцы изготавливались из алюминиевых сплавов марок Д16Т и АМГ-6, причем в качестве подложки под покрытие использовался менее твердый из этих сплавов АМГ-6. Для пары «вал – втулка» твердое смазочное покрытие наносилось на вал, а для пары «диск – индентор» — на диск. Толщина покрытия составляла  $15 \pm 5$  мкм. Материалы для испытываемых образцов были выбраны таким образом, чтобы за короткое время

эксперимента успеть реализовать все стадии процесса трения, начиная с момента приработки трущихся поверхностей и заканчивая выходом из строя механического узла. Критериями оценки работоспособности испытываемого узла являлись величина коэффициента трения и продолжительность работы (ресурс) антифрикционного покрытия. Резкое необратимое увеличение коэффициента трения ( $f > 0,3$ ) характеризовало износ покрытия и возникновение металлического контакта между трущимися поверхностями.

Скорость вращения выходного вала с закрепленными образцами составляла 21 об./мин, что соответствовало скоростям скольжения для пары «вал – втулка» 0,008 м/с, а для пары «диск – индентор» — 0,01 м/с. Такая малая скорость вращения выбрана для того, чтобы свести к минимуму влияние скорости деформирования поверхностного слоя, приводящей к изменению прочностных свойств ТСП ВНИИ НП-212.

Наземным лабораторным испытаниям подвергались два прибора ИТ, поочередно помещаемых в вакуумную камеру. Средние результаты наземных лабораторных испытаний приведены в табл. 1.

Результаты испытаний на воздухе покрытия ВНИИ НП-212 на основе  $\text{MoS}_2$  показали, что оно обладает достаточно большой величиной коэффициента трения. Это вызвано наличием влаги

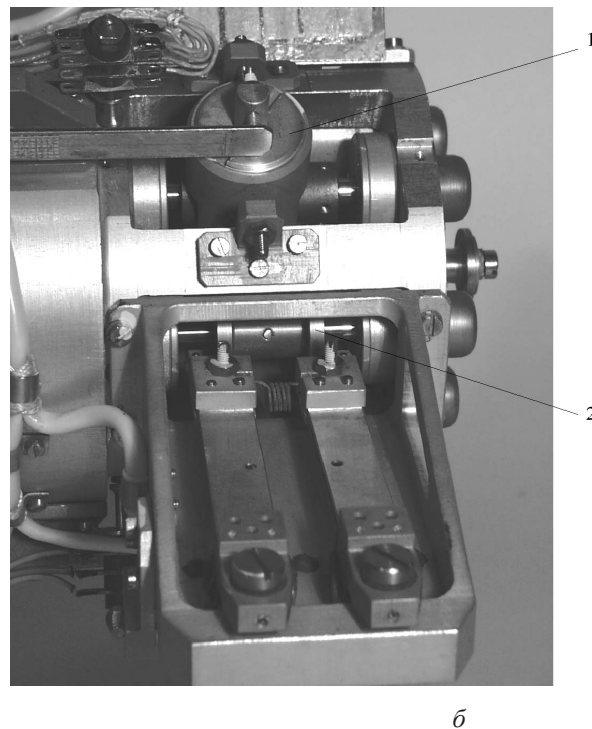
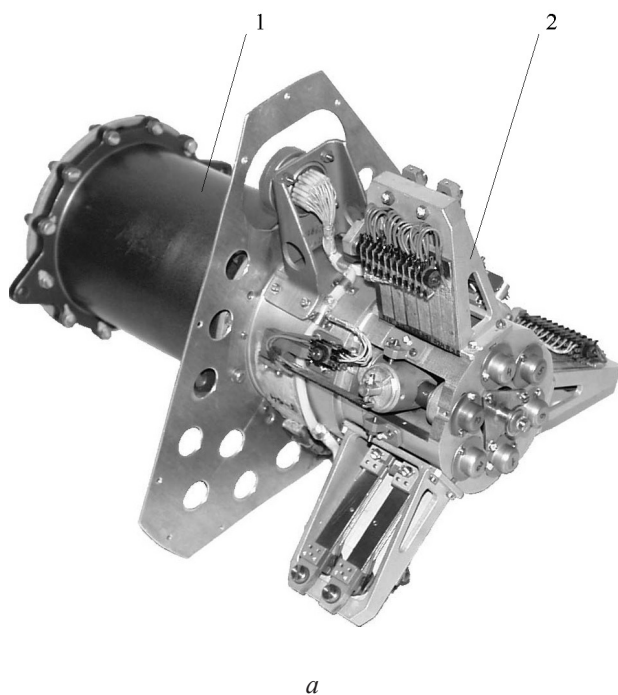


Рис. 1. Фотография имитатора трения

Таблица 1

Наземные лабораторные испытания приборов ИТ

Пара трения	Среда давление, Па	Значения коэффициентов трения			Время работы, ч
		при пуске	установившийся	минимальный	
Вал – втулка	Воздух, $1 \cdot 10^5$	0,26	0,24	0,22	0,033
	Вакуум, $1 \cdot 10^{-4}$	0,23	0,06–0,08	0,05	143
Диск – индентор	Воздух, $1 \cdot 10^5$	0,17	0,16	0,14	0,033
	Вакуум, $1 \cdot 10^{-4}$	0,15	0,04–0,06	0,03	118

в воздухе, которая ухудшает смазочные свойства  $MoS_2$ . Различия в коэффициентах трения покрытий, полученных на двух типах испытательных узлов, объясняются различиями в коэффициенте взаимного перекрытия трущихся поверхностей.

Летный прибор ИТ с помощью специальной рамы был установлен на внешней части корпуса космического аппарата, предназначенного для запуска на орбиту Луны. К телеметрическому комплексу были присоединены два тензопреобразователя, с подключенными к ним 9 тензобалками испытуемых узлов трения. Кроме этого, к телеметрической системе были подключены: электродвигатель привода, датчик для измерения давления внутри корпуса привода и четыре датчика для определения температуры на корпусе прибора ИТ и двух тензопреобразователях.

На протяжении 15 месяцев активного существования космического аппарата испытательные узлы трения с твердым смазочным покрытием прибора ИТ подвергались многофакторному воздействию окружающей среды дальнего космоса. За это время с прибором ИТ было проведено 18 сеансов связи. За указанный период суммарное время работы прибора составило 128 ч.

Первые секунды работы испытуемых узлов трения показали практически те же самые величины моментов трения, которые были получены на стартовой позиции. Через 1,5–2,0 мин испытаний узлов коэффициент трения составил для схемы вал – втулка 0,24–0,22, для схемы диск – индентор — 0,16–0,15. К концу работы первого сеанса связи коэффициент трения снизился для

схемы вал – втулка до 0,14–0,10, для схемы диск – индентор — до 0,10–0,09.

Усредненные значения коэффициентов трения, полученные с орбиты вокруг Луны, представлены в табл. 2.

После 15-месячного пребывания в космическом пространстве прибор ИТ полностью сохранил свою работоспособность, но сам космический аппарат исчерпал свой ресурс, и связь с ним прекратилась.

Сравнивая результаты наземных испытаний ТСП ВНИИ НП-212 в приборе ИТ с летными результатами, можно определить некоторые различия в коэффициенте трения и ресурсе. Меньший коэффициент трения получен с КА «Луна-22». Ресурс работы твердого смазочного покрытия в наземной вакуумной установке составил для узла вал – втулка 143 ч, для узла диск – индентор — 118 ч. Общее время работы прибора ИТ в условиях космоса составило 128 ч. За это время ресурс смазочного покрытия полностью не был исчерпан.

Несколько лучшие триботехнические характеристики ТСП ВНИИ НП-212, полученные с КА «Луна-22», можно объяснить тем, что наличие локальной собственной атмосферы в рабочей зоне трения является более благоприятным условием для трения при работе узла в космическом вакууме, чем в технологическом вакууме лабораторной установки. Кроме того, в космосе в условиях невесомости, оторвавшись от поверхности трения, частички износа  $MoS_2$  в результате микрогравитации «облаком» окружают зону трения и некоторые из них повторно вовлекаются в

Таблица 2

Коэффициенты трения на орбите вокруг Луны

Пара трения	Средние значения коэффициентов трения			
	при пуске	установившийся	через 10 ч работы	через 15 месяцев работы
Вал – втулка	0,24–0,27	0,12–0,14	0,10–0,12	0,03–0,04
Диск – индентор	0,16–0,18	0,09–0,10	0,07–0,08	0,02–0,03

процесс трения, улучшая тем самым смазку рабочих поверхностей как «закрытого», так и «открытого» узлов.

### Эксперимент на Международной космической станции

Несмотря на значительные результаты, полученные при проведении исследований, как на орбите, так и в наземных лабораториях, существуют определенные пробелы в современных представлениях о процессах трения и изнашивания в космосе. Новые возможности в этой области открылись с началом эксплуатации Международной космической станции (МКС). В рамках программы Союзного государства Россия – Беларусь планируется проведение на МКС испытаний перспективных антифрикционных и износостойких материалов космической техники. Постановка этого эксперимента предусматривает решение целого комплекса задач, включающих создание испытательной аппаратуры, разработки новых материалов, наземных и бортовых методик испытаний [3–5].

Планируемый эксперимент отличается значительное расширение исследовательской программы по сравнению с предшествующими подобными испытаниями. Тем не менее бортовые испытания ограничены как по времени, так и по числу регистрируемых параметров. Поэтому для увеличения объема информации предусматривается проведение серии имитационных наземных экспериментов с расширенной исследовательской программой. По ряду объективных причин, а также в силу того, что не все факторы космического пространства известны или могут быть промоделированы, имитационные испытания следует считать некоторым приближением бортовых. Поэтому достижение поставленных целей невозможно без решения задачи оценки эквивалентности бортовых и наземных экспериментов.

В триботехнике используются различные схемы проведения испытаний, отличающиеся геометрией контактирующих образцов и кинематикой их взаимного движения. Выбор той или иной схемы определяется конструктивными и эксплуатационными параметрами узлов трения, в которых планируется использование испытываемых материалов. Обычно получение полного набора триботехнических характеристик требует проведения испытаний по различным схемам в широком диапазоне нагрузочно-скоростных параметров. К сожалению, при проведении космического эксперимента реализовать полнофакторные исследования невозможно. По этой причине при проектировании испытательного оборудования

был использован ряд технических решений, существенно расширяющих его возможности по сравнению с традиционными наземными приборами.

Разработанные для реализации космического эксперимента приборы предназначены для проведения испытаний по двум геометрическим схемам контактирования образцов: диск – палец (индентор) и вал – конформный вкладыш (рис. 2, а, б). Как показал проведенный анализ, эти две схемы позволяют осуществлять моделирование большинства используемых в настоящее время узлов трения космической техники. Оба прибора имеют общую схему компоновки и близкие массогабаритными характеристики.

На рис. 2, в приведена схема прибора (трибометра) для проведения испытаний по схеме диск – палец. Испытуемый материал изготавливается в виде диска 1 или наносится в виде покрытия на него. С каждой стороны к диску прижимаются по три индентора 2, которые имеют плоскую или сферическую форму торцов. Требуемая нагрузка  $P$  создается упругими элементами 3, попарно соединяющими инденторы, расположенные на противоположных сторонах диска. Каждая пара инденторов находится на разных расстояниях от центра диска  $r$ . Значения нормальной нагрузки и возникающих при вращении диска сил трения регистрируются тензометрическими балками 4. Вращение диска 2 осуществляется двигателем 5.

Основной особенностью разработанных приборов является использование в них синхронного безколлекторного двигателя с возбуждением от редкоземельных постоянных магнитов и цифровым управлением, созданного в КБТЭМ-СО и ОИМ НАН Беларуси. Преимуществом данного типа привода является возможность реализации с его помощью нескольких схем и методик триботехнических испытаний, осуществление которых обычно требует применения различных по своей конструкции приборов. Привод обеспечивает работу прибора в условиях действия ФКП при температурах от 170 до 420 К и вакууме до 0,01 Па.

При проведении испытаний управляемыми параметрами являются: нагрузка  $P$  угловая скорость вращения  $\omega$ ; угловая координата перемещений  $\varphi$ ; закономерность изменения  $\omega$  и  $\varphi$  во времени  $t$ . В процессе проведения испытаний осуществляется контроль коэффициентов трения, температуры и износ каждого индентора.

Поскольку инденторы расположены на разных расстояниях от центра вращения диска 1 и к каждому из них может быть приложена различная нагрузка, то один эксперимент позволяет получить

данные при трех различных значениях  $P$  и скоростях  $V$  для 6 видов испытуемых материалов.

Для постановки космического эксперимента по исследованию перспективных материалов узлов трения разработаны и изготовлены два типа

приборов бортовой трибометр и модуль подшипников скольжения (рис. 3, а, б). Первый из них в большей мере ориентирован на решение научных задач, а второй — для испытаний перспективных материалов узлов трения космической техники.

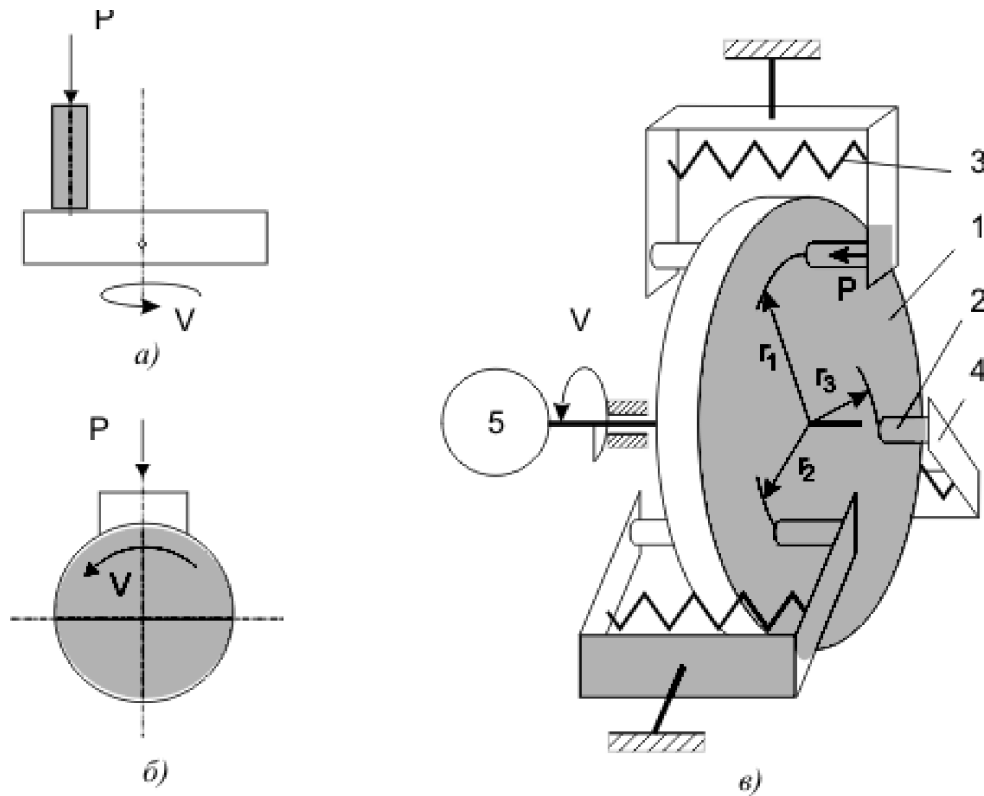


Рис. 2. Схемы испытаний материалов на трение и износ, используемы в космическом эксперименте: а — диск — палец (индентор); б — вал — конформный вкладыш; в — кинематическая схема бортового трибометра



Рис. 3. Оборудование для проведения испытаний материалов на трение и износ: а — бортовой трибометр; б — модуль подшипников скольжения

Приборы в ходе испытаний располагается на наружной технологической площадке МКС. Данные передаются на Землю в режиме реального времени по телеметрическим каналам. Предусматривается, что в ходе эксперимента экипаж МКС периодически будет менять материалы и режимы испытаний.

Наземные испытания будут проводиться по двум схемам. Первая схема основана на максимальном приближении к условиям работы бортового трибометра — т. н. имитационные испытания в криовакуумной камере на идентичном бортовому приборе (рис. 2, б), а второй предполагает проведение исследований в нормальных наземных условиях с помощью кинематического аналога бортового трибометра (рис. 2, в) и микротрибометра, работающего в диапазоне нагрузок от 10 мН до 1 Н и скоростях скольжения 0,1–10,0 мм/с. Целью проведения наземных исследований является:

- расширение параметрической базы эксперимента, т. е. дополнение результатов космического эксперимента данными, полученными в ходе наземных испытаний;
- оценка влияния факторов космического пространства на триботехнические характеристики антифрикционных и износостойких материалов.

Общая схема проведения эксперимента представлена на рис. 4. В соответствии с данной схемой, наземный эксперимент проводится по расширенной программе в условиях, идентичных бортовым испытаниям и нормальным физическим. Расширенная программа предусматривает реализацию полнофакторного эксперимента (при

всех возможных нагрузочно-скоростных параметрах), регистрацию целого ряда дополнительных параметров (измерение отдельного износа диска и инденторов, трибоакустической эмиссии, работы выхода электронов и др.) и проведение постэкспериментальных исследований образцов, включающих изучение морфологии частиц износа и следов трения, микрорентгеноспектрального и рентгеноструктурного анализа и многих других современных методов изучения поверхностных слоев твердых тел.

При эквивалентности условий проведения наземных и бортовых испытаний это позволяет расширить параметрическую базу космического эксперимента. Однако обеспечение такой эквивалентности подразумевает моделирование действия ФКП, контроль которых в полном объеме в ходе бортовых испытаний по техническим причинам невозможен. Таким образом, возникает задача обеспечения параметрической эквивалентности наземного эксперимента в условиях неполной информации об условиях проведения бортовых испытаний. Помимо обеспечения эквивалентности бортовых и имитационных наземных испытаний это позволит изучить влияние ФКП на механизмы трения и изнашивания, что в перспективе обеспечит создание материалов узлов космической техники с заданными свойствами и ресурсом работы на основе исследований в наземных лабораториях.

Для решения этой проблемы предлагается производить косвенную оценку параметров ФКП по результатам рассогласования имитационных и натуральных испытаний.

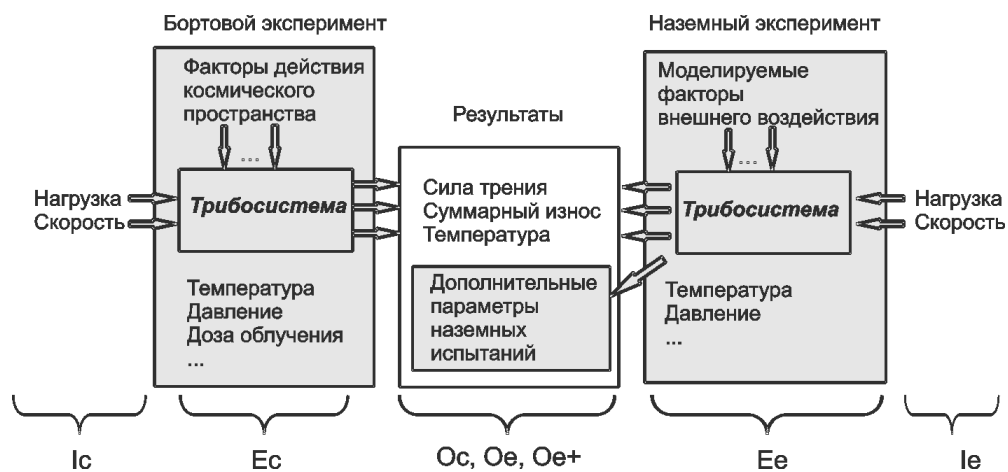
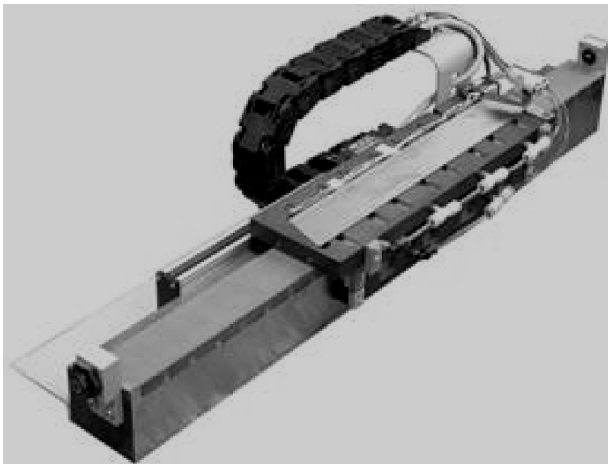


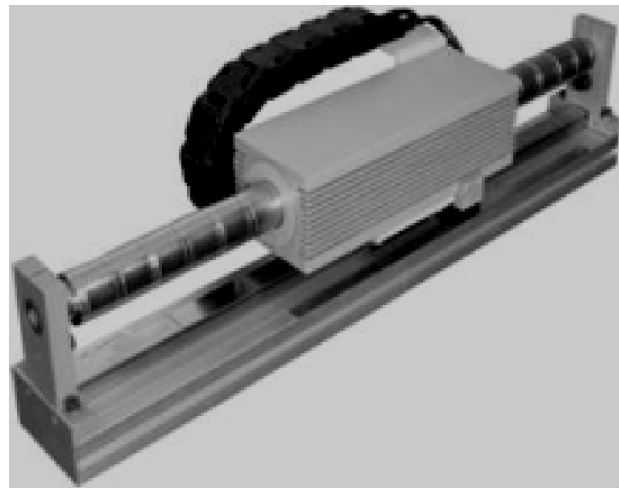
Рис. 4. Схема космического эксперимента по исследованию триботехнических свойств материалов:  $I_c, I_e$  — задаваемые параметры испытаний;  $E_c, E_e$  — внешние факторы воздействия;  $O_c, O_e, O_e^+$  — измеряемые параметры. Индексы «с», «е» относятся к бортовому и наземному экспериментам соответственно

Полученные в ходе выполнения совместного российско-белорусского проекта результаты могут быть использованы во многих других системах аэрокосмического, транспортного и машиностроительного назначения, работающих в экстремальных внешних условиях. В частности, в настоящее время ведутся работы по внедрению разработанных приводов в приводах вспомогательных механизмов перспективного гибридного трактора «Беларус». В ходе разработки была создана теоретическая, технологическая и испытательная база, позволяющая проектировать подобные двигатели для работы в широком диапазоне мощностей и точности позиционирования, в частности, создан целый ряд компонентов мехатроники для координатных систем технологического оборудования (рис. 5).

В выполнении работы принимают участие целый ряд учреждений Национальной академии наук и промышленных предприятий Беларуси: Институт механики металлополимерных систем, Объединенный институт машиностроения; «КБТМ СО», Физико-технический институт, Институт порошковой металлургии НАН Беларуси. Работа белорусской стороны выполняется в тесном сотрудничестве с организациями России: постановщиком космического эксперимента — Центральным научно-исследовательским институтом машиностроения; разработчиком аппаратуры — Институтом проблем механики РАН; Научно-производственным объединением им. С.А. Лавочкина; Ракетно-космической корпорацией «Энергия» им. С.П. Королева; Научно-исследовательским институтом космических проблем им. А.А. Максимова.



а



б

Рис. 5. Приводы линейного движения компонентов мехатроники

#### Литература

1. Имитатор трения / Н.Е. Богорад [и др.] // Современные методы и средства измерения внешнего трения: сб. науч. тр. — М.: НИИ ФТРИ, 1977. — С. 8–10.
2. Ярош, В.М. Исследование материалов на трение и износ в открытом космическом пространстве и на орбите вокруг Луны / В.М. Ярош, А.А. Моишев, М.А. Броневец // Трение и износ. — 2003. — Т. 24. — № 6. — С. 626–635.
3. Мышкин, Н.К. Разработка оборудования для выполнения космического эксперимента «Материал – Трение» / Н.К. Мышкин, А.Я. Григорьев, М.А. Броневец // Труды Второго белорусского космического конгресса, Минск, 25–27 окт. 2005 г. — С. 50–54.
4. Разработка материалов и покрытий для космической техники, экспериментального оборудования, методик и программного обеспечения для проведения триботехнических испытаний / Н.К. Мышкин [и др.] // Трение и износ. — 2004. — Спец. выпуск. — С. 4 – 27.
5. Наземные и бортовые испытания материалов на трение в космосе / Н.К. Мышкин [и др.] // Информатика. — 2007. — № 3. — С. 41–50.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЧАСТИ РАБОЧЕГО ОРГАНА РЕССОРНОЙ МЕЛЬНИЦЫ

В.Н. Клочков, Е.А. Шаройкина, В.А. Кемова, Л.А. Сиваченко

Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«Белорусско-российский университет», г. Могилев, Беларусь

Одной из актуальных задач в строительстве является получение сыпучих смесей мелкого помола, наиболее эффективным и экономичным способом. Следовательно, разработка рациональных помольных мельниц является насущной задачей [1].

Стержневое измельчение масштабно ориентировано на использование в качестве рабочих элементов стержней диаметром 2–50 мм, а также рессор или пластик. Это могут быть отдельные элементы, установленные кассетно или блочно. Для эффективной работы мельницы очень важно, чтобы ее рабочие элементы совершали вертикальные вибро-колебания заданной амплитуды и актуальной частоты. В зависимости от этого будут зависеть такие параметры, как характер измельчения, усилие, необходимое на деформацию рабочего органа и количество рессор (стержней) в комплекте.

В данной статье рассматривается расчет рабочего органа рессорной мельницы, представляющей собой изогнутый пруток диаметром 5 мм. Схема нагружения представлена на рис. 1.

Для определения перемещения рабочей части  $\Delta$  применялся способ интегрирования Максвелла – Мора [2, 3].

В основу расчета положены зависимости для расчета кривых брусьев большой кривизны:

$$\frac{r}{d} \geq 5,$$

где  $r$  — радиус кривизны бруса, мм;  $d$  — диаметр поперечного сечения, мм.

В расчетах приняты обозначения:  $L$  — расстояние между крайними точками бруса, мм;  $f$  — расстояние от хорды, соединяющей крайние точки бруса, до наиболее удаленной точки бруса, мм;  $l$  — расстояние между опорами, мм.

Радиус кривизны рассчитывается по формуле (1)

$$r = \frac{f}{2} + \frac{L^2}{8f}. \quad (1)$$

Брус опирается на роликовые опоры. Полная реакция, возникающая в опоре, равна

$$R = \frac{Pl}{2h} = \frac{Pl}{2l \sin \alpha} = \frac{P}{2 \sin \alpha}, \quad (2)$$

где  $\alpha = 90^\circ - \beta$ , где

$$\beta = \arcsin \frac{l}{2r}. \quad (4)$$

Горизонтальная и вертикальная составляющие полной реакции соответственно равны:

$$P_1 = R \cos \alpha = \frac{P}{2 \sin \alpha} \cos \alpha = \frac{P}{2} \operatorname{ctg} \alpha, \quad (5)$$

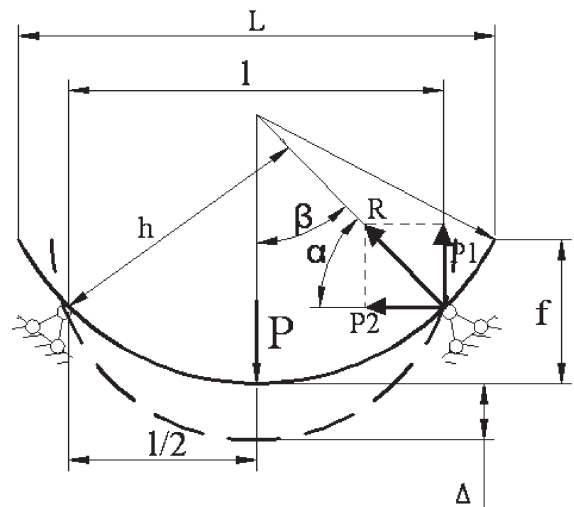


Рис. 1. Расчетная схема части рабочего органа



$$P_2 = R \sin \alpha = \frac{P}{2 \sin \alpha} \sin \alpha = \frac{P}{2}. \quad (6)$$

Для составления выражения изгибающих моментов от единичной силы и грузовой нагрузки использовались следующие зависимости:

$$M = -P_1 r (\cos(\beta - \varphi) - \cos \beta) - P_2 r (\sin \beta - \sin(\beta - \varphi)), \quad (7)$$

где  $\varphi$  — произвольный угол кривого бруса, находящийся в пределах от 0 до  $\beta$ .

Прогиб в произвольном сечении можно определить по известной формуле интеграла Мора (2):

$$\Delta = \int_0^\beta \frac{M \bar{M}}{E F e} d\varphi, \quad (8)$$

где  $F$  — площадь поперечного сечения бруса, мм<sup>2</sup>;  $\rho$  — расстояние до нейтральной оси, мм;  $e$  — расстояние от нейтральной оси сечения до его центра тяжести (эксцентриситет), мм;  $M, \bar{M}$  — выражения изгибающих моментов от действия заданной и единичной нагрузок соответственно.

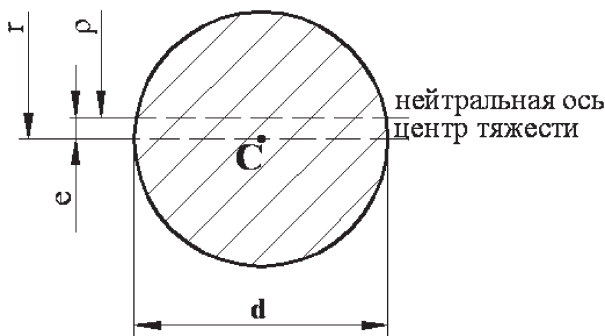


Рис. 2. Сечение бруса круглого поперечного сечения с положением нейтральной оси и центра тяжести

Для круглого поперечного сечения бруса

$$F = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (9)$$

$$\rho = \frac{d^2}{4(2r - \sqrt{4r^2 - d^2})}, \quad (10)$$

$$e = r - \rho. \quad (11)$$

От действия единичной нагрузки  $\bar{P} = 1$  составляющие полной реакции и выражение изгибающего момента можно представить аналогично формулам (4), (5), (6), (7). Выражение интеграла и его решение имеет вид:

$$\begin{aligned} \Delta &= 2 \int_0^\beta \frac{M \bar{M}}{E F e} d\varphi = \frac{2}{E F e} \int_0^\beta [(-P_1 r (\cos(\beta - \varphi) - \cos \beta) - P_2 r (\sin \beta - \sin(\beta - \varphi))) (-\bar{P}_1 r (\cos(\beta - \varphi) - \cos \beta) - \bar{P}_2 r (\sin \beta - \sin(\beta - \varphi)))] d\varphi = \\ &= \frac{2}{E F e} [P_1 \bar{P}_1 r^2 (\frac{1}{2} \beta + \beta \cos^2 \beta - \frac{3}{4} \sin 2\beta) + (P_2 \bar{P}_1 r^2 + P_1 \bar{P}_2 r^2) \frac{1}{2} (-\beta \sin 2\beta - \frac{3}{2} \cos 2\beta + 2 \cos \beta - \frac{1}{2}) + P_2 \bar{P}_2 r^2 (\frac{1}{2} \beta + \beta \sin^2 \beta - 2 \sin \beta + \frac{3}{4} \sin 2\beta)]. \quad (12) \end{aligned}$$

Для определения перемещений в прямом бруске можно применить известную зависимость интеграла Мора:

$$\Delta = \frac{P l^3}{48 E I_x}, \quad (13)$$

где  $I_x = \frac{\pi d^4}{64}$  — осевой момент инерции круглого поперечного сечения бруса.

Для исследования были взяты 3 образца из закаленной пружинной стали 65Г диаметром 5 мм со следующими размерами:

- 1)  $L = 200$  мм,  $f = 67$  мм,  $r = 108,13$  мм,  $e = 1,445 \cdot 10^{-2}$  мм;
- 2)  $L = 173$  мм,  $f = 76$  мм,  $r = 87,225$  мм,  $e = 1,792 \cdot 10^{-2}$  мм;
- 3)  $f = 0$ ,  $r = \infty$ .

На данные образцы прикладывались нагрузки в диапазоне 100...550 Н и определялись величины прогибов от их действия. Данные расчетов приведены в табл. 1.

Для проверки полученных результатов был проведен расчет с использованием численного метода — метода конечных элементов. Расчет проводился для образца с размерами  $L = 200$  мм,  $f = 67$  мм,  $r = 108,13$  мм,  $e = 1,445 \cdot 10^{-2}$  мм, под нагрузкой  $P = 100$  Н в 3D-графопостроителе Solid Works с интегрированным пакетом CosmosWorks.

Схема нагружения и результат расчета представлены на рис. 3, 4.

Результаты данной работы могут найти широкое промышленное использование в части методологии создания принципиально новых технологических аппаратов.

Таблица 1

Данные расчета максимального перемещения части рабочего органа

Нагрузка $P$ , Н	Прогиб, мм		
	1 образец	2 образец	3 образец
100	2,65	6,18	1,14
150	3,97	9,27	1,71
200	5,3	12,4	2,29
250	6,62	15,5	2,86
300	7,95	18,5	3,44
350	9,27	21,63	4,01
400	10,6	24,72	4,58
450	11,92	27,81	5,15
500	13,24	30,91	5,75
550	14,57	33,99	6,3

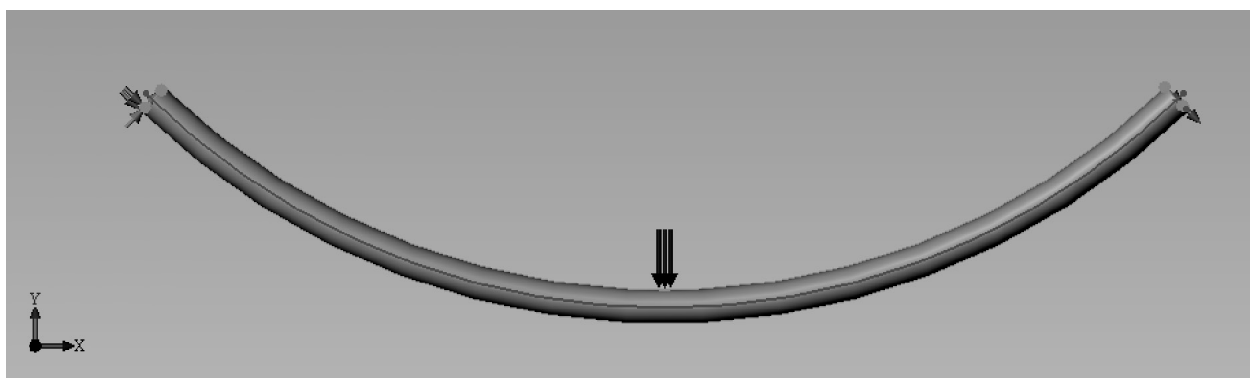


Рис. 3. Схема нагружения рабочего органа рессорной мельницы

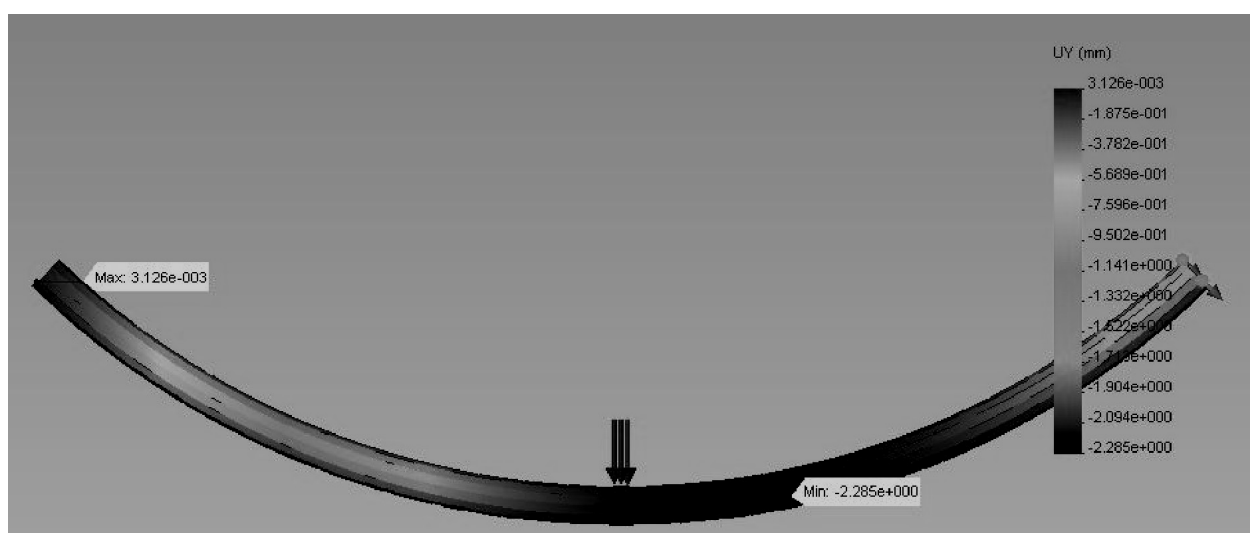


Рис. 4. Картина распределения перемещений вдоль оси  $Y$

По полученным данным можно сделать вывод, что применяемая математическая модель дает хорошие результаты совпадения с экспериментальными данными, процент расхождения равен 13. Данная

схема моделирования перемещения части рабочего органа может найти практическое применение при расчете стержня круглого сечения, части рабочего органа, при создании рессорно-стержневой мельницы.

#### Литература

1. Шаройкина, Е.А. Вибрационные рессорно-стержневые мельницы / Е.А. Шаройкина, Л.А. Сиваченко // Инженер механик: респуб. межотрасл. произв.-практ. журнал. — 2009. — № 2 (43). — С. 32–35.
2. Дарков, А.В. Строительная механика: учебн. для строит. спец. вузов / А.В. Дарков, Н.Н. Шапошников. — 8-е изд., переработ. и доп. — М.: Высш. шк., 1986. — 607 с.: ил.
3. Леонтьев, Н.Н. Основы строительной механики стержневых систем: учеб. для вузов / Н.Н. Леонтьев, Д.Н. Соболев, А.А. Амосов. — М.: Ассоциация строительных вузов, 1996. — 541 с.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПЛАНЕТАРНОГО ТИПА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

*Канд. техн. наук, доц. Вайтехович П.Е., асс. Семенов Д.В., асс. Сидоров Н.Н.  
Белорусский государственный технологический университет*

Интенсификация работы технологических машин возможна за счет усложнения траектории движения рабочих органов и обрабатываемого материала, увеличения скорости их движения и перевода стационарных процессов в нестационарные. Все это может быть реализовано в машинах планетарного типа.

Характерной особенностью таких машин является наличие колеса, которое с помощью водила обкатывается по неподвижной поверхности. В зависимости от способа обкатки (внутренней или внешней) траектория отдельных точек колеса может описывать одну из «замечательных» кривых: гипоциклоиду и эциклоиду (рис. 1).

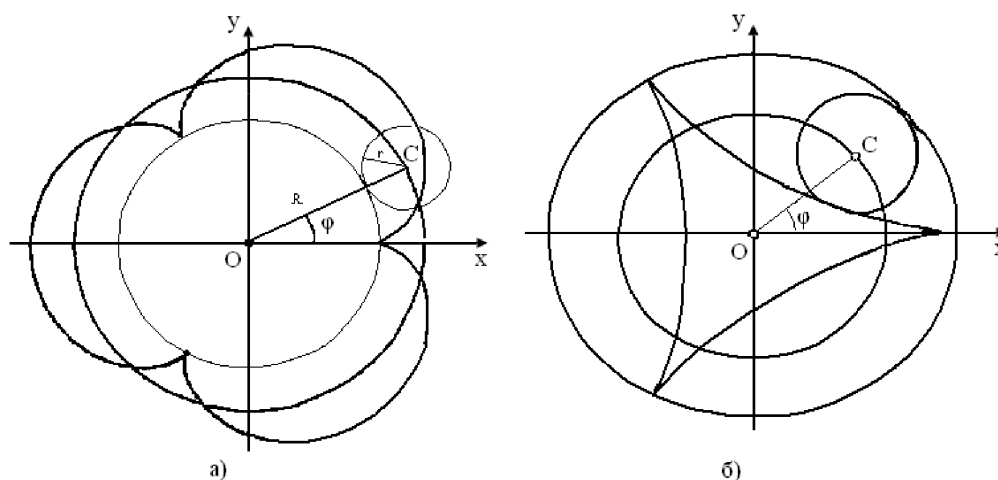


Рис. 1. Эциклоида (а) и гипоциклоида (б)

Изменяя геометрические соотношения основных элементов планетарного механизма, можно получать самую разнообразную форму этих кривых, а соответственно и траекторию. Если в дополнение к этому варьировать скорость вращения, то можно в широком интервале изменять скорости и ускорения отдельных точек вращающегося колеса. Таким образом, планетарные машины и механизмы имеют широчайший диапазон регулирования параметров.

Эта особенность планетарных механизмов в полной мере реализуется при конструировании механических передач. В приводах станков, технологических машин широко используются планетарные редукторы, обеспечивающие высокие передаточные числа [1]. Если говорить о металлорежущих станках, то там применение планетарных передач несколько шире. Например, у фрезерных станков использование специфической формы фрезы в виде треугольника Релло и придание ей планетарного движения позволяет обрабатывать прямоугольные отверстия со скругленными углами [2]. Этими примерами, в основном, применение планетарных передач и ограничивается, хотя с ориентацией на интенсификацию технологических процессов поле их практической реализации намного обширнее.

Машины планетарного типа имеют большие перспективы для использования в механических процессах, таких как измельчение, смешение. Перемешивание суспензий, пастообразных и сыпучих материалов в стройиндустрии, химической и пищевой промышленности планетарными рабочими органами распространено довольно широко [3]. Причем перемешивающие агрегаты преимущественно тихоходные. Их основная задача — поддержание твердых частиц во взвешенном состоянии в емкостях больших объемов, например шламбассейнах.

Измельчители планетарного типа в промышленных технологиях встречаются значительно реже. Они пока находятся в стадии исследований и разработки опытных образцов. Причем существенный вклад в изучение этих агрегатов внесли и авторы данной статьи [4].

Следует отметить, что перед разработчиками планетарных мельниц ставятся совершенно иные задачи по сравнению со смесителями. Основная из них — это повышение эффективности процесса разрушения материала. Очевидно, что скорости движения рабочих органов при этом должны быть как можно больше. Основным элементом планетарной мельницы является размольный

барабан, вовлеченный в планетарное движение, в который загружаются измельчающие тела (шары) и материал, подлежащий измельчению. В конструктивном исполнении планетарные мельницы могут быть вертикальными, горизонтальными и наклонными, с внешней и внутренней обкаткой.

В процессе изучения движения шаров в планетарных мельницах удалось установить соотношения угловых скоростей и углов поворота водила и барабана (рис. 2).

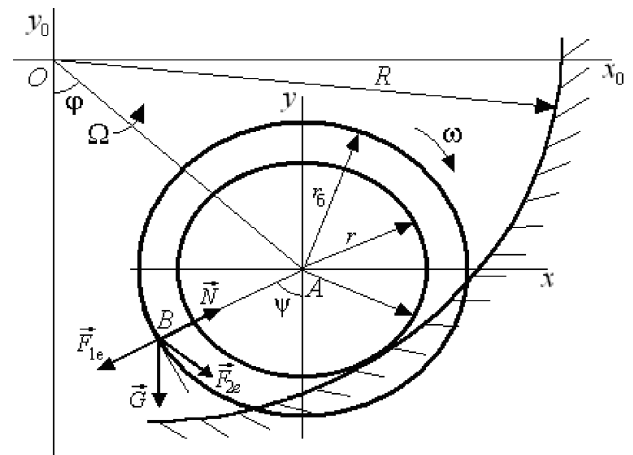


Рис. 2. Силовая схема планетарной мельницы с внутренней обкаткой

$$\Omega = \omega \frac{k}{1 \pm k}; \quad \varphi = \psi \frac{k}{1 + k}, \quad (1)$$

где  $\omega$  и  $\Omega$  — угловые скорости барабана и водила, рад/с;  $\varphi$  и  $\psi$  — углы поворота барабана и водила;  $k$  — геометрический критерий.

Геометрический критерий  $k = r / R$ , где  $r$  — радиус приводного элемента, м;  $R$  — радиус поверхности обкатки, м.

Знак «+» в формулах — внешняя обкатка, «-» — внутренняя.

На измельчающее тело, находящееся внутри барабана, действует сила тяжести и две инерционные силы  $F_{1e}$  и  $F_{2e}$ , связанные с поворотом барабана и водила соответственно:

$$F_{1e} = m\omega^2 kbR; \quad F_{2e} = \frac{m\omega^2 k^2 R}{1 \pm k}, \quad (2)$$

где  $b$  — второй геометрический критерий, который определяется как  $b = r_0 / r$ , где  $r_0$  — радиус барабана.

Расчет силы давления шара на стенки барабана, равной нормальной реакции ( $\vec{N} = \vec{F}_p$ ), показал (рис. 3), что она меняется циклически. Причем установлена зависимость цикличности от критерия  $k$ .

$$\tilde{N} = \Omega^2 R(1+k) \left[ \frac{b(1+k)}{k} + \cos\left(\frac{\varphi}{k}\right) \right] + g \cos\left(\frac{1+k}{k}\varphi\right) \leq 0. \quad (3)$$

Изменение силы давления за один цикл свидетельствует о нестационарности процесса разрушения материала, обусловленного воздействием измельчающих тел. Поскольку относительная сила давления  $\tilde{F}_p$  (отнесенная к единице массы шара) — это ни что иное как его ускорение, то из расчетной зависимости очевидно, что она значительно превышает ускорение свободного падения. Таким образом, основным разрушающим силовым фактором в планетарных мельницах становятся инерционные силы.

Экспериментальные исследования процесса помола в планетарной мельнице подтвердили ее высокую эффективность (рис. 4).

Одновременно с исследованиями ведется работа по практическому использованию планетарных мельниц. Получено два патента Республики Беларусь [5, 6], один объект внедрен в производство.

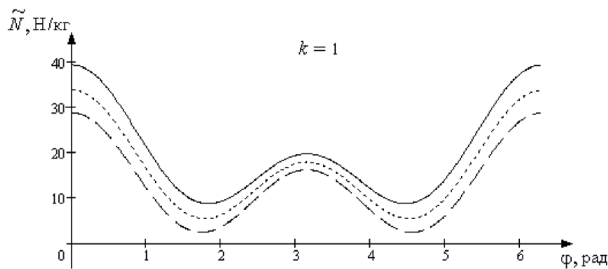


Рис. 3. Зависимость относительной реакции связи от угла поворота водила при внешней обкатке при  $R = 0,2$  м

Еще одним перспективным направлением использования планетарных машин может стать заглаживание бетонных поверхностей, которое чаще всего проводится обычными вращающимися дисками (рис. 5).

Эффективность обработки поверхности оценивается заглаживающей способностью, определяемой длиной линии, по которой рабочий орган воздействует на ее каждую элементарную площадку. При обычном вращении эта линия будет представлять спираль, а при планетарном — гипо- или эпициклоиду. Расчет длины этих кривых по параметрическим уравнениям при геометрическом подобии показал, что для гипо- и эпициклоиды она значительно (2–3 раза) выше. Это уже на стадии аналитической оценки указало на более высокую эффективность заглаживания планетарных машин.

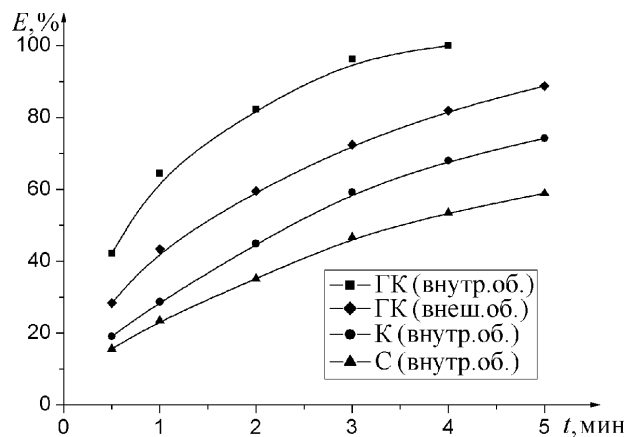


Рис. 4. Кинетика помола в планетарной мельнице: ГК — гипсовый камень; К — клинкер; С — стеклобой

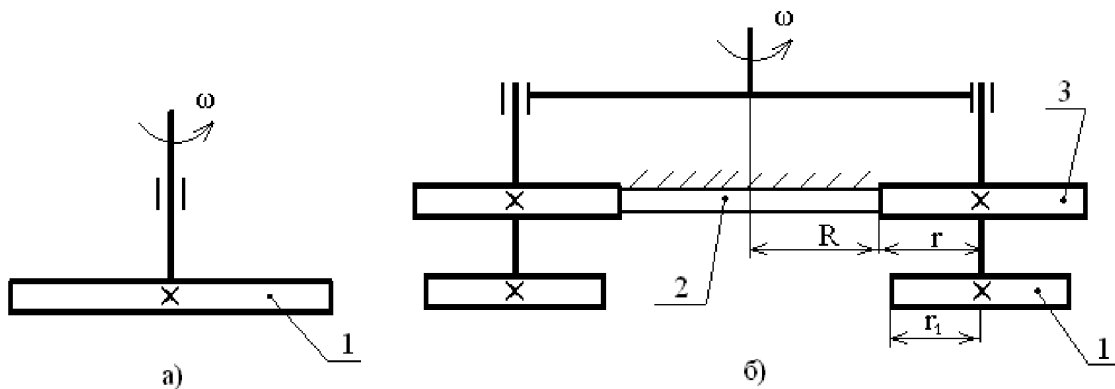


Рис. 5. Дискový рабочий орган: а) с простым вращением; б) с планетарным движением; 1 — заглаживающий диск; 2 — неподвижное колесо; 3 — обкатывающееся колесо

Теоретические предпосылки подтвердились результатами экспериментов. Экспериментальные исследования заключались в определении эффективности заглаживания искусственно созданных раковин. Причем эффективность  $E$  рассчитывалась как

$$E = \frac{S - S_i}{S} \cdot 100\%,$$

где  $S$  — площадь искусственной раковины до заглаживания;  $S_i$  — площадь искусственной раковины после  $i$ -го прохода над ней рабочего органа

Графические зависимости (рис. 6) дают возможность в полной мере убедиться в значительном повышении эффективности заглаживания за счет придания рабочему органу планетарного движения.

В плане практической реализации получено несколько патентов Республики Беларусь [7–9], отличающихся схемами привода и формой дисков. Разработан проект заглаживающей машины с планетарным движением диска.

Таким образом, теоретически и экспериментально доказана эффективность использования технологических машин планетарного типа. Это открывает для них перспективы широкого использования в различных направлениях и отраслях промышленности.

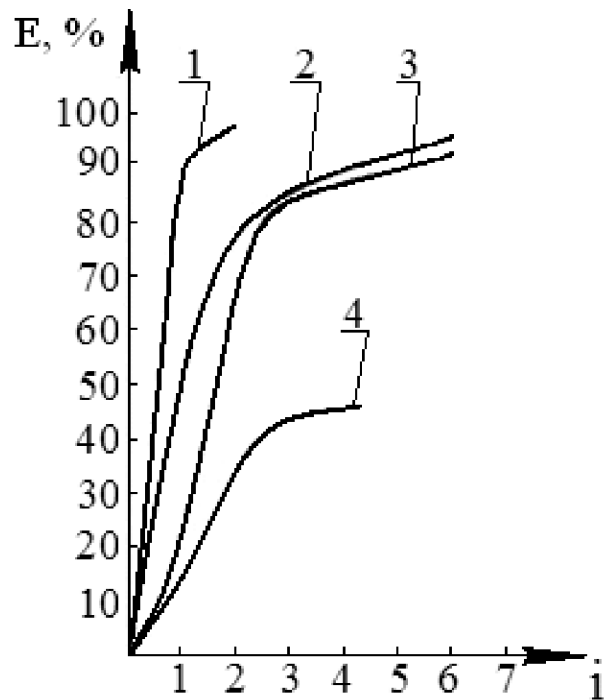


Рис. 6. Зависимость эффективности дисковых рабочих органов от количества проходов: 1, 2, 3 — с планетарным движением при частоте вращения приводного вала  $n = 400$  об./мин,  $n = 350$  об./мин,  $n = 300$  об./мин соответственно; 4 — с простым движением диска

### Литература

- 1) Краузе, Г.Н. Редукторы: справ. пособие / Г.Н. Краузе, Н.Д. Утилин, С.А. Сычко. — 2-е изд., доп. и переработ. — М.: Машиностроение, 1972. — 144 с.
- 2) Яглом, И.М. Выпуклые фигуры / И.М. Яглом, В.Г. Болтянский. — Л.: ГТТИ, 1951. — Вып. 4. — 343 с. — (Серия «Биб-ка матем. кружка»).
- 3) Штербачек, З. Перемешивание в химической промышленности: пер. с чешского. / З. Штербачек; под ред. И.С. Павлушенко. — Л.: ГХИ, 1963. — 460 с.
- 4) Вайтехович, П.Е. Интенсификация и моделирование процессов диспергирования в поле инерционных сил / П.Е. Вайтехович. — Минск.: БГТУ, 2008. — 220 с.
- 5) Мельница: пат. № 12343 Респ. Беларусь, МПК (2006) В 02 С 17/00 / П.Е. Вайтехович, [и др.]; заявитель Бел. госуд. технолог. ун-т. — № а 20070627; заявл. 24.05.07; опубл. 01.06.09 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласцінасці. — 2009. — № 3. — С.
- 6) Вайтехович, П.Е. Планетарная мельница: пат. № 11574 Респ. Беларусь, МПК7 В 02 С 17/00 / П.Е. Вайтехович, Д.В. Семененко; заявитель Бел. госуд. технолог. ун-т. — № а 20061366; заявл. 29.12.06; опубл. 10.11.08 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласцінасці. — 2008. — № 6. — С.
- 7) Вайтехович, П.Е. Заглаживающая машина: пат. №12387 Респ. Беларусь, МПК (2006) В 28 В 11/08 / П.Е. Вайтехович, Н.Н. Сидоров; заявитель Бел. госуд. технолог. ун-т. — № а 20071173; заявл. 27.09.07; опубл. 16.06.09 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласцінасці. — 2009. — № 3. — С.
- 8) Вайтехович, П.Е. Заглаживающее устройство: пат. №12696 Респ. Беларусь, МПК (2006) В 28 В 11/00 / П.Е. Вайтехович, Н.Н. Сидоров; заявитель Бел. госуд. технолог. ун-т. — № а 20080168; заявл. 51.02.08; опубл. 25.09.09 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласцінасці. — 2009. — № 6. — С.
- 9) Вайтехович, П.Е. Заглаживающая машина: пат. №11567 Респ. Беларусь, МПК (2006) В 28 В 11/080 / П.Е. Вайтехович, Н.Н. Сидоров, В.Е. Азарко; заявитель Бел. госуд. технолог. ун-т. — № а 20061367; заявл. 29.12.06; опубл. 27.10.08 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласцінасці. — 2008. — № 6. — С.

## ПОКРЫТИЕ ПРЕСС-ФОРМ ЭПИЛАМАМИ

*Гриценко П.А., Козлович П.А.*

*УО «Мозырский государственный педагогический университет им. И.П. Шамякина»*

На машиностроительных предприятиях Полеского региона кафедрой машиностроения УО «Мозырский государственный педагогический университет» было предложено использовать для различных целей эпиламирующий состав «Автокон-0,5» для обработки поверхностей металлических деталей с целью улучшения ряда свойств. Наряду с традиционным направлением использования эпиламов, для улучшения антифрикционных свойств, повышения износостойкости деталей пар трения, нами был опробован данный состав для нанесения покрытия на формообразующие поверхности пресс-форм для изготовления резинотехнических изделий (РТИ). Целью проведенной работы было выявить влияние данного покрытия на адгезионные, антипригарные свойства поверхности пресс-форм.

Эпилам «Автокон 0,5», поставляемый фирмой ЗАО «Автоконинвест» по ТУ 2229-008-27991970-95, представляет собой раствор фторсодержащих поверхностно-активных веществ в хладагенте, который предназначен для обработки пресс- и литьевых форм, штампов, металлорежущих и деревообрабатывающих инструментов с целью повышения их износостойкости и гидрофобных свойств.

Традиционно пресс-формы для РТИ подвергаются хромированию — методу электролитического осаждения на поверхность формы ионов хрома. Данное покрытие применяется как защитное антикоррозионное, износостойкое, антиадгезионное. Метод нанесения требует достаточно дорогостоящее оборудование. И сам процесс имеет ограничения по размерам и форме поверхности покрываемых деталей. Размеры покрываемых деталей ограничиваются размерами ванн для электролитического осаждения. Поэтому нанесение хромового покрытия на поверхности пресс-форм, имеющих большие габариты, представляется затруднительным и весьма дорогостоящим процессом. С этой точки зрения эпиламирование

могло бы быть альтернативой традиционному хромированию.

Благодаря достаточно простой технологии нанесения состава на поверхность пресс-формы, данный метод имеет явные преимущества по сравнению с традиционными защитными покрытиями. Придание требуемых свойств обрабатываемым поверхностям с помощью эпиламирования зависит, на наш взгляд, в значительной степени от того, насколько правильно выбрана и соблюдена технология их нанесения. Процесс нанесения покрытия должен включать в себя следующие операции:

- подготовка обрабатываемых поверхностей;
- нанесение пленок эпиламов (эпиламирование);
- термофиксация или сушка поверхностей.

От качества проведения каждой операции зависит качество получаемой поверхности. В предоставленной литературе описано несколько технологических схем процесса. Основное отличие заключается в способе нанесения пленки — погружением в эпиламирующий состав, тампонированием или аэрозольном распылении на поверхность и даже кипячением в растворе эпилама. Мы выбрали наиболее простую схему — тампонирование.

Нами было опробовано покрытие эпиламом нескольких пресс-форм. Причем они были принципиально разного типа как по конструкции, размерам, так и по назначению.

В производстве использовались пресс-формы с габаритами до 1000×1000 мм. Эти формы закреплены стационарно на оборудовании (прессе). На формообразующих поверхностях в процессе изготовления на них резинотехнических изделий образуется нагар, который отрицательно влияет на качество последних. Поэтому пресс-формы приходится периодически снимать с прессы и чистить. Процесс чистки является весьма трудоемким. Это влечет за собой простои оборудования и т. п. Поэтому первоочередной задачей при

опробовании эпиламирания было применено данного процесса для таких крупных форм. Пресс-форму предварительно тщательно очищали, обезжирили. Затем кисточкой наносили на поверхность раствор эпилама. После сушки наносили еще слой и т. д. Всего нанесли три слоя покрытия. Результат, полученный во время эксплуатации пресс-формы, подтвердил наши предположения о возможном положительном эффекте. Так, до нанесения покрытия ходимость формы между чистками составляла приблизительно 1 рабочую неделю. После эпиламирания эффект нагарообразования стал наблюдаться после 3 недель непрерывной работы на данной пресс-форме. Однако после 2 месяцев периодичность чисток увеличилась. Отсюда можно сделать вывод о целесообразности периодически наносить слой эпилама после очередной чистки. Достаточно, на наш взгляд, одного слоя.

Еще одной проблемой, с которой мы сталкивались до получения эпилама, являлось прилипание

резины на основе силиконового каучука к поверхности формы. Это влечет за собой порывы готового изделия при извлечении из пресс-формы. Данная проблема с успехом была решена с помощью эпиламирания. Результат превзошел все наши ожидания. Так, на одной пресс-форме с очень сложной формообразующей поверхностью мы не могли извлечь ни одного изделия без его повреждения. После эпиламирания выход годных изделий с этой пресс-формы стал 100 %.

Таким образом, по результатам опытного использования эпилама «Автокон-0,5» можно сделать вывод о целесообразности использования эпиламов для нанесения покрытия на поверхность пресс-форм. Экономический эффект очевиден. Считаем, что в перспективе необходимо прорабатывать возможность более широкого применения различных технологических схем нанесения данного покрытия, т. к. методы горячего эпиламирания дают больший эффект, нежели холодный способ нанесения тампоном или кистью.

#### *Литература*

1. Гриценко, П.А. Повышение надежности и энергосбережения за счет применения эпиламирания / П.А. Гриценко, П.А. Козлович // Инженер-механик. — 2009. — № 2. — С. 2–7.
2. Перспективы предприятий, связанных с эпиламиранием: ЗАО «Автоконинвест», НПО «Автокон», ООО «Микромеханика», Центр защитных технологий «Эгида», НПО «Российские инновационные технологии» за 2008–2009 гг.

## **СОЗДАНИЕ ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИХ КРОВЕЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ «ПИНОФОЛ»**

*А.В. Козич*

*Брестский государственный технический университет*

*Ж.М. Скребец*

*ОАО «Пинские нетканые материалы»*

При проектировании строения стараются подобрать оптимальные параметры диффузионного баланса, водонепроницаемости конструкции, повышения теплового сопротивления. Это нужно для того, чтобы на длительное время обеспечить надежную эксплуатацию стеновых и кровельных конструкций и увеличить срок службы всего здания. Эффективным в последнее время для такой цели является применение паронепроницаемой

защиты, подкровельного гидроизоляционного слоя и теплоизоляционных материалов.

В данный момент в качестве таковых на рынках Беларуси представлены паропроницаемые диффузные мембраны и пароизоляционный материал «Ютафол», «Ютавек», «Тайвек», «Фибратек» «Изоспан» и др.

ОАО «Пинема» с целью проведения программы импортозамещения, проведя предварительные



маркетинговые исследования, освоило в 2009 г. выпуск аналогичных материалов с оригинальными и патентоспособными техническими решениями. Это два вида иглопробивных полотен «Пинофол П» и «Пинофол НП», которые предназначены для применения, согласно рекомендациям пособия [1] к строительным нормам СНБ 5.08.01-2000, в различных конструкциях кровли, например показанной на рис. 1.

Полотно 4 марки «Пинофол П», изготовленное по ТУ ВУ 200187659.035-2009 [2], функционально представляет собой мембрану, пропускающую водяные пары и частично пропускающую воду, применяемую при устройстве скатной кровли и вентилируемых фасадов, защищающую утеплитель 8 от проникновения атмосферной влаги и обеспечивающую паропроницаемость. Это полотно изготовлено из полипропилена с различными добавками методом непрерывного прядения из расплава, иглопробивки и последующей термообработки. Оно имеет поверхностную плотность 100–140 г/м<sup>2</sup> и ширину до 5,2 м.

Полотно 9 марки «Пинофол НП» изготовлено согласно ТУ ВУ 200187659.036-2009 [3] из нетканого иглопробивного материала двухслойной

структуры — пароизоляционной и теплоизоляционной. Пароизоляционная прослойка из ПВХ или полиэтилена препятствует проникновению влаги в утеплитель 8 изнутри здания и защищает кровельную конструкцию, а также стены здания. Теплозвукоизоляционная прослойка из полипропилена сохраняет ПВХ слой от повреждений, при этом несет в себе дополнительную тепло и звукоизоляцию.

Такие полотна белорусского производства лучше по эксплуатационным характеристикам зарубежных, например известного полотна марки «Тайвек», широко применяемого по российскому патенту [4] и состоящего из множества тонких непрерывных волокон полиэтилена низкого давления, полученных методом сверхскоростного формования и скрепленных под воздействием высокой температуры. Однако микроскопические поры структуры данного нетканого полимерного полотна, полученного под высокотемпературным воздействием, в процессе эксплуатации полотна могут засоряться. Кроме того, применение полиэтилена низкого давления в конструкции полотна «Тайвек» ухудшает его гидрофобность — способность образования крупных водяных капель,

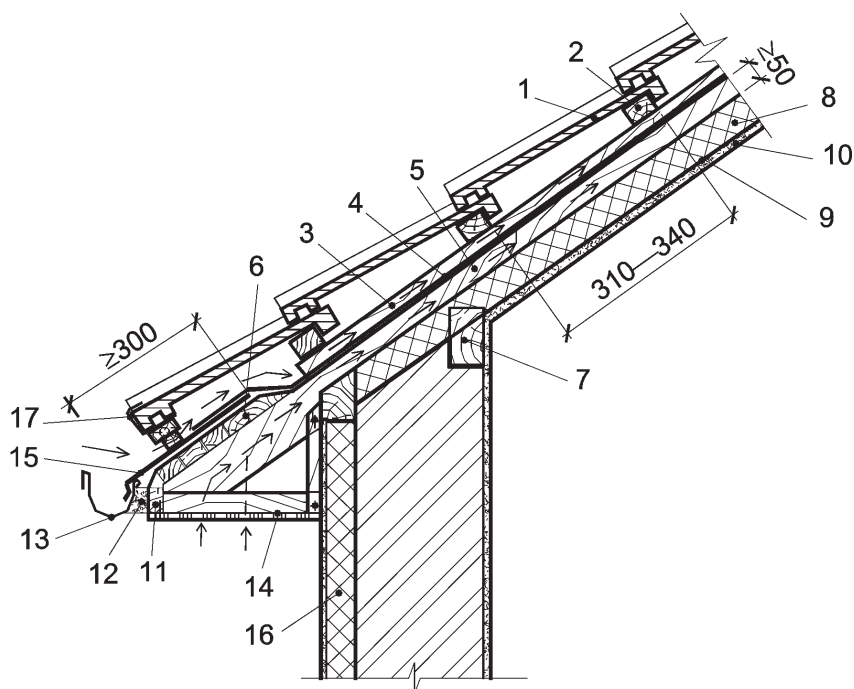


Рис. 1. Устройство «теплой» кровли с применением покрытий «Пинофол»:

- 1 — штампованная черепица; 2 — обрешетка; 3 — контробрешетка толщиной 25 мм; 4 — полотно «Пинофол П»; 5 — стропильная нога; 6 — сплошной дощатый настил; 7 — мауэрлат; 8 — утеплитель; 9 — полотно «Пинофол НП»; 10 — подшивка и отделочный слой; 11 — карнизная доска; 12 — кронштейн; 13 — желоб; 14 — подшивка карниза с вентиляционными отверстиями; 15 — металлический лист; 16 — наружное утепление стены; 17 — противветровая скоба

которые, скатываясь по нему, уменьшают влажность кровли. Применение полиэтилена низкого давления также обуславливает повышение жесткости конструкции полотна. Поэтому в рулоне оно имеет ширину не более 1,5 м, т. к. большой размер полотна не позволит достаточно точно копировать рельеф покрываемой поверхности. Применение кровельного полотна с такой относительно узкой шириной вызывает образования большого количества стыковочных мест в обустройстве кровли, что не технологично. Полотна «Пинофол» отличаются от известных зарубежных полотен оригинальной конструкцией [5] своей структуры (рис. 2).

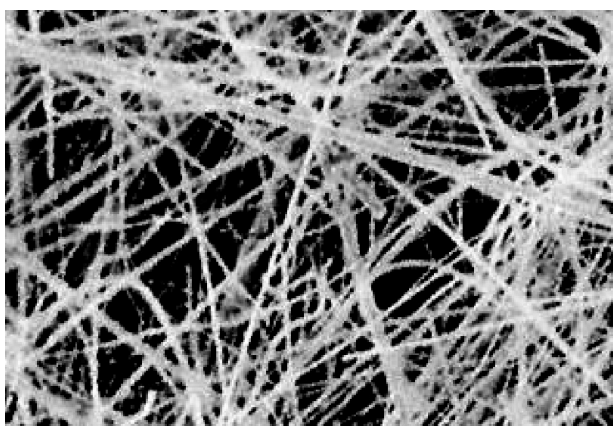


Рис. 2. Структура полотна «Пинофол» увеличенная приблизительно в 200 раз

Множество тонких непрерывных полимерных волокон (рис. 2), полученных методом сверхскоростного формования и скрепленных под воздействием высокой температуры, спрессованы группами между собой с помощью иглопробивки, образуя своеобразную пародышащую водонепроницаемую мембрану.

Это позволило обеспечить лучшую гидрофобность такой мембраны. Кроме того, улучшилась ее эластичность, т. к. применяемый в ней материал из полипропилена лучше, чем материал из полиэтилена, применяемый в прототипе [4].

Дополнительное скрепление групп тонких непрерывных полимерных волокон между собой

иглопробивкой в пародышащей водонепроницаемой мембране, позволило одновременно усилить ее прочность и обеспечить возможность образования микропор большого размера, что направлено на улучшение проницаемости такой мембраны.

Это обеспечило определенные преимущества полотен «Пинофол» перед зарубежными аналогами:

- обладание лучшей стойкостью к давлению водяного столба, приравненному к дождевым каплям;
- обладание лучшей стойкостью к действию ультрафиолетовых излучений;
- лучшая эластичность, гибкость и величина допустимого удлинения материала, позволяющие защитить сооружение от воздействия повышенных нагрузок;
- обладание лучшей стойкостью к любым агрессивным средам.

Полотна «Пинофол» возможно реализовывать под любым цветом, при этом применяется экологически чистый материал, не выделяющий вредных веществ в атмосферу. Полосы таких полотен соединяются при укладке на значительную по величине площадь кровли при помощи сварки горячим воздухом или горячим клином с прижимом. Полотна обладают высокой прочностью на разрыв, причем при их проколе обеспечивается сохранение целостности полосы при незначительных повреждениях.

Изготовлении полотен «Пинофол» с использованием игл с зацепами способствуют дополнительному надежному скреплению групп волокон, т. к. при пробивке иглами волокна с силой притягиваются друг к другу, сохраняя достаточно большое расстояние между собой. Это увеличивает полезную площадь микропор и улучшает тем самым проницаемые свойства полос таких полотен. Поэтому структура их материала характеризуется повышенной пропускной способностью пара.

Применение нового импортозамещающего изделия [5] позволит повысить эффективность эксплуатационных характеристик и увеличить долговечность разнообразных кровельных покрытий [1].

#### Литература

1. Проектирование и устройство кровель. Пособие к строительным нормам Республики Беларусь: П1-03 к СНБ 5.08.01-2000. — Минск: Министерство архитектуры и строительства, 2004.
2. Полотно нетканое иглопробивное для кровельных работ «Пинема КМ»: технические условия: ТУ ВУ 200187659.035-2009.
3. Материал рулонный парогидроизоляционный «Пинема НП»: технические условия: ТУ ВУ 200187659.036-2009.
4. Патент RU № 2321708 С1 от 10.04.2008, МПК E04D11/00.
5. Заявка на патент ВУ № u 20090617 от 14.07.2009, МПК E04D3/35.

# РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ГАЗА С ЦЕЛЬЮ КОМПЕНСАЦИИ ПИКОВЫХ НАГРУЗОК ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ

*Дядичкин А.Ф.*

*УП «Инженерный центр «ОО «Боим»*

## 1. Характеристика режимов потребления газа

Режим равномерного во времени поступления газа в газопроводную сеть городов и населенных пунктов при неравномерном отборе его потребителем характеризуется сезонными, внутримесячными и внутрисуточными колебаниями расходов газа. Неравномерное потребление газа по месяцам года, дням недели и часам суток вызывается различными факторами: климатическими условиями и удельным весом отопительной нагрузки в суммарном газопотреблении, организацией трудового уклада и быта населения, уровнем санитарного благоустройства жилищ и характера городской застройки, режимом работы промышленных и коммунально-бытовых предприятий и характеристикой их оборудования.

Сезонная неравномерность газопотребления присуща всем категориям потребителей, но наибольшей неравномерностью характеризуется отопительная нагрузка, которая изменяется соответственно с температурой наружного воздуха.

В основу оценки сезонной неравномерности расходов газа принимается годовой график потребления газа городом по месяцам года, на основании которого определяется ее объем, а следовательно, и требуемая емкость газохранилища.

Объемы сезонной неравномерности не однозначны и зависят от климатических условий и удельного веса отопительной нагрузки в суммарном газопотреблении.

Расчеты, выполненные на основании данных режимов потребления газа Минском за несколько

лет, показали, что их значения отличались в широком диапазоне от 7,8 до 14,9 % от годовых потреблений газа.

Внутримесячные колебания расходов газа промышленным городом, также как и сезонные, вызываются отопительной нагрузкой, но после окончания отопительного сезона потребление газа становится достаточно стабильным за исключением выходных и праздничных дней. В такие дни расход заметно снижается, т. к. большинство предприятий, обладающих большим удельным весом в балансе расхода газа, значительно уменьшают или полностью прекращают его потребление.

Объемы внутримесячной неравномерности газопотребления, согласно данным графиков суточных расходов газа в различные месяцы года и как показал расчет, в г. Минске в зимний период он может возрасти до 2,6 % от месячного расхода.

Внутрисуточная неравномерность газопотребления характеризуется небольшим объемом, но довольно значительным отклонением пиковых нагрузок от среднечасовых. Обычно «провал» нагрузки, т. е. период, когда средний часовой расход потребителем превышает текущий расход, заканчивается в 7 ч. В начале рабочего дня потребление газа возрастает и достигает максимума к 9–10 ч. Период «пик» нагрузки газопотребления, как правило, длится 14–15 ч.

Наибольшей неравномерностью потребления газа характеризуются промышленные предприятия. В несколько меньшей мере на внутрисуточные колебания расходов газа влияют

коммунально-бытовые предприятия. Расходы газа на отопление в течение суток, за исключением периодов резких похолоданий или потеплений, практически остаются неизменными. Подобный режим потребления газа наблюдается во всех крупных промышленных городах.

## 2. Способы регулирования неравномерности газопотребления

Для регулирования сезонной, внутримесячной и внутрисуточной неравномерности газопотребления необходимо не только создавать резервные запасы газа, но и обеспечить условия их хранения.

Подземные хранилища газа используются для регулирования сезонной неравномерности газопотребления. Они сооружаются в основном в геологических структурах с водоносными пористыми пластами или в выработанных пластах «нефтяных» и газовых месторождений и в истощенных отложениях каменной соли.

В период избытка газа в летний период газ закачивается в скважины газохранилища, где накапливается и в период повышенного спроса зимой возвращается потребителям. Такой режим работы позволяет круглогодично обеспечить более полную загрузку магистральных газопроводов.

Работа подземного газохранилища подобна работе газового промысла с той только разницей, что скважины хранилища попеременно истощаются при отборе из него газа и заполняются газом во время и после закачки. Отбор газа из хранилища, также как из скважины газового промысла, осуществляется равномерно по часам суток и в режиме компенсации кратковременных пиковых нагрузок внутримесячной и внутрисуточной неравномерности не используются.

Подземное газохранилище не может использоваться в качестве автономного источника газоснабжения, способного оперативно обеспечить поставку газа в аварийных ситуациях летом во время закачки газа и зимой в связи с ограниченной вместимостью.

Например, Осиповичское и Прибугское хранилища вмещают в себя около 680 млн. м<sup>3</sup> газа. Потребность республики Беларусь в газе зимой составляет до 100 млн. м<sup>3</sup> в сутки. Подземное газохранилище нельзя рассматривать как отдельный объект в газоснабжаемом регионе, обособленном от единой транспортной системы магистральных газопроводов.

Осиповичское, Прибугское и предполагаемое в перспективе в пластах Васильевской водоносной структуре Гомельской области хранилища

газа планировались в составе функционирования всей Единой Газотранспортной системы бывшего Советского союза, а не только для системы магистральных газопроводов «Западтрансгаз».

Громадные затраты, связанные с транспортировкой и хранением газа, включают в себя не только затраты на изыскание необходимых геологических структур для сооружения подземного газохранилища, но и на прокладку газопроводов от хранилища до потребителя.

На наш взгляд, вопросы целесообразности сооружения газохранилища в Васильевской водоносной структуре Гомельской области требует серьезной проработки.

Аккумулирующая способность магистральных газопроводов используется для краткосрочного регулирования внутримесячной и внутрисуточной неравномерности газопотребления.

Процесс аккумуляции избытка газа в газопроводе осуществляется с началом периода низкого отбора газа потребителями. Затем накопленный за ночные часы газ поступает к потребителю в период высокого газопотребления.

Объем газа, аккумулируемого в газопроводе за период «провала» нагрузки газопотребления, определяют по данным диспетчерского графика газоснабжения города или можно определить по уравнению (1)

$$V_a = \frac{2}{3}t(q_{cp} - q_{min}), \quad (1)$$

где  $V_a$  — объем газа, аккумулируемого в газопроводе, м<sup>3</sup>;  $t$  — время аккумуляции газа, ч;  $q_{cp}$ ,  $q_{min}$  — среднечасовой и минимальный расходы газа, м<sup>3</sup>.

Уравнение позволяет выполнить расчеты параметров режима работы действующих и проектируемых систем газоснабжения.

Сопоставление фактических по графику и расчетных по уравнению (1) значений объемов аккумулируемого газа дают хорошую сходимость результатов [1].

Сооружение подземного газохранилища требует значительных капитальных вложений, в то время как хранение газа в трубопроводах, работающих в режиме аккумуляции резервных запасов газа, не связано с какими-либо капитальными затратами.

Геометрические размеры трубопроводов дальнего транспорта газа должны определяться с учетом использования их аккумулирующей способности уже на стадии проектирования.

Однако действующие нормы технологического проектирования предусматривают технические

решения, в основе которых лежит стационарный режим газопередачи без учета использования аккумулирующей способности газопровода.

Использовать газопроводы для хранения избытков газа при неравномерном его потреблении можно лишь в том случае, если они являются концевыми участками газифицированных городов либо участками, соединяющими подземное газохранилище с потребителем.

В городах, расположенных по трассе магистрального газопровода между компрессорными станциями, когда газопровод не может быть использован в качестве компенсатора пиковых нагрузок, возможно создавать устройства резервирования избытков газа из труб-резервуаров.

Трубы-резервуары могут прокладываться в земле в виде батарей из обрезков стальных бесшовных труб или закольцованных труб, сваренных в одну или несколько ниток вблизи газораспределительной станции магистрального газопровода или на территории газоёмких объектов газопотребления.

Газораспределительная станция (ГРС) или газорегуляторный пункт (ГРП) будут неизменно подавать газ в газораспределительную городскую сеть, в трубы-резервуары и газопровод объектов газопотребления.

В ночные часы периода «провала» нагрузки газопотребления расход газа сократится и весь избыток газа останется в трубах-резервуарах. В часы периода высокого газопотребления («пик» нагрузки) поступивший в газопровод от НРС или ГРП газ и дополнительно накопленный в трубах-резервуарах будет подаваться потребителям. При необходимости долгосрочного хранения газа он будет нагнетаться компрессором летом, храниться в трубах-резервуарах и затем подаваться потребителям в период повышенного спроса зимой. В этом случае устройство резервирования газа кроме труб-резервуаров будет включать в себя компрессор для сжатия газа и регулятор давления для ступенчатого снижения давления до рабочего, обеспечивающего нормальную работу горелок. Геометрические размеры (диаметр, протяженность) труб-резервуаров должны быть рассчитаны так, чтобы максимальное давление в трубах-резервуарах к концу полного заполнения их газами в период «провала» нагрузки не могло превысить давление, установленное на выходе из ГРС.

Резервный объем газа в трубах-резервуарах найдем из уравнения (2):

$$V_p = \frac{2874}{T_{cp}}(V_0 - V_a)(P_1 - P_2), \quad (2)$$

где  $V_p$  — резервный объем газа, м<sup>3</sup>;  $V_0$  — геометрический объем труб-резервуаров, м<sup>3</sup>;  $V_a$  — объем аккумулируемого газа за период «провала» нагрузки, м<sup>3</sup>;  $P_1, P_2$  — давление на входе в трубы-резервуары и выходе из нее, МПа;  $T_{cp}$  — средняя температура газа, °С.

В ряде стран дальнего зарубежья для компенсации пиковых нагрузок газопотребления производится и используется сжиженный природный газ. Завод по производству сжиженного природного газа (метана) имеется в Российской Федерации.

Сжиженный природный газ (СПГ) может использоваться в качестве автономного источника газоснабжения при ликвидации аварийных ситуаций.

Сжижение природного газа производится при температуре –162 °С на заводе, в схему технологического оборудования которого входят установки для сжижения, регазификации газа и газохранилище. В процессе сжижения газа выделяются из него ценные компоненты — гелий и этан. На завод природный газ поступает под давлением 3,5–5,0 МПа, где он последовательно очищается, охлаждается и дросселируется относительно при малых энергозатратах.

Основное преимущество сжиженного природного газа заключается в том, что при сжижении газа объем его уменьшается в 600 раз. Это позволяет при относительно небольшой емкости хранилища СПГ обеспечить поставку необходимого количества регазифицированного газа. Так, хранилище СПГ в хранилище емкостью 30 тыс. м<sup>3</sup> будет эквивалентно хранению 17,5 млн. м<sup>3</sup> газообразного природного газа. Заполняться хранилище СПГ может в течение летнего периода и храниться при низком давлении в хорошо изолированных резервуарах при температуре от –161 до –157 °С. Не исключено хранение СПГ в хранилищах, сооруженных в выработках размытых в соляных отложениях в районе Солигорска.

Сжиженный природный газ в случае использования его для регулирования неравномерности газопотребления можно транспортировать по трубам. В этом случае можно передавать в три раза больший поток топлива, чем при транспортировке метана в газообразном состоянии. Однако для организации трубопроводного транспорта СПГ потребуется соорудить дорогой и энергоёмкий головной завод сжижения, охладить газ до

температуры  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , проложить в условиях низких температур трубы из дорогой хладостойкой стали, изолированных эффективной топливной изоляцией. Потребуется решение проблемы устранения теплового и механического воздействия низкотемпературных трубопроводов с окружающей средой, т. к. тепловая изоляция трубопроводов в состоянии лишь частично защитить почву от промерзания.

Более эффективен способ транспортировки сжиженного природного газа в автомобильных цистернах. Его можно доставлять на станцию наполнения баллонов или непосредственно на газопотребления (котельные, ТЭЦ, промышленные предприятия) взамен сжиженного дефицитного пропана, где пропан используется в качестве резервного топлива. Применение СПГ позволяет заменить и исключить из топливооборота дизельное топливо, мазут, уголь, т. к. теплота сгорания их существенно ниже.

Сжиженный природный газ является качественным моторным топливом. Преимущества его перед моторным топливом заключаются в том, что октановое число у природного газа на 15 % выше, чем у лучших бензинов. Применение

СПГ в автомобилях увеличивает срок службы оборудования в 2 раза и при этом снижается расход масла, увеличивается межремонтный ресурс. Сжиженный природный газ нетоксичен, не загрязняет топливную систему, не вызывает коррозию. Он в 2 раза легче бензина и занимает значительно меньший объем в емкости, чем сжатый природный газ, поэтому в баке автомобиля можно размещать большое количество СПГ.

СПГ возможно производить в установках утилизации попутного газа нефтяных месторождений, а хранить в хранилищах сооружаемых в выработках соляных отложений. Наша Республика располагает попутным газом. Его получают в процессе разработки нефтяных месторождений в Речицком районе Гомельской области. В Солигорском районе имеются выработки пластов в отложениях каменной соли.

Выбор оптимального сочетания способов резервирования газа или решение вопроса о целесообразности производства сжиженного природного газа, в т. ч. использования природных ресурсов Речицкого и Солигорского регионов Республики должны приниматься с учетом затрат по их реализации с достигнутыми при этом результатами.

#### *Литература*

1. Дядичкин, А.Ф. Компенсация пиков внутрисуточной неравномерности газопотребления путем использования аккумулирующей способности магистрального газопровода: автореф. дис. ... канд. техн. Наук / А.Ф. Дядичкин. — Минск, 1983.
2. Кудемский, А.В. Подземные хранилища газа в Беларуси: от высоких технологий к промышленной технологии / А.В. Кудемский // Промышленная безопасность: журн. — 2001. — № 3. — С. 11.

## НЕКОТОРЫЕ ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

*Гребенчук П.С., Левданский Э.И., Левданский А.Э.*

Процессы измельчения материалов находят широкое применение в различных производствах. Количество измельчаемого в год материала при производстве калийных удобрений, цемента и силикатных изделий, переработке зерна на пищевые и комбикормовые цели измеряется миллионами тонн.

Весьма существенным недостатком процесса измельчения является высокое энергопотребление. Удельный расход электроэнергии на измельчение 1 т материалов в вышеприведенных производствах близок к 10 кВт·ч или во много раз выше, например при производстве цемента. Следовательно, на осуществление процесса измельчения в республике затрачиваются сотни миллионов киловатт-часов электроэнергии и потому снижение энергопотребления на осуществление данного процесса является весьма актуальной задачей.

Способы измельчения материалов разнообразны, однако основными из них являются механические, такие как раздавливание, удар и истирание. Во многих работах [1, 2, 3] теоретически и экспериментально доказано, что работа измельчения ударом значительно ниже, чем раздавливанием, а самый высокий расход энергии наблюдается при измельчении истиранием. В настоящее время известно большое количество патентов на конструкции дробилок и мельниц ударного измельчения, однако промышленное применение нашли в основном четыре конструкции — это роторные, молотковые, дезинтеграторы (дисмембраторы) и ударно-центробежные. Конструктивно все эти агрегаты весьма близки, т. к. имеют ротор с рабочими элементами, а внутри корпуса вокруг ротора устанавливаются отбойные плиты (стержни и т. д.). В роторных измельчителях в качестве рабочих органов используются била, которые жестко закреплены на валу ротора, а в молотковых используются молотки, подвешенные на роторе

шарнирно. Измельчение в этих конструкциях происходит при скоростном ударе молотков или бил по кускам материала, а также при ударе об отражательные плиты или при соударении кусков между собой. В дезинтеграторах и дисмембраторах рабочими элементами являются пальцы, жестко закрепленные по концентрическим окружностям на дисках ротора. Ряд пальцев одного диска находится между рядами пальцев другого. В дезинтеграторах оба диска с пальцами вращаются в противоположных направлениях, а в дисмембраторах вращается один диск с пальцами, а второй является неподвижным. Измельчение в этих агрегатах происходит за счет многократных ударов пальцев по кускам материала при продвижении его от центра ротора к периферии.

Ударно-центробежные измельчители отличаются от предыдущих конструкций тем, что процесс дробления практически полностью перемещен с вращающегося ротора на периферическую отражательную поверхность. Ротор здесь представляет собой диск с лопатками или ребрами и выполняет в основном разгонную функцию. Для этого материал, подлежащий измельчению, подается в центр вращающегося диска и с помощью разгонных лопаток с высокой скоростью выбрасывается на отбойную поверхность плит, где за счет удара разрушается. Анализ рассмотренных измельчителей ударного действия показывает, что они имеют ряд преимуществ по сравнению с измельчителями других типов:

- более низкое удельное энергопотребление;
- высокую энергонапряженность в рабочей зоне, что обеспечивает высокую степень измельчения при низкой металлоемкости агрегата;
- получение продукта измельчения по форме близкой к кубу;
- простое и эффективное воздействие на гранулометрический состав продуктов измельчения путем изменения скорости вращения ротора;

- низкий уровень капитальных затрат;
- из-за простоты конструкции низкую трудоемкость технического обслуживания.

В то же время измельчители ударного действия имеют и недостатки, два из которых весьма существенны и заключаются в следующем:

- большой абразивный износ рабочих органов, особенно при переработке высокоабразивных материалов;
- большой разброс дисперсного состава продуктов измельчения.

Поэтому, несмотря на существенные преимущества измельчителей ударного действия, выше-названные недостатки длительное время сдерживали широкое их применение в производственных процессах.

Что касается абразивного износа, то некоторые исследователи высказывали мнение, что данные измельчители целесообразно использовать для измельчения материалов с твердостью не выше 4 по шкале Мооса. В то же время исследованиями установлено [4], что удельный расход металла на абразивный износ (износ, отнесенный к 1 т готового продукта) в измельчителях ударного действия одинаков или даже ниже по сравнению с удельным расходом в щековых дробилках или шаровых мельницах [4]. Однако масса рабочих органов измельчителей ударного действия во много раз меньше по сравнению, например, с массой мелющих тел в барабанной шаровой мельнице, следовательно, наработка рабочих органов и межремонтный срок также резко уменьшаются. Это приводит к частым остановкам для восстановления или замены изношенных деталей. Увеличение срока службы рабочих органов ударных измельчителей является весьма актуальной задачей, которую исследователи пытаются решить путем применения износостойких материалов и конструктивных усовершенствований. Из износостойких материалов наиболее широкое применение получила высокомарганцовистая сталь типа 110Г13Л. У этой стали твердость поверхностного слоя под давлением в 3 раза выше, чем у стали Ст3. Еще больше увеличивается ресурс этой стали при ее легировании ванадием. При помоле продуктов средней твердости хорошие результаты получаются с использованием белых чугунов и в особенности легированных никелем или хромом до 15 % и молибденом до 3 %. В последнее время широкое распространение находит защита рабочих органов и корпуса путем наплавки электродуговой и газовой сваркой высокотвердых износостойких наплавочных

материалов на основе карбидов, боридов, никеля, титана. Особенно широкое применение находят сплавы типа ВК (на основе вольфрама) [4].

Одним из возможных путей продления межремонтного срока службы рабочих органов измельчителей ударного действия является создание таких конструкций, в которых измельчающие элементы работали бы под защитным слоем из измельчаемого материала. Конструкция такой дробилки создана фирмой «Бармак Эссошиэйтед» (Новая Зеландия) на базе ударно-центробежного измельчителя с вертикальным валом, т. е. с горизонтальным ротором. В этой конструкции лопадки ротора заканчиваются тупиком, в результате чего при работе на них образуется слой самофутеровки из измельчаемого материала. Наличие в нижней части отражательной стенки кольцевой площадки также создает на этой стенке слой самофутеровки. Таким образом, измельчение в такой дробилке происходит по принципу «камень о камень», что значительно снижает абразивный износ рабочих органов и увеличивает во много раз межремонтный срок ее эксплуатации. Конечно, эффективность использования кинетической энергии кусков материала на их разрушение в дробилках «камень о камень» несколько ниже, чем в дробилках без самофутеровки, измельчение в которых основано на принципе «камень о металл».

Учитывая достоинства измельчителей ударного действия и используя рассмотренные способы защиты от абразивного износа фирмы многих стран, например США, Великобритании, Германии, Австрии, НПО «Центр» (г. Минск) освоили их серийное производство, что позволило найти им применение при измельчении самых различных материалов. Следует отметить, что из всех конструкций измельчителей ударного действия наиболее широкое применение начали находить измельчители ударно-центробежного типа, в которых процесс измельчения вынесен с ротора и полностью осуществляется на отражательной стенке.

Как указывалось ранее, весьма важным недостатком измельчителей ударного действия является большая неоднородность измельченного материала по дисперсному составу. Особо большие нарекания у производственников на работу молотковых измельчителей, т. к. измельченный продукт в этих агрегатах состоит из частиц от микронного размера до кусков с размером, близким к размерам исходного материала.

Для выяснения причины большого разброса по дисперсности продукта, измельченного в



ударных мельницах, нами проведен анализ работ по ударному разрушению материалов, а также проведены дополнительные исследования. В результате анализа установлено, что при ударе на распределение местных напряжений и деформацию оказывают существенное влияние продольные, поперечные и поверхностные волны. Скорость распространения волн равна скорости звука в данном материале. При достаточном запасе энергии за упругими волнами следует фронт разрушения. Первичные трещины и изломы берут начало от центра удара. Вторичные трещины и изломы не исходят из центра удара, а образуются при отражении упругой волны и волны разрушения, при торможении и отражении волн от зон структурной неомогенности. Представление о характере измельчения частицы ударом дает модель разрушения шарика, предложенная И. Примером [5] (рис. 1), впоследствии подтвержденная экспериментальными исследованиями Е. Рейнерса и Г. Шлауга [6]. Согласно этой модели, в зоне ударного контакта образуется конус тонкоизмельченного продукта 1. Причем величина этого конуса и размер образующихся частиц прямо пропорциональны скорости удара. С противоположной стороны наблюдается остаточный конус 2, который в основном не разрушается. Между конусами образуется зона боковых осколков 3. Следует еще раз отметить, что величина этих трех зон зависит в основном от скорости удара.

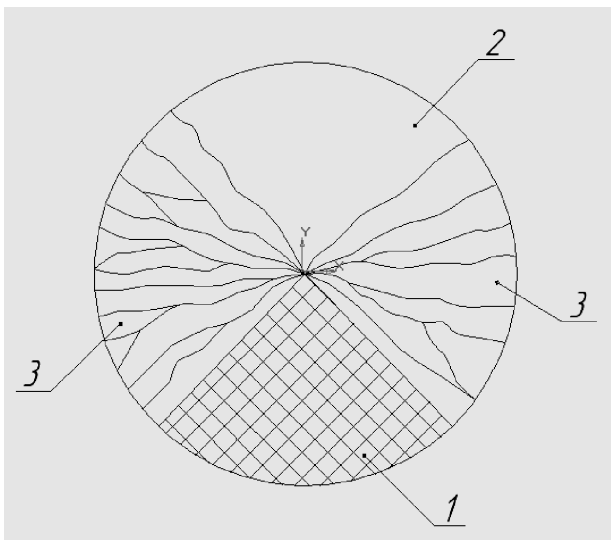


Рис. 1. Схема разрушения шара при ударе по И. Примеру:

1 — зона тонкоизмельченного продукта; 2 — зона остаточного конуса; 3 — зона боковых осколков

Например, опыты со стеклянными шариками показали, что при очень высокой скорости удара  $v > 400$  м/с зона тонкого измельчения охватывает практически полный объем шарика.

Процесс ударного разрушения не является мгновенным, а происходит во времени, хотя величина этого времени исчисляется миллисекундами. В начале происходит разрушение материала на мелкие частицы в зоне контакта со стенкой, а затем — разрушение остальной части куска на осколки. Следовательно, мелкие частицы разлетаются из зоны контакта вдоль отрагательной поверхности и потом крупные осколки из второй и третьей зон отскакивают от отрагательной поверхности. Таким образом, из данного анализа ударного разрушения следует:

- получить тонкодисперсный продукт однократным ударным нагружением можно только при очень высоких скоростях удара. Обеспечивать скорость удара выше 400 м/с экономически невыгодно, т. к. для придания кускам измельчаемого материала высокой скорости потребуются затратить большое количество энергии. Кроме того, такую задачу трудно решить технически;

- экономически наиболее целесообразно осуществлять ударное измельчение при умеренных ударных нагрузках с повторным ударным нагружением недоизмельченных крупных кусков и непрерывным отводом из рабочей зоны измельчения готовой мелкой фракции.

Естественно, возникает вопрос определения оптимальной скорости удара, на величину которой будет оказывать влияние большое количество факторов, таких как физико-механические свойства измельчаемого материала, его структура, размер кусков и их форма, конструктивные особенности измельчителя и т. д. Следовательно, для каждого материала оптимальная скорость удара будет своя и ее можно определить только экспериментально. Ясно одно: она должна быть выше критической скорости  $v_k$ , при которой начинается разрушение материала.

Известно множество работ по определению критической скорости  $v_k$  при ударном разрушении и предложено большое количество зависимостей для ее определения. Однако в основу всех зависимостей положена формула, полученная академиком В.П. Горячкиным [7]:

$$v_k = \frac{\sigma_p}{\sqrt{\rho E}},$$

где  $\sigma_p$  — предел прочности материала на растяжение;  $\rho$  — плотность материала;  $E$  — модуль упругости.

В то же время на критическую скорость начала разрушения также оказывают влияние все вышеперечисленные факторы, которые при теоретических расчетах учесть практически невозможно. Таким образом, получить достоверные данные по критической скорости разрушения конкретного материала также можно только экспериментально.

Дальнейшие наши исследования были направлены на создание ударно-центробежной мельницы, в которой крупные осколки продуктов измельчения после первого удара подвергались бы дополнительному ударному нагружению при непрерывном отводе из рабочей камеры готового продукта. Разработанная конструкция представлена на рис. 2 [8]. Она состоит из вертикального цилиндрического корпуса 1, футерованного внутри отражательными стержнями 2, и ротора, закрепленного на валу

электродвигателя 3 и состоящего из диска 4 с разгонными лопатками 5 и отбойными лопатками 6. Загрузка исходного материала в центр ротора осуществляется через воронку 7 в крышке 8. Выгрузка готового продукта производится через спиралеобразный полукольцевой канал 9 в днище 10.

При работе мельницы материал вместе с воздухом попадает в каналы ротора, разгоняется до высоких скоростей и ударяется об отражательные стержни. После удара мелкоизмельченные частицы под воздействием силы тяжести и воздушного потока опускаются вниз вдоль поверхности отражательных стержней, а крупные осколки отскакивают от стенки, попадают под удар лопаток ротора и снова отбрасываются на отражательную стенку. Но поскольку на осколки воздействует нисходящий вращающийся воздушный поток, то

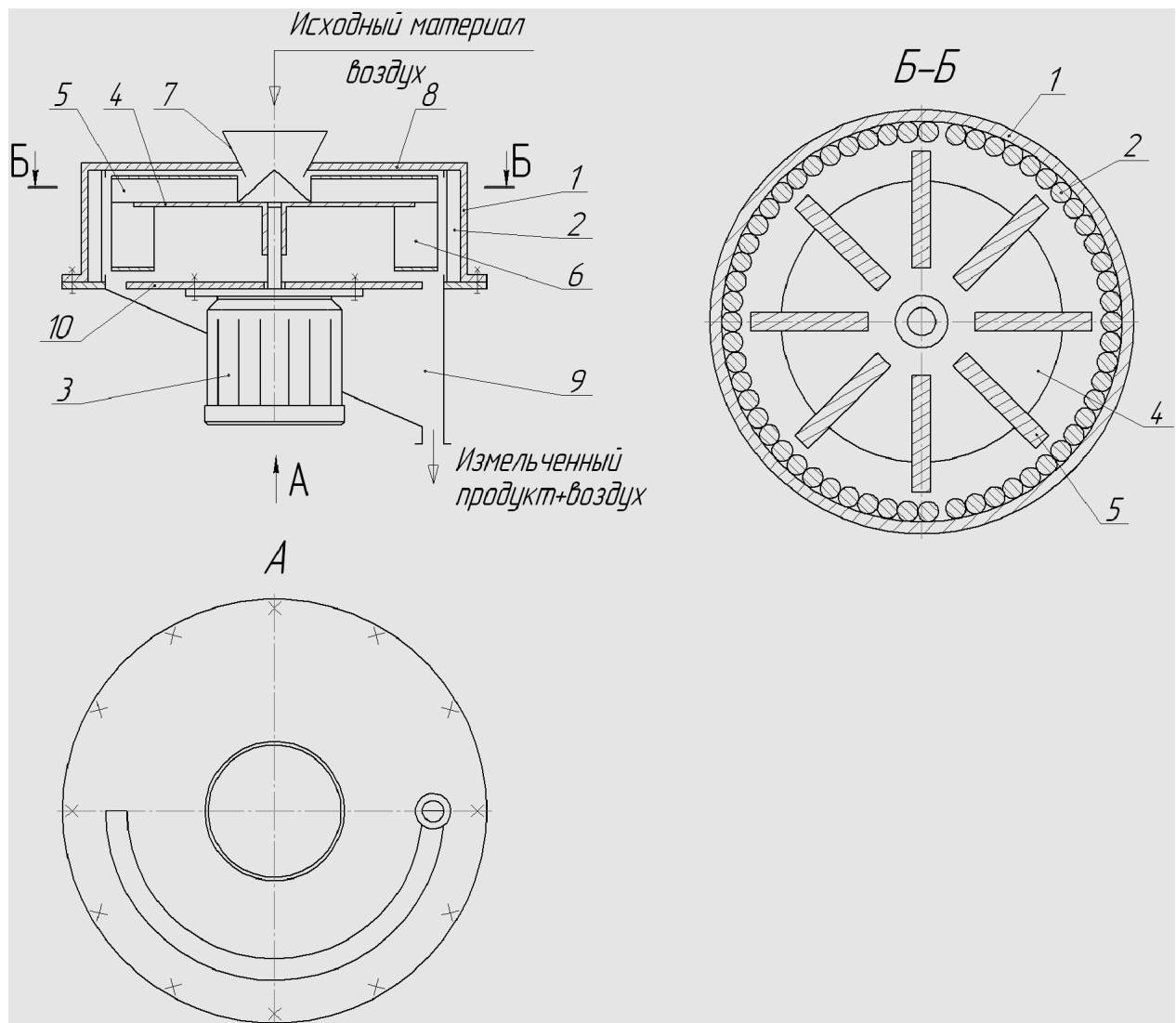


Рис. 2. Ударно-центробежная мельница селективного многократного разрушения

они несколько опустятся вниз и попадут уже под воздействие не разгонных, а отбойных лопаток. Таким образом, в этой конструкции при умеренной скорости вращения ротора крупные частицы материала подвергаются многократному ударному измельчению, а тонкодисперсный продукт непрерывно опускается вниз и через кольцевой канал выводится из агрегата.

На рис. 3 приведены результаты экспериментальных исследований в виде графических зависимостей дисперсного состава продуктов измельчения зерна ячменя при различной высоте отражательных лопаток (кривые 1, 2, 3) при скорости вращения ротора ударно-центробежной мельницы  $n_p = 2820$  об./мин. Здесь же для сравнения приведен дисперсный состав продуктов измельчения зерна ячменя в молотковой дробилке (кривая 4). Как видно из графика, наличие в нижней части ротора отбойных лопаток значительно повышает качество измельчения материала, продукт получается более однородным по дисперсному составу. При этом количество переизмельченного продукта (размер фракций меньше 0,15 мм) по сравнению с измельчением в молотковой дробилке как минимум в 2 раза меньше, что также является положительным фактором при измельчении зерна на фуражные цели.

Таким образом, сделанные нами теоретические предположения о необходимости отбойных лопаток на роторе полностью подтверждаются опытными данными. В ходе исследований также было выявлено, что увеличение высоты отбойных лопаток более чем в 2 раза по сравнению с высотой разгонных нецелесообразно, т. к. не приводит к заметному изменению качества готового продукта.

### Литература

1. Селективное разрушение минералов / В.И. Ревнивцев [и др.]; под ред. В.И. Ревнивцева. — М.: Недра, 1988. — 287 с.
2. Богданов, В.С. Современные измельчители: характеристика и оценка для процесса помола клинкера / В.С. Богданов, В.З. Пироцкий // Цемент и его применение. — 2003. — № 4. — С. 10–15.
3. Опыт применения центробежно-ударных дробилок // Черная металлургия: обзорн. информ. Серия обогащения руд. — 1991. — 25 с.
4. Клейс, И.Р. Износостойкость элементов измельчителей ударного действия / И.Р. Клейс, Х.Х. Ууэмыйс. — М.: Машиностроение, 1986. — 286 с.
5. Priemer, J. Untersuchungen zur Prallzerkleinerung von Einzelteilchen / J. Priemer // Fortschr. Ber. VDI. — Z, Reihe 3. — 1968. — Vol. 8. — P. 64–72.
6. Reiners, E. Der Mechanismus der Prallzerkleinerung beim geraden zentralen Stob und die Anwendung diesen Beanspruchungsart bei der Lerkleinerung, insbesondere bei der selektiven Lerkleinerung ven spoden stiffen / E. Reiners. — Westdeutsche Verlag, Koln und Opladen, 1977. — 649 p.
7. Демидов, А.Р. Измельчающие машины ударного действия / А.Р. Демидов, С.Е. Чирков // обзор. информ. — М., 1969. — 70 с.
8. Мельница: пат 9942 Респ. Беларусь, МПК6 В 02С 13/00 / Э.И. Левданский [и др.]. — № а 20050439; заявл. 05.05.05; опубл. 28.02.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 2. — С. 74.

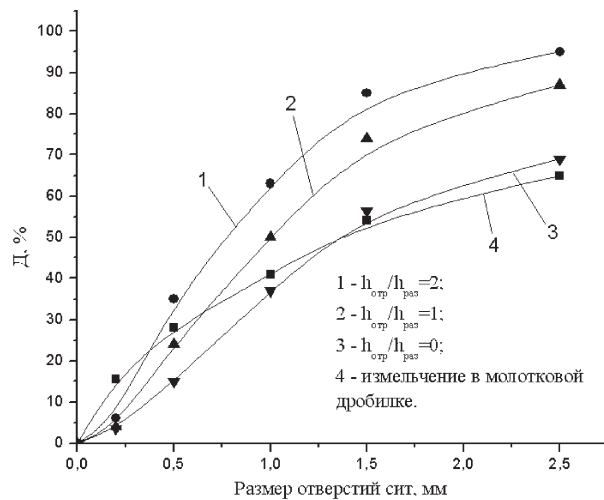


Рис. 3. Влияние высоты отражательных лопаток на дисперсный состав продуктов измельчения зерна ячменя при  $n_p = 2820$  об./мин ( $v_r = 68,8$  м/с)

Новая конструкция ударно-центробежной мельницы оказалась весьма востребованной в отечественной промышленности и сельском хозяйстве. В настоящее время осуществлен ряд внедрений ее для измельчения зерна, растительного и минерального сырья. На всех предприятиях отмечается ее высокая надежность, простота обслуживания, соответствие всем требованиям по качеству готового продукта. При этом по сравнению с молотковыми измельчителями удельный расход электроэнергии не менее чем на 30 % ниже. Результаты внедрений позволяют говорить о перспективах широкого использования этой конструкции ударно-центробежной мельницы в будущем.

## КУЗНИЦА ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ ДЛЯ ВОЙСК ПВО СТРАНЫ

*Пальцев А.Н., Щавлев А.А., Яцына Ю.Ф.*

*ГНУ «ФТИ НАН Беларуси»*

*Краткий исторический очерк*

Для эффективного боевого использования и эксплуатации новых комплексов вооружения Советскому Союзу были нужны инженерно-технические кадры, соответствующие уровню задач и достижениям научно-технической революции в военном деле. Для их подготовки был создан ряд военных училищ и в их числе в 1953 г. Гомельское высшее инженерное радиотехническое училище (ГВИРТУ) в составе двух факультетов со сроком обучения 4 года.

Главными задачами училища были [1, 2]:

- подготовка военных инженеров по радиотехническим станциям для зенитной артиллерии Войск ПВО страны, способных умело обучать и воспитывать своих подчиненных, грамотно эксплуатировать и применять боевую технику, правильно организовывать боевые действия подразделений и осуществлять твердое руководство ими в сложных условиях боевой обстановки с применением современного оружия и боевой техники;
- выполнение научно-исследовательских работ, направленных на разработку актуальных проблем военного дела;
- подготовка научно-педагогических кадров;
- оказание помощи войсковым частям в учебно-методической и военно-научной работе, а также в эксплуатации новой техники.

Учебные занятия на первом курсе начались 4 мая 1953 г. Этот день приказом Военного Министра СССР от 24 мая 1954 г. объявлен днем празднования годовщины училища.

Первый военный вуз БССР с 1953 г. имел различные названия<sup>1</sup>, а с мая 1995 г. стал называться Военной академией Республики Беларусь [3].

Ниже в хронологической последовательности приведен список начальников училища.

1. Генерал-майор артиллерии В.П. Журавлев (1953–1956).

2. Генерал-майор А.С. Базилевский (1956–1957).
3. Генерал-лейтенант артиллерии Н.Г. Филатов (1957–1974).
4. Генерал-лейтенант артиллерии, доц. Ю.Д. Куликов (1974–1982).
5. Генерал-лейтенант Е.В. Абрамов (1983–1987).
6. Генерал-майор, канд. воен. наук, доц. Л.И. Климов (1987–1991).
7. Генерал-майор, доц. В.Т. Осипов (1991–1995).



Генерал-майор артиллерии  
В.П. Журавлев (1953–1956)



Генерал-майор  
А.С. Базилевский (1956–1957)



Генерал-лейтенант артиллерии  
Н.Г. Филатов (1957–1974)



Генерал-лейтенант артиллерии,  
Ю.Д. Куликов (1974–1982)



Генерал-лейтенант  
Е.В. Абрамов  
(1983–1987)



Генерал-майор  
Л.И. Климов  
(1987–1991)



Генерал-майор  
В.Т. Осипов  
(1991–1995)

<sup>1</sup>Инженерное училище за всю свою историю имело четыре названия: с 1953 по 1955 г. — Гомельское высшее инженерное радиотехническое училище (ГВИРТУ), с 1955 по 1968 г. — Минское высшее инженерное радиотехническое училище (МВИРТУ), с 1968 по 1992 г. — Минское высшее инженерное зенитное ракетное училище (МВИЗРУ), с 1992 по 1995 г. — Минское высшее военное инженерное училище (МВВИУ).



В августе 1954 г. училище передислоцировалось из г. Гомеля в г. Минск и было размещено на фондах, занимаемых Окружными объединенными курсами усовершенствования офицерского состава. В связи с передислокацией в марте 1955 г. училище переименовано в МВИРТУ Войск ПВО страны. В августе 1956 г. состоялся первый выпуск большого отряда квалифицированных офицеров-инженеров — специалистов по радиолокационным станциям и ПУАЗО зенитных артиллерийских комплексов (ЗАК):

- ЗАК-57: СОН-9, ПУАЗО-6 и восемь ЗП-57 мм;
- ЗАК-100: СОН-4, ПУАЗО-7 и восемь ЗП-100 мм.

Это означало, что период становления училища как высшего учебного заведения Войск ПВО страны закончен.

С развитием средств воздушного нападения противника перед руководством страны и ВС СССР стала задача создания новых систем ПВО. Это объясняется тем, что истребительная авиация и зенитная артиллерия не обеспечивали поражение воздушных целей, летящих на высоте свыше 20 км. При этом вероятность поражения цели ЗАК была низкой. Для надежного поражения цели требовалось большое количество снарядов (на уничтожение одной цели батареями ЗП-57 мм требовалось 600 снарядов).

Качественное изменение средств борьбы и поступление в 50–60 гг. на вооружение новых систем: ЗРК С-25 (1955), ЗРК-75 (1957), ЗРК С-125 (1961) привели к глубоким изменениям в системе подготовки офицерских кадров для зенитных ракетных войск. Поэтому с 1956 г. училище переходит на подготовку военных инженеров — специалистов по зенитно-ракетной технике (инженеры по радиотехническим средствам наведения, наземному и бортовому оборудованию ЗУР) со сроком обучения 5 лет.

С 1958 по 1961 г. включительно училище осуществляло набор слушателей на два факультета только из числа офицеров со средним военным образованием. В 1961 г. в училище был открыт заочный факультет, а в 1963 г. — факультет по

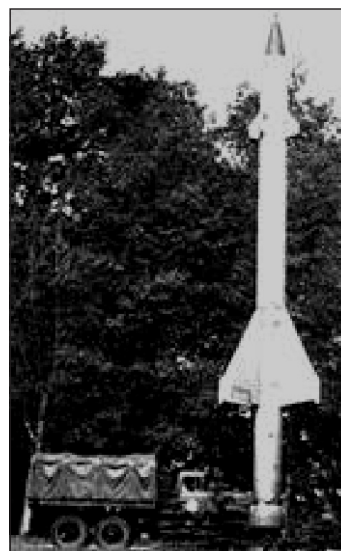
подготовке иностранных военных специалистов (ФПИВС). К своему 10-летию училище сформировало высококвалифицированный коллектив преподавателей и офицеров. Заметен был «минский» почерк обучения, отличавшийся хорошей теоретической подготовкой в сочетании с высокой практической выучкой слушателей.

В 1968 г. училище было переименовано в Минское высшее инженерное зенитное ракетное училище (МВИЗРУ) войск ПВО страны, а с 1973 г. — МВИЗРУ ПВО. В 1974 г. в училище были открыты еще два факультета: 3-й факультет, где изучается ЗРК С-300 и 4-й факультет, где изучаются АСУ ЗРВ войск ПВО. Таким образом, в 70-е гг. в училище осуществлялось обучение на шести факультетах: 1-м (зрдн С-75, С-125), 2-м (тдн С-75, С-125, С-200; зрдн С-200), 3-м (зрс С-300), 4-м (АСУ ЗРВ), 5-м заочном и 6-м (ФПИВС).

Ниже приводится перечень зенитно-ракетных комплексов (ЗРК), по которым в разные годы осуществлялось обучение в училище [4, 5].



ЦРН Б-200



ЗУР ЗРК С-25 на стартовой позиции



Пусковая установка ЗУР ЗРК С-75



СНР ЗРК С-75



СНР ЗРК С-125



Пусковая установка ЗУР ЗРК С-125



РПЦ ЗРК С-200



Пуск ЗУР ЗРК С-300



РПН (Ф-1С, Ф-2К) ЗРК С-300 ПС



Пусковая установка ЗУР ЗРК С-200

За время существования МВИЗРУ не одна сотня его выпускников удостоена золотой медали «За отличное окончание военного вуза», им вручены дипломы с отличием, а фамилии занесены на Доску почета училища. В их числе выпускник четвертого факультета 1980 г., один из авторов настоящей статьи — Яцына Ю.Ф.

В связи с образованием Республики Беларусь (1991 г.) на основании Постановления Совета Министров РБ от 3.06.1992 г. № 333 в целях расширения специализации подготовки офицерских кадров для ВС РБ МВИЗРУ ПВО было преобразовано в Минское высшее военное инженерное училище (МВВИУ). В этот период обучение

осуществлялось на 5 факультетах (заочный факультет был расформирован в 1984 г.).

В 1995 г. на базе МВВИУ и Минского высшего военного командного училища создана Военная академия Республики Беларусь, в которой обучение производится на 10 факультетах.

Важнейшие события в истории училища — открытие адъюнктуры в 1955 г. и решение ВАК СССР в 1967 г., 1978 г. об открытии Специализированных советов по защите кандидатских и докторских диссертаций в МВИЗРУ в области технических наук.

За период с 1953 по 1995 г. в советах училища было подготовлено 32 доктора и более 470 кандидатов наук. В том числе и авторы настоящей статьи в 80–90 гг. обучались в адъюнктуре, а в последствии защитили кандидатские диссертации по специальности:

20.02.14 — «Вооружение, комплексы и системы военного назначения» (Пальцев А.Н., Щавлев А.А.);

20.02.12 — «Системный анализ, моделирование боевых действий и систем военного назначения, компьютерные технологии в военном деле» (Яцына Ю.Ф.).

*Продолжение в следующих номерах*

#### Литература

1. Минскому ВизРУ ПВО 25 лет: краткий исторический очерк / Минск: МО СССР, 1978. — 120 с.
2. МВИЗРУ ПВО — МВВИУ: исторический очерк 1978–1993 годы / Минск: МО РБ, 1993. — 120 с.
3. Военная академия Республики Беларусь. История и современность: военно-исторический очерк / И.А. Мисурагин [и др.]; под общей редакцией профессора АВН генерал-майора И.А. Мисурагина. — Минск: ВА РБ, 2008. — 450 с.: ил.
4. Альперович, К.С. Годы работы над системой / К.С. Альперович. — М.: 2003. — 151 с.
5. Зенитная ракетная система С-300 / Невский бастион: приложение к военно-техническому сборнику / под общ. редакцией А.Г. Магрицкого. — СПб, 1997. — Выпуск 3. — 72 с.

## НАШ ОТВЕТ ЧЕМБЕРЛЕНУ, ИЛИ СТРАТЕГИЧЕСКАЯ АВИАЦИЯ СССР

Клеванец Ю. В.

(Продолжение. Начало см. в № 44–45)

### Дальний тяжелый бомбардировщик Ту-16

Главный конструктор Д. С. Марков

Образцово сделанная машина имеет некую власть над умами конструкторов. Всегда кажется, что ее, уже освоенную производством, можно заставить с небольшими переделками решать и иные задачи.

В 30-х гг. прошлого века в КБ Туполева уже был пример разработки серии конструкций разных размеров и разного назначения на фундаменте единой конструктивно-силовой схемы. Имея такой опыт вместе с отличным освоенным производством самолетом Ту-2, туполевцы решили войти в эпоху реактивной техники «малой кровью»: т. е. попросту поставить на Ту-2 реактивные двигатели. Однако эти попытки оказались неудачными, опытные разработки постоянно стремились вырасти в размерах, динамика реактивного самолета заметно отличалась от поршневого. Так что неудивительно, что конкурс на лучший фронтальной бомбардировщик выиграла «фирма» Ильюшина, предложившая совершенно новую разработку, изначально приспособленную под реактивные двигатели.

Волей-неволей Туполеву пришлось взяться за проектирование более тяжелой машины. Работы над ней начались в 1949 г. В это время в моторостроительном КБ Микулина завершалось изготовление первых двигателей АМ-3, по-видимому, мощнейших в мире на тот момент (тяга 8770 кг). Здесь, как кажется автору этого очерка, следует просто перечислить некоторые этапы создания новой машины: читатель и сам поймет, насколько напряжен был график работ.

В июне 1950 г. прошло решение правительства, официально разрешающее начало работ над дальним реактивным бомбардировщиком.

Апрель 1951 г. — готов габаритный макет самолета. Август того же года — двигатели Микулина прошли испытания. Ресурс достигал 150 ч.

В декабре первый опытный экземпляр выкачен из ворот цеха, а 27 апреля 1952 г. он совершил первый полет. Декабрь 1952 г. — постановление правительства о начале серийного производства, с 1953 г. новые бомбардировщики осваивает Казанский, а с 1954 г. — Куйбышевский авиационные заводы. В том же году 9 бомбовозов, названных Ту-16, показательно пролетели над Красной площадью на Первомайском параде.

По сравнению со своими английскими и американскими конкурентами-аналогами Ту-16 не производил впечатление чего-то выдающегося. Относительно небольшой (взлетная масса от 63 до 72 т), с короткими консолями крыла, без видимых аэродинамических изысков... Особенностью этого самолета были двигатели, самые большие и самые мощные среди всех собратьев-аналогов. Здесь уже говорилось, что два мотора всегда легче, чем четыре и тем более, чем шесть (как на Б-47). Кроме того, на Ту-16 упростилась и облегчилась топливная система, система управления двигателями и так далее. Значит, всеми этими «плюсами» можно перекрыть большой «минус» неэкономичности.



### Описание конструкции

Отличительная особенность Ту-16 — расположение двигателей в корне крыла, как на английских самолетах аналогичного назначения или на английской «Комете». Конструкция, имеющая некий иностранный прототип, всегда легче утверждается во всяких разрешительных инстанциях, а кроме того, большие двигатели Микулина вряд ли можно было разместить на самолете по-другому. Такое размещение двигателей утяжеляет крыло и ухудшает обслуживание и ремонт. Старые ремонтники могут вспомнить, что двигатели устанавливались на посадочные места вслепую, «на щелчок».

Зато Туполев постарался выиграть на аэродинамике. По воспоминаниям мемуаристов, именно он на совещании прорисовал такое сочетание бомбоотсека, фюзеляжа, крыла и двигателей, которое давало бы минимальное сопротивление, а гондолы двигателей играли бы роль аэродинамических наплывов крыла, имеющих свою подъемную силу.

Крыло — с типичными в дальнейшем для туполевских машин двумя разьемами на каждой консоли (отделяемая часть крыла (ОЧК), средняя часть крыла (СЧК), центроплан). На крыле применена аэродинамическая крутка (т. е. разные профили, как на самолете «150»). Профили крыла специально рассчитаны и подогнаны именно под этот самолет. Позади крыла висят гондолы под главные опоры шасси. Такая схема уборки повторялась потом и на других туполевских машинах. Основные опоры шасси оснащены четырехколесными тележками с диаметром колес 1100 мм. Механизация крыла в виде щелевых закрылков.

В фюзеляже две кабины экипажа: в передней находятся рабочие места для штурмана-навигатора, за ним — два пилота и штурман-бомбардир (еще говорят: штурман-оператор, если самолет вооружен ракетами).

Заднюю кабину занимают командир стрелковых установок и стрелок-радист. В распоряжении стрелков состоят три башни со сдвоенными пушками калибром по 23 мм и одна неподвижная пушка в носу самолета. Кроме стрелков, защитный огонь могут вести командир корабля и штурман-оператор.

Двигатели крепятся не к крылу, а на шпангоуты фюзеляжа.

Экипаж попадает в переднюю кабину через люк под креслом штурмана, а в заднюю — через люк под сиденьем стрелка-радиста. При аварийной ситуации пилоты катапультируются вверх, остальные члены экипажа — вниз. Перед

катапультированием летчики должны «отъехать» вместе с креслами в крайнее заднее положение для того, чтобы потом не удариться об органы управления. В литературе отмечены случаи тяжелых травм пилотов из-за того, что они в спешке забывали выполнить это требование.

В ракетноносных вариантах из-за большого радара рабочее место штурмана перенесено за спины пилотов.

Ту-16 — первый серийный самолет с радиолокационным прицелом «Аргон», который на испытаниях «захватывал» цель — истребитель МиГ-15 на дальности 2,5 км, а «вел» на 1600 м. В дальнейшем тот же «Аргон» применялся и на других самолетах-бомбардировщиках.

В высотное оборудование входят как компрессоры для нагнетания воздуха в кабину, так и сосуды с кислородом (такая схема типична для советских тяжелых военных машин: во-первых, можно не сильно опасаться прострела кабины, а во-вторых — есть некоторая экономия массы).

Проводка управления целиком механическая при помощи тяг. Вся неприязнь Туполева к любой механизации выразилась в этом самолете наиболее наглядно.

Скорость максимальная — свыше 1000 км/ч (например, Ту-16Б — 1004 км/ч). Скорость посадочная примерно 225 км/ч. Возможна посадка на грунт. Масса взлетная от 63 до 72 т, масса боевой нагрузки нормальная — 3 т, максимальная — 9 т. Применяются бомбы калибром от 100 до 9000 кг в разных вариантах.

### История производства, применения

Особенности разных вариантов конструкции.

Итак, вернемся в 1954 г. За майскими парадными фанфарами для КБ начались тяжелые будни. Все бомбардировщики, выпущенные промышленностью, оказались перетяжеленными примерно на 4 т. Генеральный и Главный конструкторы получили взыскания. Соответственно в КБ началась борьба за снижение массы конструкции. При этом использовались разные средства: увеличивался шаг заклепочных швов, обшивочные листы из сплава Д16Т менялись на В95 и так далее. Как следствие аврала, через два года в эксплуатации на целой партии самолетов обнаружилось ослабление заклепочных соединений на обшивке фюзеляжа. Только через некоторое время синусоида судорожных «перетяжений — прослаблений» превратилась в более-менее ровную линию.

При передаче в войска начались проблемы и с «начинкой» самолета. Так, в литературе отдельно отмечается плохая работа прицелов «Аргон»,



упомянутых выше. В войсках множились случаи аварий и катастроф. За первую половину 1956 г., например, случилось 7 тяжелых летных происшествий. В литературе описаны катастрофы и по вине самих ВВС: например, из-за перепутывания полярности электропроводки при обслуживании. Только к 1960 г. положение с аварийностью в парке самолетов типа Ту-16 стабилизировалось. Тем не менее отмечается, что с 1960 по 1990 г. произошло 30 катастроф и 8 аварий только в Дальней авиации. Но все равно в эти годы самолеты Ту-16 считались самыми надежными и безопасными.

КБ Туполева с момента поставок самолетов войска одной рукой отбивалось от претензий ВВС, другой — боролось за повышение качества поставляемых на самолеты агрегатов. Кроме того, беспрестанно велась работа по модернизации машины, разработка новых модификаций.

### Морские самолеты

К началу 1950-х гг. в Америке была снижена масса атомных боеприпасов с 5 до 1 т. Как следствие — под носители ядерного оружия там стали дорабатывать сразу несколько типов самолетов, в т. ч. и базирующихся на авианосцах. Таким образом, в это время оформилась важная составляющая ядерной триады ВС США — ударные морские авианосные соединения.

Появление ударной группировки в каком-либо районе Мирового океана сразу же меняло там военно-политическую расстановку сил: ее самолеты полностью контролировали пространство с радиусом сначала в 300, а затем — и в 500 км (при этом радиус действия ударных самолетов-носителей атомного оружия был примерно в два раза большим). Чтобы предотвратить возможный атомный удар с авианосца по территории СССР, необходимо было перегонять с аэродрома на аэродром большие группы перехватчиков.

Понятно, что в таких условиях значительная часть Ту-16 поставлялась в авиацию флота.

Для поражения крупных морских целей в СССР разрабатывалась система «Комета», или КС, основным компонентом которой был самолет-снаряд (т. е. аппарат, имеющий не ракетный, а турбореактивный двигатель). Для проектирования и испытаний системы были привлечены лучшие силы. Главным конструктором назначен М.И. Гуревич, в недавнем прошлом — соавтор МиГов, одним из испытателей стал Амет-Хан Султан, дважды Герой Советского Союза. Создание «Кометы» — это целая эпопея, неизвестная широкой публике.

С 1954 г. начались работы по оснащению силовой «Комета» самолетов Ту-16 (Ту-16КС). Два

самолета-снаряда подвешивались под крылом носителя. Самолет-носитель дооборудовался прицельным радаром. На Ту-16КС последний устанавливался под фюзеляжем, на самолетах с двумя типами ракет, о которых будет сказано ниже, в носу.

«Комета» позволяла производить пуски с высоты 4,0–4,5 км при скорости носителя 370–420 км/ч и дальности до цели 90–70 км. С 1957 г. ракетноносцы пошли в войска. К 1960 г. в ВМФ было уже 90 Ту-16КС.

В 1958 г. появилась новая система с самолетом-снарядом КБ Гуревича К-10. Дальность пуска при этом увеличилась до 200 км, а скорость носителя при пуске — до 800 км/ч. Экипажи флотских Ту-16КС и Ту-16К-10 постоянно отрабатывали удары по морским целям. В литературе сообщается, например, что в 1962 г. было произведено 147 пусков. В 1963 г. 100 % пусков завершились попаданием, в 1964 г. — 87 %. Отмечен также случай обстрела ракетой К-10 японского лесовоза, зашедшего в запретную для плаваний зону.

С началом следующего десятилетия на вооружение ракетноносной авиации начали поступать комплексы К-16 и КСР (последний — в противокорабельном и противорадарном исполнении) на основе ракеты с ЖРД (жидкостный ракетный двигатель), разработанной в Дубнинском производственном объединении. Большой плюс новых систем в их гиперзвуковой скорости, чего невозможно было добиться от самолетов-снарядов. Большой минус в применении высокомолекулярного топлива с азотной кислотой в качестве окислителя, что крайне усложняло обслуживание.

Появились ракетноносцы с комбинированным вооружением. Например, с начала 1970-х гг. на вооружение был принят Ту-16К-10-26 с одним самолетом-снарядом К-10 и двумя ракетами КСР-5. Такой вариант считался универсальным и самым мощным среди всех подобных ударных самолетов в мире.

Варианты самолета с комбинированным вооружением внешне отличаются наличием большого радара в носу.

На каждую ударную морскую группировку ВМС США нацеливались три полка Ту-16К разных типов. Вместе с тем, было признано, что такой расстановки сил еще недостаточно, и поэтому вместе с Ту-16К на авианосные соединения «вероятного противника» нацеливались и полки, вооруженные самолетами-ракетноносцами других типов.

Однако в морскую авиацию шли не одни ракетноносные самолеты. С 1956 г. на вооружение принят торпедоносец Ту-16Т (4 реактивные торпеды или 6 высотных торпед, или 12 мин).

Вместе с ним — разведчик Ту-16Р. Несколько позже — целеуказатель Ту-16РЦ. Последние постоянно дежурили вблизи американских авианосных группировок, по очереди сменяя друг друга.

В 1960-х гг. торпедоносцы переоборудовали в противолодочные самолеты Ту-16ПЛ.

Спасательные самолеты Ту-16С несли большую лодку, которую сбрасывали на воду в районе аварии, а затем выводили в место бедствия по радио.

Был и самолет — постановщик помех Ту-16ПП.

Собственно Ту-16, варианты «А» и «Б», а также заправщики «З» поставлялись на вооружение «сухопутной» Дальней авиации. Освоение заправки в воздухе по «советскому» методу «с крыла на крыло» велось с 1956 г. и не обошлось без катастроф. В 1957 г. на вооружении дальней авиации стояли 75 боевых самолетов и 57 заправщиков.

В том же году Ту-16А применялся для испытаний водородной бомбы мощностью 1,7 Мт на полигоне Новая Земля.

Всего с начала производства до 1963 г. Казанским, Куйбышевским, Воронежским авиационными заводами было построено 1507 Ту-16 всех типов (меньше примерно на 90 машин, чем Б-47). После окончания производства новые варианты самолетов получались путем переоборудования.

Среди подобных самолетов в мире Ту-16 оказался долгожителем. Только с 1994 г. начался вывод его из эксплуатации, закончившийся в 1995 г.

#### **Поставки за границу и боевое применение**

Советский диктатор Сталин не стремился передавать даже на самых выгодных условиях тяжелое вооружение другим странам. Автор этой статьи, во всяком случае, знает только о поставках в разные государства фронтовых самолетов-истребителей и бомбардировщиков. Либерализация в этом смысле началась при правлении Хрущева и Брежнева.

Первый и главный стратегический союзник СССР 50-х гг. — Китай — получил согласно Постановлению СМ СССР от 1956 г. полный комплект документации на Ту-16 и комплектующие для сборки. Затем, как известно, последовал разрыв отношений, китайцы сразу же обвинили советских специалистов в негодности чертежей и нехватке поставляемых в КНР элементов конструкции. С 1964 г. они начинают собственное производство, заменив кое-какое оборудование самолетов на то, что производилось на Западе. В 1965 г. китайский аналог Ту-16 принял участие в испытании атомного оружия. С 1968 г. начинается серийное производство самолета под индексом АШ-6(Н-6). Всего построено 120 машин в вариантах бомбардировщика, ракетносца (с ракетами, подобными советским КС), разведчика, самолета РЭБ.

Несколько самолетов этого типа были проданы Китаем в Ирак.

Ракетоносцы Ту-16КС в 1961 г. были поставлены Советским Союзом в Индонезию и в Египет (по 20 машин в каждую страну). Индонезия использовала эти самолеты во время своей войны с Малайзией. Данные по применению, как водится на Востоке, противоречивы.

Поставки тяжелых самолетов в Египет, а позднее — в Ливию можно, наверное, объяснить постоянным дежурством в Средиземном море знаменитого в свое время 6-го флота США. Советские правители, по-видимому, решили «допечь» в случае чего, американцев с юга. В то же время эти самолеты использовались в войнах между Египтом и Израилем, союзником США на Ближнем Востоке.

Поставки продолжились в 1966 г., когда в Египет перелетели еще 18 Ту-16КС и 6 Ту-16Т (торпедоносцы). В следующем году как следствие обострения обстановки в Средиземном море вошла эскадра ВМФ СССР, сопровождаемая десятью Ту-16Р с базированием на аэродромах в Египте. Два Ту-16Р из этой группы были переданы Египту. В печати сообщается, что не менее 20 самолетов типа Ту-16 были уничтожены израильской авиацией прямо на аэродроме во время «молниеносной» войны 1967 года (даты этого события разнятся в разных источниках).

В мае 1972 г. Египет получил еще 5 Ту-16К11-16 (с ракетами КСР-11 и К-16) и 2 Ту-16К-16. Эти самолеты участвовали в боевых действиях, однако, как и в прочих подобных случаях, однозначной информации об их применении нет.

Самолеты типа Ту-16 поставлялись Советским Союзом и режиму Саддама Хусейна в Ираке. Они там использовались в война с Ираном. Об их применении в той войне, как и в других случаях, нет возможности судить однозначно.

Ко времени первой войны сил Запада с Ираком в 1991 г. иракские Ту-16 в основном отработали ресурс, в воздух не поднимались и были уничтожены на земле.

В СССР Ту-16 применялись для бомбардировок, как писалось в печати, «лагерей душманов». При этом использовались бомбы от 500 кг до 3 т. Автору этой работы не хотелось бы быть «умным задним числом» и вливать свой голос в хор, осуждающий правителей СССР за афганскую кампанию. Это с одной стороны. А с другой — бомбардировки гор с использованием тяжелой техники все-таки вызывают недоумение.

*Продолжение в следующих номерах*

## МИНСК ГЛАЗАМИ ОЧЕВИДЦА

*(Из книги П.М. Шпилевского  
«Путешествие по Полесью и белорусскому краю»,  
середина 19 века)*

*(Продолжение. Начало см. в № 45)*

Заглянем теперь в самый город.

Для соблюдения порядка в описании местностей города я делю свой обзор Минска на три части по числу главных пунктов города: Низкого рынка, или Старого города, Высокого рынка и Нового рынка, или Нового места.

Начну с Низкого рынка как первоначального оселища древнего Минска, из которого впоследствии образовался новый, более изящный город, а древний, по обыкновению, оставлен без обновления, без изменения плана улиц, как бы для того, чтоб доставить потомству возможность сравнить Новый город с древним. Известно, что все древние города имели такую судьбу, т. е. с увеличением числа жителей рядом с древним,

большой частью деревянным, строился каменный город; о старом забывали, обращали его в предместье и даже иногда совсем уничтожали, оставляли только окопы, валы и замчища, а все внимание обращали на новый. Проходили годы, целые века, новый город расширялся, украшался, о старом сохранялось только воспоминание или народное предание на основании каких-нибудь археологических памятников. Точно так же случилось и с Минском. Старый Минск остался без расширения и улучшения и сохранил только воспоминание и предание о своих древностях. Что Низкий рынок действительно составляет пункт древнего и при этом очень древнего города, это доказывается тем, что еще в начале XVII в., именно



*Минск. Рисунок второй половины XIX в*

в 1620 и 1626 г., он назывался Старым рынком как это видно из актов Минской губернии, в которых он определяется даже его местность указанием зданий и соседней речки Слепни. А кроме того, народ до сих пор называет Низкий рынок с причислением к нему Троицкой горы, Татарского конца и Раковского предместья, Старым местом, т. е. старым городом и имеет несомненные данные для такого названия и подтверждения преданий о нем. Самым лучшим данным служат старинные окопы или остатки валов в центре нынешнего Низкого рынка, над рекой Свислочью между Татарским концом и Троицкой горой. Остатки этих валов до сих пор известны в устах народа минского под именем Замчища. По преданию на этом месте, именно, где теперь находится большой каменный дом, или так называемая Каменица княгини Любомирской и потом Чоглокова, стоял замок, укрепленный шанцами, валами и каналом, соединявшим некогда Свислочь с Немигой, ныне уже не существующей. Когда, кем, из какого материала построен был этот замок, древнейшие летописи не говорят; известно только, что в Минске на этом самом месте, где до нашего времени сохранилось замчище, был замок. Уже историк XVI в. Гвагнин говорит, что в его время в Минске существовал очень древний, деревянный замок, укрепленный при устье реки Немиги и окруженный болотом. Без сомнения, если не этот самый, так, может быть, другой до него был замок на нынешнем Замчище; но во всяком случае, начало минского замка, положим даже того, о котором свидетельствует Гвагнин, нужно относить к XV или XIV, а, может быть, и XIII в., потому что сам же Гвагнин называет его древним по отношению к XVI веку; равно и акты Минской губернии 1513 г. упоминают о замке, как существовавшем уже в то время в Минске с древних времен, имевшем свою особую церковь (во имя Рождества пресвятой Богородицы) с чудотворным образом Богоматери, свое правление, урядный двор и пользовавшимся мытом или сборами с городских земель и окрестных усадеб, известными под именами: серебщины, ординщины, воевщины, коляды, волочебного, капщизны и куличного. Судя по тому, что это место называлось Государственным доходом, нельзя думать, чтобы оно было порождением введенного в то время в Минске магдебургского права или польской администрации; без сомнения, это памятник русского права, сохранившийся в минском крае как древнекривичской земле со времен русских князей, именуемых в грамотах государями или государями-князьями.

Впрочем, народное предание не ограничивается свидетельством об одном замке; оно говорит, что в Минске было два замка, и что один из них был каменный, но где именно — неизвестно. О существовании в Минске другого замка говорят польские ученые Балинский и Липинский, утверждая, что в Минске с давних времен был красивый замок при устье реки Несники (т. е. Немиги), валы и окопы которого сохранились до настоящего времени; а возле него был когда-то другой, малый, но о нем сохранилось только воспоминание в устах народа. Который из этих двух замков цитируется у Гвагнаина, для нас все равно — очевидно, однако, тот, который, по словам Балинского и Липинского, был при устье реки Немиги, потому что и Гвагнин полагает его в этом месте; для нас достаточно знать, что он существовал в Минске с очень древних пор, построен, вероятно, каким-нибудь древним русским князем и сохранил в себе следы русского права во время польского господствования в Западной Руси до водворения в Минске разных старост, воевод и наместников... С поселением этих властей в Минске и помещением в минском замке судебного трибунала замок был свидетелем нового судопроизводства, вследствие которого родились новые привилегии и акты в духе польском: одно только, что еще давало право замку называться русским, — это то, что привилегии и акты, конфирмированные в трибунале минского замка, написаны были на древнерусском или белорусском языке, впрочем, недолго замок был местом судов польских: в конце XVII в. он стал ветшать, а пожар в 1778 г. уничтожил его, так что с тех пор он уже был невозобновляем. И на валах его долго оставались развалины древнего здания, пока, наконец, жиды растаскали полусгоревшие бревна, почерневшие камни и кирпичи. Впоследствии, как бы в воспоминание существования древнего замка, близ его Замчища была построена большая каменица, которая существует и до сих пор. Прямо против Замчища, за Свислочью, между татарскими сенокосами и Переспой красуется довольно щегольский хутор Людumont, принадлежащий господину Троберту. В память замка сохранилось название улицы Замковой: она идет от Свислочи мимо Низкого рынка и, перерезывая улицу Раковскую у еврейской школы, упирается в подошву горы Высокого рынка и тем как бы указывает границы старого города. Улица эта довольно грязная и населена большей частью цеховыми мещанами, как бы в воспоминание прав древнего Минска, изданных в замке; есть здесь

и жида, мелкие торгаши: они имеют кое-какие лавчонки, наполненные горшками, деревянной посудой, козьим сыром, маслом, молоком и дегтем: не удивляйтесь — в некоторых лавочках все это вместе продается. Близ Замковой улицы есть так называемый Смачный куток (Вкусный угол), нечто вроде обжорного ряда, где за пять копеек серебром угощают крупником (супом из круп) и куском говядины, также колдунами (пирменями) и воловьей печенкой.

К памятникам старины Низкого рынка, т. е. древнего Минска, относится Немизская улица, получившая свое название от некогда существовавшей в нынешних ее пределах реки Немиги, о которой упоминается в последний раз в актах XVII в. По каким-то тайнам природы русло этой реки высохло и в настоящее время напоминает о себе иногда весной во время таяния снега и больших дождей. Я помню, как не раз мне самому приходилось видеть Немигу, появлявшуюся в Немизской улице на несколько дней и потом опять исчезающую: начиная от Фелицианской и Романовской улиц, вдоль Рыбного рынка образуется быстрый поток и уносит свои воды в Свислочь близ Замчища. Поскольку проток этот бывает иногда довольно большой, то для переправы через него устраиваются мостки: впрочем, быстрая вода сносит мостки в тот же день, как их устроят, и тогда приходится переезжать в наемных извозчичьих тележках, так называемых герцумероликов, налетающих к берегам Новой Немиги в бесчисленном количестве и собирающих с седоков копейки за перевоз.

Что же такое Низкий рынок в старом Минске? Под именем Низкого рынка разумеется собственно небольшая квадратная, грязная, никогда не высыхающая (потому что здесь прежде были болота, и теперь они просачиваются на поверхность площади, несмотря на то, что площадь вымощена камнем) площадь, обрамленная бесчисленными шкапиками, т. е. лавчонками, составляющими четыре сплошные стенки с несколькими входами; шкапики эти на некотором расстоянии от своего основания покрыты жестяной крышей, прикрепленной к столбикам и перилам. Это минский базар. На шкапиках восседают разные торговки и торговцы с съестными припасами: на первом плане, прямо против Бернардинской улицы, увидите несколько жидовок, торгующих сбитнем, но сбитнем белорусским, минским, приготовляемым из березовых листьев, аеру, липового цвета и патоки; сбитень кипятится в огромных, не очень красивых самоварах и разливается в чашки

с блюдечками. Рядом с сбитенщицами располагаются булочницы, или, правильнее пекарки, с баранками постными и масляными (на яйцах), ситницами (кисло-сладкий хлеб), кренделями, булками, сухарями и куханами (особого сорта белый хлеб наподобие блинов), всех возможных сортов: с коровьим маслом, тмином, чернушкой, постным маслом и даже с луком. На втором плане, против моста, найдете разные крупы и соль, дальше — копченое свиное сало, здор (свиная плева с жиром, употребляемым в простонародье вместо коровьего масла), ветчину, колбасы (очень вкусные, замечу мимоходом), салцесоны и битую дичь. Третья стенка базара, что против жидовских трактиров, вся завалена коробками и мешками с разной мукой, солью и черным хлебом. Наконец, с четвертой стороны, шкапики базара заставлены бочонками с селедками и селедочной ухой (оселенцовая юшка — еврейское лакомство); большая часть селедок изрезана на мелкие кусочки, которые продаются по грошам; возле селедок, на деревянных кружках, валяются ломти сыра и жареной рыбы; по соседству с ними в коробочках прикрыты горячие пирожки с вареньем, ватрушки, товкачики (гречневые булочки) и картофляшки (пирожки из картофеля с маком). Но сказанное мной доселе относится только к шкапикам, или стенкам базара; внутренность же базара имеет свою структуру. Вся внутренняя площадка наполнена бесчисленными разнородными скамейками, стульями, столами, корзинками и клетками, которыми заведывают исключительно жидовки. Прежде всего бросаются в глаза ряды скамеек с почвами (деревянные желобы), наполненными яйцами, орехами и луком; дальше — клетки и корзинки с курами и цыплятами, гусями и индюшками. Наконец, следуют ряды с холстом, рубахами и вообще с готовым бельем... Все это на площадке базара — достояние жидовок! Заметьте, жидовок: они сидят здесь с утра до вечера, тут они и кушают, и шьют свои платья, и вяжут чулки, и штопают разную ветошь для детей своих, которые нередко спят тут же на мостовой на коленях матерей; при каждой из них летом и зимой у ног стоит глиняный горшок с горячими угольями. На этой площадке, когда вы не придете (кроме субботы), всегда услышите крик, шум и перебранку торговок, всегда увидите грязь, всегда заметите много народа. То же самое увидите и услышите вокруг всего базара, где также производится мелкая торговля крупами, горохом, бобами, семенами, листовым табаком и минскими сигарами, канатами, нитками, известкой, мелом,

гвоздями, горшками, железом и разными сухими бальзамическими травами.

Вообще нужно заметить, что Низкий рынок, или, как недавно назвали его, базар, составляет особенность старого Минска; и в коммерческом отношении имеет такое же значение, как петербургский толкучий рынок. Мне очень хорошо знаком этот базар. Еще будучи школьником, я часто, проходя в училище, любил останавливаться перед ним и глазеть на бесчисленных его торговцев. Некоторые из их лиц так врезались в моей памяти, что я не мог забыть их и по выезде из Минска. Приехав в Минск, я тотчас поспешил на Низкий рынок, чтоб взглянуть на эти лица и по какому-то странному стечению обстоятельств действительно увидел два-три из них. Мне попался старый знакомец, инвалид на деревяшке, с бесчисленным лохмотьем на плечах и разными бронзовыми безделушками в левой руке; но что особенно удивило меня, под мышкой правой руки у него было испорченное ружье, то самое, которым он стращал меня, мальчика, когда я подходил к нему и торговал медными часиками. Тут же возле инвалида, у будки, сидела на зедлике (стульчике) старушка с корзинкой слоеных пирожков, которыми я запасался, идя в школу. Неподалеку стоял жид Абрам с маковниками и масляными баранками... Все старые знакомые. Между Зыбицкой улицей и главной стенкой базара на протяжении всей улицы, ведущей от моста до улицы Замковой, торговцев столько, что они образуют сплошную массу, и по головам их можно смело пройти, словно по неровной мостовой. Тут вы увидите и салопниц, и башмачниц, и лохмотников, и разносчиков старого платья, и продавцов нового, и шляющихся портных, напрашивающихся к каждому в дом шить поденно, и сапожников с готовыми сапогами, и шапочников. У самого базара на вас нападут жида и жидовки со всех сторон. И горе вам, если вы проговорите к ним хоть одно словцо; не слушая, что вы сказали, а подумав, что вы спрашиваете каких-нибудь продажных вещей, они потащат вас на Бернардинскую улицу, а оттуда и не думайте о пути обратном: это значит пробиваться через каменную стену. Единственный выход — на Высокий рынок; но все-таки долго-долго придется вам попутешествовать, пока вы ступите на первый камень гостинодворской площади. Вас окружит новая ватага бород и пейс, владельцы которых схватят вас, одни за рукава, другие за руки, а некоторые так прямо, без всяких церемоний обнимут вас и почти на руках внесут в свои кромы (лавки). Не успеете вырваться из их объятий,

как вас встретят новые партии, которые начнут расхваливать свой товар... Но еще больше надоedyт вам, если случится проходить от Высокого к Низкому рынку на базар с каким-нибудь узлом: при самом спуске с горы, близ того места, где прежде был Бонифратерский монастырь, на углу Зыбицкой улицы вас атакуют так называемые тандытники, т. е. продавцы и покупатели всякого платья, и не пустят вас без того, чтоб не посмотреть, что вы несете. Они подумают, что вы пришли продавать какую-нибудь вещь, — и тогда беда вам. Они начнут оспаривать и вырывать вас друг у друга, как добычу. Не менее нападений встретите, если будете проезжать чрез Низкий рынок в дорожном экипаже...

По левую сторону Низкого рынка по направлению к Раковской улице тянутся сжатые каменные здания, в подвалах которых помещаются мелкие лавки с дегтем, смолой и дратвой; между этими зданиями особенно замечательны мурсы (каменные дома) еврейской школы или синагоги. Далее следует Рыбный рынок на углу Немизской улицы, названный так потому, что на нем устроены лавки и погреба для складки всякой рыбы. Торгов на нем особых не бывает: он наполняется народом, больше жидами, по пятницам, когда все лавки бывают открыты, и жида закупают для предстоящего праздника субботы (шабаса) рыбу, без которой, как известно, и шабас не в шабас.

У Рыбного рынка в низменной долине находится каменная Екатерининская церковь с большим погостом, украшенным акациями и вековыми березами и обнесенным решетчатой оградой. Начало этой церкви относится к XVI в.; в XVII в. она принадлежала униатам-базилианам; в конце XVIII в. — возвращена в православие. Внутренность ее украшена громадными квадратными под мрамор колоннами и большого размера иконами с серебряными и золотыми ризами. Особенно замечателен в Екатерининской церкви главный (всего три) алтарь, устроенный в древнегреческом вкусе с особым куполом над престолом; против главного алтаря, у входа, большие хоры, на которых может поместиться до 200 человек. На погосте против паперти небольшая терраса с цветником, за оградой которого на значительном холме раскинут довольно большой сад, окаймляющий с двух сторон каменное здание, принадлежащее церковному причту. В этом здании некогда помещался базилианский монастырь, а не так давно православное духовное училище. У подошвы здания стелется обширный огород, славящийся необыкновенно удобренной

почвой земли, на которой, как говорит предание, было некогда кладбище.

За Екатерининской церковью начинается Татарский конец, или Татарское предместье, на котором живут исключительно татары, потомки древних перекопцев и крымцев, некогда опустошавших минский край, но вследствие страшного поражения в 1506 г. под Клецком, рассеявшихся по всем окраинам Минской губернии и, между прочим, поселившихся в самом Минске. Название «конец» заставляет думать, что эта часть города до поселения в ней татар, переименовавших ее в Татарский конец, называлась каким-нибудь другим концом славянского или древнерусского происхождения и именно, как свидетельствуют старожилы, концом Пятницким, получившим название от Пятницкой церкви, существовавшей в этом месте и положившей начало Пятницкой улице (ныне переулок Пятницкий), а может быть Пятницкая церковь получила название от Пятницкого конца, в свою очередь так названного от древних торгов по пятницам. Как бы то ни было, но слово «конец» показывает, что нынешнее Татарское предместье составляло часть древнего Минска как оселище древнеславянского (например, кривичского) племени, потому что название «конец» некогда принадлежало древнеславянским городам; концами у древних славян вообще и славян русских назывались предместья или более отдаленные части города от самого центра или от замка: такие концы существовали в древнем Пскове и Новгороде. Новое доказательство, что начало Минска, собственно старого, нужно отнести к самой отдаленной славяно-русской эпохе, т. е. ко времени появления Пскова и Новгорода. Число минских татар доходит до 400 душ. Они ведут довольно трудолюбивую жизнь, подобно соплеменникам своим клецким татарам: все, что сказано о последних, относится и к минским. То только различие, что минские не в пример богаче клецких. Главный предмет их промышленности — огородные овощи, которые они засевают и выращивают в большом количестве в огородах и на полях близ раковской дороги. Кроме того, некоторые из них занимаются коннозаводством и потому для приготовления сена имеют огромные луга на берегах Свислочи; часть этих лугов принадлежала некогда Святодуховскому монастырю, но впоследствии откуплена татарским старшиной Солиманом. По просьбе этого Солимана в 1617 г. на грунте Воскресенской церкви построена татарская молельня, или мечеть; взамен взятого

грунта Воскресенскому причту отведен такой же участок в другом месте. Мечеть сохранилась до настоящего времени: она деревянная, небольшая, состоит из двух отделений, мужского и женского, разделенных между собой решеткой. Внутри нет никаких украшений, кроме балдахина для муллы в мужском отделении, в котором пол устлан зеленым сукном, а возле одной стены поставлены скамейки для посетителей. Кроме этих двух отделений или комнат есть еще нечто вроде прихожей, в которой татары оставляют обувь: известно, что по закону мусульманскому они не могут входить в молельню в сапогах.

В нескольких шагах от мечети, на Татарском же конце, на небольшом возвышении стоит деревянная Воскресенская церковь, не так давно бывшая униатской и только в 1839 г. воссоединенная с православием, в память чего ежегодно 7 июня совершается крестный ход из этой церкви в Екатерининскую и потом в Петропавловский собор. Об этой церкви, как довольно древней в то время, упоминается в минских актах 1617 и 1629 гг. Близ Воскресенской церкви, на углу Раковской улицы, сохранилось довольно древнее каменное здание бывшего францисканского костела: ныне по ветхости здание это превращено в складочный фуражный магазин; наружные стены его некрашенные, со всех сторон обнажен красный кирпич.

Говоря о Татарском конце, нельзя не упомянуть об одной особенности его, которая не менее своего названия (конец) служит доказательством того, что в состав древнего Минска кроме Низкого рынка входило и нынешнее Татарское предместье. Особенность эту составляют окопы, или валы, по левую сторону Свислочи в виду хутора Людымонта, которые составляли укрепление древнего Минска. Окопы эти тянутся вокруг Татарского конца от Свислочи до Раковской улицы; здесь они прерываются и потом опять встречаются по частям кое-где по направлению к койдановской дороге. Окопы возле Татарского конца так обросли травой, кустарниками и даже большими деревьями, что жители Минска считают их обыкновенными горами. А между тем это не простые натуральные горы, а искусственные насыпи древнего города, заменявшие обычно у славян крепости и оборонные стены. Об этих насыпях или окопах минских сохранил нам сведения Гвагнин; он говорит, что в его время Минск был город большой, укрепленный, окруженный высокими окопами. Следы этих окопов можно видеть также за Троицкой горой, между Комаровкой и Переспой; но здесь они всего менее сохранились;

большая часть валов скрыта и сравнена с гладкой поверхностью земли.

По правую сторону Низкого рынка, за мостом, следует Сенная площадь, так названная потому, что здесь обыкновенно производится торг сеном, привозимым сюда из деревень в большом количестве по преимуществу по воскресеньям, понедельникам и пятницам. От Сенной площади по направлению к Троицкой горе идет Госпитальная улица, главное украшение которой составляет Троицкий городской госпиталь — очень красивое и большое здание, имеющее форму овального полукруга или греческого пантеона, возобновленное и перестроенное из древнего госпиталя, существовавшего с начала XVII в. и составлявшего некогда часть древнего православного монастыря, сованного в унию, при котором была церковь и школа. По соседству с госпиталем был некогда монастырь мориавиток, построенный в 1771 г. Кунегундой Рушиц. Троицкий госпиталь содержится в необыкновенной чистоте и заключает в себе все возможные удобства для больных, чем обязан знаменитому доктору, инспектору минской врачебной управы Осипу Даниловичу Спасовичу, пользующемуся уважением и любовью всего минского края. Кто помнит тридцатые и сороковые годы текущего столетия, кто следил за благотельными действиями и распоряжениями минской врачебной управы во времена холеры и других эпидемических болезней, тот знает, чем обязаны жители Минска и всей губернии Минской этому редкому человеку, истинному другу больного человечества и бескорыстному помощнику бедных людей. Минск всегда благославляет этого доброго врача: не одна мать, не один сын и не одно семейство с чувством признательности произносит имя господина Спасовича. Я также принадлежу к числу признательных его пациентов. Будучи теперь в Минске, я счел долгом явиться к Осипу Даниловичу и с искренним сознанием его благотельности высказал перед ним свою благодарность за его внимание к моим родным и ко мне самому в годы детства... При госпитале устроена домовая церковь и

аптека. Впрочем, в случае нужды берут лекарства для госпиталя из городских аптек, в которых, замечу, не терпит недостатка Минск; их четыре в городе: Швембергера на углу Доминиканской и Волошской улиц, Домбровского на углу Высокого рынка и Койдановской улицы, Гандембурга в Юрьевской улице и Кухенбеккера на Высоком рынке против бульвара и ратуши.

За госпиталем начинается Троицкая гора, получившая свое начало от некогда бывшей на ней Троицкой церкви. Тут встречается несколько красивых домов, между которыми по направлению к Свислочи занимает первое место довольно громадное здание православной духовной семинарии, переделанное из недоконченного старинного униатского монастырского дома. Внутренность семинарии довольно хорошо отделана и вмещает в себя около двухсот воспитанников: в самом здании живут ректор и инспектор; там же помещается домовая церковь и низшее четырехклассное училище. Здание обнесено частью каменной, частью дощатой оградой, внутри которой, почти у самой Свислочи, расположен небольшой сад. Ввиду семинарии открывается площадь Троицкой горы, на которой во время стоянки войск в Минске раскидываются палатки временной подвижной церкви. Площадь окаймлена со всех четырех сторон разными деревянными домиками, садиками и огородами. За семинарским домом начинается Виленская улица, при повороте с которой на виленскую почтовую дорогу открывается вид православного кладбища, осененного вековыми березами, известного под названием Переспы, потому что расположено у самой реки Переспы. Переспинское кладбище имеет форму овального круга, обнесено с трех сторон рвом, а с четвертой — решетчатой оградой, возле которой находится красивая каменная церковь с большими позолоченными куполами, построенная вместо сгоревшей в 1850 г. на казенную сумму господином Шульцем под присмотром минского соборного священника Петра Елифонского.

*Продолжение в следующих номерах*