

# ИНЖЕНЕР-МЕХАНИК

№ 3 (72)  
июль – сентябрь  
2016

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

*Учредитель:* Общественное объединение  
«Белорусское общество инженеров-механиков»  
(ОО «БОИМ»)

*Главный редактор* Чижик С.А.

*Редакционная коллегия:* Андреев М.А., Дашков В.Н.,  
Дубовик Д.А., Дюжев А.А., Захарик А.М.,  
Колпашиков В.Л., Крупец Л.Н., Лягушев Г.С.,  
Мариев П.Л., Медвецкий Е.И., Мелешко М.Г.,

*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 28.09.2016.

Формат 60×84/8. Бумага офсетная.

Гарнитура «Таймс». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 5,6. Уч.-изд. л. 4,7.

Тираж 200 экз. Заказ №

Цена номера договорная.

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

Лицензия ЛП № 02330/152 от 14.04.2014 г.

220141, г. Минск, ул. Купревича, 10.

## СОДЕРЖАНИЕ

### **Материалы конференций и семинаров**

Наноструктурные сверхтвердые материалы инструментального назначения: получение и применение.....	3
Применение порошковых проволок производства ООО «ТМ. Велтек» при ремонте рельсовых путей методом наплавки.....	5
Способы восстановления деталей при регламентированном ремонте.....	6
Пять принципов строительства автокомплексов.....	8
Революция в сырьевых материалах как следствие прогресса промышленных технологий.....	9
Анализ современных технологических подходов к аддитивному производству.....	11
Это сладкое слово «Ремонт».....	13
Состояние аддитивных технологий и перспективы их разработки, производства и применения.....	15
Разработка способов восстановления работоспособности металлорежущих станков.....	17
Диагностика и мониторинг технического состояния сварных трубопроводов для оценки соответствия нормативным документам.....	19
Внедрение новых информационных технологий для оценки надежности сварных конструкций.....	25
Технические барьеры в условиях возможного членства Украины в ЕС.....	26
<b>Разработки ученых и специалистов</b>	
Совершенствование насосов гидропривода рабочего оборудования инженерных машин.....	28
Машина модели ФТИ5-695 для испытаний технологических характеристик металлов и их сплавов.....	37
Отопительные электротехнологии.....	40
<b>Из истории авиации и кораблестроения</b>	
Сделано в СССР.....	44

Научно-техническая конференция

**АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ,  
МАТЕРИАЛЫ И КОНСТРУКЦИИ**

**5-6 октября 2016 г., Гродно**

Гродненский филиал  
« Научно-исследовательский центр проблем ресурсосбережения»  
ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А.В.Лыкова НАН Беларуси»  
пл. Тизенгауза, 7, 230023, г. Гродно, Беларусь,  
E-mail: resource@mail.grodno.by

**ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ**

1. Аддитивные технологии: 3D-печать, формирование многослойных материалов и изделий. Программное обеспечение и оборудование.
2. Конструкционные и функциональные свойства базовых металлических, полимерных, неорганических материалов и композитов. Составы и межслоевая адгезия.
3. Направления и новые объекты применения аддитивных технологий. Подготовка кадров.

***ДОБРО ПОЖАЛОВАТЬ!***

## **ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ И РЕНОВАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ**

Посвящается 80-летию со дня рождения  
академика НАН Беларуси П.А. Витязя

*Из материалов 16-й Международной научно-технической конференции  
(30 мая–03 июня 2016 г., г. Одесса)*

### **Научные направления конференции**

- Научные основы инженерии поверхности:
  - ◆ материаловедение
  - ◆ физико-химическая механика материалов
  - ◆ физикохимия контактного взаимодействия
  - ◆ износо- и коррозионная стойкость, прочность поверхностного слоя
  - ◆ функциональные покрытия и поверхности
  - ◆ технологическое управление качеством деталей машин
  - ◆ вопросы трибологии в машиностроении
- Технология ремонта машин, восстановления и упрочнения деталей
- Метрологическое обеспечение ремонтного производства
- Экология ремонтно-восстановительных работ
- Сварка, наплавка и другие реновационные технологии на предприятиях горнометаллургической, машиностроительной промышленности и на транспорте

## **НАНОСТРУКТУРНЫЕ СВЕРХТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ: ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ**

*Витязь П.А., Сенюць В.Т.*

*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

Реализация современных тенденций обработки резанием (замена шлифования лезвийной обработкой для деталей высокой твердости, обработка без применения смазочно-охлаждающих

технологических средств или с минимальным смазыванием, микрообработка и высокоточная обработка) возможна за счет применения инструмента из наноструктурных поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ), так как переход от микронного диапазона размера частиц или кристаллитов к субмикронному и нанометрическому размерам предполагает значительное повышение физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик инструментальных материалов. Кроме того, микропорошки сверхтвердых материалов (алмаз и cBN), используемые в настоящее время для микрозернистых ПСТМ, обладают значительной хрупкостью, и при точении труднообрабатываемых материалов наблюдается скалывание режущей кромки, что ухудшает качество поверхности при ее обработке. Данные материалы, полученные на основе нанопорошков либо на основе композиций, включающих в себя нано- и микропорошки, также будут обладать улучшенными физико-механическими характеристиками, в том числе высокой трещиностойкостью, что важно при обработке материалов в условиях прерывистого резания [1].

Практика использования инструментов показывает, что наноструктурные сверхтвердые материалы в виде компактов, содержащие частицы СТМ в матрице, либо в виде поликристаллических блоков позволяют повысить эффективность процесса механической обработки деталей машин. В этой связи особую актуальность приобретает разработка технологических основ синтеза наноструктурных СТМ и их последующего компактирования со связующим и без него для производства лезвийного и абразивного инструментов [2].

В настоящее время в лаборатории наноструктурных и сверхтвердых материалов Объединенного института машиностроения НАН Беларуси получили развитие следующие направления исследований в области синтеза наноструктурных сверхтвердых материалов на основе алмазов и плотных модификаций нитрида бора BN:

- термобарический синтез микро-, субмикро-, и наноструктурных порошков КНБ с использованием катализаторов-растворителей;
- синтез наноструктурных порошков алмаза и КНБ из механоактивированных порошков графита и гексагонального BN;
- синтез порошков и поликристаллов на основе плотных форм BN с применением химико-термического модифицирования исходной реакционной шихты;
- синтез высокодисперсных ПСТМ на основе

КНБ с использованием нанопорошков алмазов как активаторов фазового превращения;

- спекание в условиях высоких давлений и температур ПСТМ на основе композиций из модифицированных микро-, ультра- и наноструктурных порошков КНБ с добавлением тугоплавких соединений;

- получение алмазных ПСТМ (поликристаллических компактов и наноструктурных порошков) путем спекания модифицированных наноалмазов в условиях высоких давлений и температур.

- получение композиционных материалов на основе наноструктурных порошков алмаза и КНБ для абразивной обработки.

Предложенные технологии синтеза КНБ отличает использование процессов механической и химико-термической активации реакционных шихт, применение новых катализаторов фазовых превращений в углероде и нитриде бора, в том числе наноструктурных частиц различной природы.

Разработаны процессы химического модифицирования микро-, нано- и ультрадисперсных порошков алмаза, вюрцитного и кубического нитрида бора, на основе которых в условиях высоких давлений и температур получены поликристаллические СТМ на основе плотных форм нитрида бора и алмаза с высокодисперсной структурой и минимальным количеством связующих и активирующих добавок.

Из полученных материалов изготовлены режущие перетачиваемые и неперетачиваемые пластины для лезвийной обработки (в т.ч. в условиях прерывистого резания) закаленных сталей и чугунов, жаростойких и износостойких покрытий и наплавов, сплавов цветных металлов, керамики, обеспечивающие высокую чистоту обработанной поверхности деталей машин и механизмов.

На базе проведенных исследований также были разработаны составы и технологии получения наноструктурных полирующих сред для магнитно-абразивного полирования, предназначенных для обработки высокоточных поверхностей изделий из труднообрабатываемых материалов электроники и оптики. Показано, что использование указанных полирующих сред, содержащих модифицированные порошки наноалмазов и наноструктурного КНБ, позволяет в течение 10 мин снизить значения параметра шероховатости поверхности кремниевых пластин более чем в 100 раз. При этом в приповерхностном слое образцов значительно снижается содержание кислорода и углерода, что повышает функциональные свойства обработанных пластин.

*Литература*

1. Получение, свойства и применение порошков алмаза и кубического нитрида бора. / В.Б. Шипило, Е.В. Звонарев, А.М. Кузей; под ред. П.А.Витязя. – Мн.: Бел. наука. – 2003. – 335 С.
2. Наноалмазы детонационного синтеза: получение и применение / П.А. Витязь, В.И. Жорник, А.Ф. Ильющенко и др. – Мн.: Беларус. наука, 2013. – 381 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК ПРОИЗВОДСТВА ООО «ТМ. ВЕЛТЕК» ПРИ РЕМОНТЕ РЕЛЬСОВЫХ ПУТЕЙ МЕТОДОМ НАПЛАВКИ

*Евтушенко В.В., Хилько А.В.  
ООО «ТМ. Велтек», Киев, Украина*

Главные требования, предъявляемые к рельсам, – прочность и износостойкость. Чаще используются рельсы из трудносвариваемых углеродистых и углеродисто-марганцовистых сталей.

Крестовины и стрелки изготавливаются из высокомарганцовистых сталей. Конструктивно они могут стыковаться с рельсами, как болтовыми соединениями, так и электрошлаковой сваркой. Для того чтобы рельсовые перекрещивания и стрелки имели значительно более высокую износостойкость по сравнению с рельсовыми путями, их изготавливают из аустенитных марганцовистых сталей 110Г13Л, которые приобрели большую популярность из-за их более высокой стойкости к комбинации ударных и изнашивающих нагрузок.

Углеродистые рельсовые стали склонны к закалке на воздухе, поэтому для них необходимо обеспечить температуру предварительного подогрева, а также контролировать температуру между проходами и скорость последующего охлаждения. Аустенитные марганцовистые стали наоборот склонны к высокотемпературной хрупкости и могут треснуть, если их температура значительно превысит 200 °С.

Трещины или деформированный участок поверхности рельса перед наплавкой необходимо удалить. Полноту удаления дефектного участка необходимо проконтролировать одним из видов неразрушающего контроля (наиболее применима цветная дефектоскопия). Сильнодеформированные участки или глубокие

трещины на углеродистых сталях удаляют кислородно-флюсовой резкой или огневой строжкой. При этом материал необходимо предварительно подогреть до 100 °С. Из аустенитных марганцовистых сталей данные дефекты наоборот удаляются абразивной зачисткой без предварительного подогрева.

Перед наплавкой рельсов и острижков стрелочных переводов производят предварительный подогрев ремонтируемого участка до температуры 250–300 °С, в зависимости от марки рельсовой стали. Зону нагрева увеличивают на 100 мм с каждой стороны от наплавляемого участка. Наплавку выполняют самозащитной порошковой проволокой марки ВЕЛТЕК-Н351 диаметром 1,6 мм. Анализ характеристик металла, наплавленного этой порошковой проволокой, показывает, что она обеспечивает наилучшие характеристики – они близки к значениям свойств термоупрочненных рельсов (предел текучести – 860 МПа, временное сопротивление разрыву – 1070 МПа, относительное удлинение – 9,5%, относительное сужение – 28,0%, ударная вязкость – 40,0 Дж/см<sup>2</sup>, твердость – 350 НВ). По химическому составу наплавленный проволокой ВЕЛТЕК-Н351 металл близок к рельсовой стали. При использовании данной проволоки образуется благоприятная структура наплавленного металла, металла околошовной зоны и зоны термического влияния. Она характеризуется отсутствием хрупких закалочных структур и дефектов в виде пор, трещин,

несплавления и т.п. Дополнительным преимуществом проволоки является простота механической обработки после наплавки.

Крестовины стрелочных переводов изготавливают из стали марки 110Г13Л (аустенитный класс, трудносвариваемая), поэтому для сварки и наплавки нужны специализированные материалы. ООО «ТМ. ВЕЛТЕК» предлагает самозащитную порошковую проволоку марки ВЕЛТЕК – Н230 диаметром 2,0 мм. С наплавляемой поверхности должен быть удален зачисткой наклепанный слой. Предварительный подогрев крестовины из данного типа сплава не требуется, а при наплавке температуру изделия необходимо поддерживать на невысоком уровне. Межпроходная температура не должна превышать 200°C. Каждый наплавленный валик, пока металл не остыл, необходимо слегка проковать молотком.

При глубине износа крестовин более 6 мм вначале производят наплавку буферного слоя порошковой проволокой марки ВЕЛТЕК-Н215 диаметром 2,4 мм, а затем наносят упрочняющий слой проволокой ВЕЛТЕК-Н230 диаметром 2,0 мм.

Восстановление механизированной наплав-

кой изношенных крестовин в полевых условиях показало: стойкость повышается в 1,5–2 раза, уменьшается расход сварочного материала почти на треть (по сравнению с наплавкой штучными электродами), сокращается время ремонта.

### **Выводы**

1. Ремонт рельсового пути требует гораздо меньших затрат, чем замена изношенных компонентов на новые. В среднем считается, что в стоимости материалов одного километра железнодорожного пути 40% – это стоимость самих рельсов. Следовательно, такая высокая доля стоимости показывает, что мероприятия, связанные наплавкой рельсов позволяют сэкономить значительные финансовые средства.

2. Порошковые проволоки производства ООО «ТМ. ВЕЛТЕК» для ремонта элементов рельсового пути отличаются хорошими сварочно-технологическими свойствами и обеспечивают наплавленный металл с высокими эксплуатационными характеристиками, в котором отсутствуют хрупкие закалочные структуры, поры, неметаллические включения, макро- и микротрещины и несплавления с основным металлом.

## **СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ РЕГЛАМЕНТИРОВАННОМ РЕМОНТЕ**

*Ивашко В.С., Буйкус К.В., Астрахан Б.М.*

*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь*

Регламентированный ремонт автомобильной техники, как правило, проводится при 80% ресурса автомобиля. Следовательно, если капитальный ремонт автомобиля не производится, то замененный и восстановленный узел должен отработать всего 20% ресурса машины. Это обстоятельство предъявляет особые требования к технологическим процессам.

Замененные узлы ремонтируются на отдельных участках или предприятиях.

Посадку деталей соединений можно восстанавливать тремя методами:

1) без изменения размеров деталей:

- применением ремонтно-восстановительных составов;
- с помощью имеющихся регулировок;
- перестановок детали;
- заменой на запасную часть;

2) применение деталей, восстановленных до номинальных размеров;

3) применение деталей ремонтных размеров и восстановленных способом дополнительных деталей.

При втором методе посадку восстанавливают наращиванием поверхностей, увеличивая размер вала на необходимую величину и (или) уменьшая

размер отверстия, добиваясь получения в соединении номинального зазора или натяга. При этом методе сохраняются номинальные удельные давления и прочность, не нарушаются другие показатели работы узла.

При третьем методе посадка может быть восстановлена уменьшением или увеличением размеров вала и отверстия. В случае восстановления посадки за счет увеличения размеров деталей на вал наносят ремонтный слой или используют старый, увеличенный на необходимую величину, а отверстие растачивают, чтобы после сборки получить номинальный размер.

Давления в соединении при этом уменьшаются, что в большинстве случаев приводит к уменьшению износа.

При использовании метода ремонтных размеров одну из деталей изношенного соединения сохраняют для дальнейшей работы, а другую заменяют. Изношенную поверхность детали, оставленной для дальнейшей работы, подвергают механической обработке до ремонтного размера. Задача механической обработки – восстановить геометрическую форму поверхности, сохранив ее пространственное положение по отношению к другим посадочным поверхностям детали при минимальном съеме металла и сохранении первоначальных условий соединения. Вопрос о том, какая деталь соединения подлежит замене, и какая ремонту, решается с учетом экономических характеристик: более дорогую оставляют, дешевую заменяют.

Сущность метода восстановления дополнительными деталями состоит в том, что изношенная поверхность обрабатывается под больший (отверстие) или меньший (вал) размер и на нее устанавливается специально изготовленная дополнительная деталь (ввертыш, втулка, насадка, компенсирующая шайба или планка). Крепление их на основной детали производится напрессовкой с гарантированным натягом, приваркой, стопорными винтами, клеевыми композициями, на резьбе.

Применяемые способы восстановления должны, по возможности, оказывать минимальное воздействие на внутренние напряжения и, как следствие, на геометрические характеристики детали.

Главным критерием применения способа вос-

становления является экономическая целесообразность. Себестоимость восстановления не должна превышать 20–50% стоимости новой детали.

Для ремонта соединений широкое применение получил метод безразборного сервиса (восстановления), основанный на теории самоорганизации И. Пригожина. К нему относится эффект пластифицирования в присутствии поверхностно-активных веществ (ПАВ), открытый П. А. Ребиндером, явление избирательного переноса при трении (эффект безызносности), а также эффект аномально низкого трения. Под безразборным сервисом подразумевается комплекс технических и технологических мероприятий, направленных на проведение операций технического обслуживания и ремонта узлов и механизмов без проведения разборочно-сборочных операций.

Особое место занимают методы и средства частичного восстановления изношенных поверхностей трения узлов и агрегатов.

Известные в настоящее время ремонтно-восстановительные препараты (РВП) по компонентному составу, физико-химическим процессам взаимодействия с трущимися поверхностями, свойствам получаемых покрытий (защитных пленок), а также механизму функционирования в процессе можно разделить на три основные группы: реметаллизанты (металлоплакирующие соединения), полимерсодержащие препараты и геомодификаторы.

К восстановителям (в основном по критерию повышения технико-экономических показателей) можно отнести также кондиционеры поверхности, слоистые добавки-модификаторы и нанопрепараты. Большинство составов вводят в моторные и трансмиссионные масла, топливо или пластичные смазки. Ряд препаратов подается непосредственно в зону трения.

При втором методе посадку восстанавливают наращиванием поверхностей, увеличивая размер вала на величину износа и уменьшая размер отверстия на величину износа и добиваясь получения в соединении номинального зазора или натяга. При этом методе сохраняются номинальные удельные давления и прочность, не нарушаются другие показатели работы машины.

## ПЯТЬ ПРИНЦИПОВ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОКОМПЛЕКСОВ

*Ивашко В.С., Козел А.С. Белорусский национальный  
технический университет, Минск, Беларусь*

Крупные индустриальные изменения конца 19 и начала 20 века привели к появлению большого количества новой промышленной продукции, у которой не было сформировано культурной истории производства и собственных традиций. В результате этого масса серой обезличенной продукции наводнила индустриально-развивающиеся страны, товары различных компаний не имели собственной идентификации, позволяющей выделиться из ряда себе подобных.

Не обошли стороной эти тенденции и одну из самых значительных и знаменательных вех развития промышленности того времени, – появление автомобилестроения, оказавшего влияние на все современное жизнеустройство. Новой отрасли пришлось формировать свои традиции, способы коммуникации с другими категориями промышленных и общественных объектов.

20 век был богат на масштабные события, заставившие людей пересмотреть свои взгляды на многие события, имевшие последствия для всей картины мира, повлиявшие на все общественное устройство и сформировавшие новые идеи и символы. Люди стали хотеть видеть в своей жизни вещи, которые несут в себе некий посыл, оправдывающий их существование, и делают этот мир лучше, чище, правильнее. Все это коренным образом повлияло на вектор развития промышленности, как на гарант обеспечения общества продуктами жизнедеятельности, в том числе и на автомобильную отрасль, которая, чутко реагируя на общественные настроения, вплетала эти тенденции в свою стратегию. Сегодня большинство крупных производителей автомобилей имеют собственную идею, сформированный концепт своего послания обществу, который они хотят донести своей продукцией. Обычно это преподносится как цельная картина, в состав которой входят: корпоративная этика, язык общения, цен-

ности, отношение к семье и детям и т.д. Каждая из этих составляющих находит выражение в презентационной информации, технических и стилистических решениях, оформлении сопутствующей атрибутики, архитектурных и конструктивных решениях. Все это в совокупности получило название «фирменный стиль». Например, ядром этого посыла может быть идея передовых технологий, или идеи безопасности. Большинство этих идей берет исток из истории зарождения и развития той или иной марки автомобилей. Этот вектор, преломляясь через призму сегодняшних потребностей, передает актуальные веяния, позволяет производителю автомобилей идентифицировать себя.

Проектирование автосалонов можно отнести к работе по проектированию многофункциональных центров обслуживания сферы автомобильного транспорта. Современные тенденции развития отрасли продажи и обслуживания автомобилей с каждым днем все более склоняются в сторону предоставления комплексных услуг, включающих как продажу, так и техническое обслуживание, размещение зон питания и отдыха и т.д. Очень распространенным решением является совмещение автосалона и центра для последующего обслуживания автомобилей. Такие решения нацелены на одновременную реализацию нескольких задач. С одной стороны – это выражение заботы о своих клиентах, в результате чего люди хотят возвращаться именно в «этот» салон, и рассказывают своим друзьям, знакомым о компании. С другой стороны – это дополнительная возможность получения финансовой выгоды. Среди разновидностей автомобильных центров выделяют станции технического обслуживания (СТО), автомоечные комплексы, стоянки и крытые паркинги, автосалоны. В зависимости от функционального назначения эти здания имеют индивидуальные конструк-

тивные особенности, что необходимо учитывать при проектировании и строительстве:

- набор услуг: это СТО, автомойка, автосалоны с просторными стоянками и крытыми паркингами – все учитывается при проектировании комплексов;

- выбор стройматериалов: если в приоритете срочность, лучше остановиться на быстровозводимых металлоконструкциях (строительство займет от трех до шести месяцев);

- возможность подключения к инженерным сетям: Например, если в комплексе предусмотрена автомойка, необходимо обеспечить отвод больших объемов воды скапливаемой в помещении. Если вы выбрали место для строительства, в котором устраивает все, но рядом нет развитой электросети, возьмемся за ее проектирование и строительство;

- выбор места расположения: лучше расположить объект поблизости к гаражным комплексам, АЗС к автомагистралям. Отталкиваться следует

от законодательных норм: например, близость к жилым зданиям, водоемам, водозаборным пунктам не должна быть менее 50 м;

- вариант эксплуатации земельного участка: покупка или аренда (краткосрочная, долгосрочная) влияют на тип будущей конструкции. Если речь об аренде на 1–10 лет, подойдет вариант с сооружением, которое можно демонтировать и перебазировать (ведь аренду могут и не продлить). В случае покупки земельного участка или долгосрочной аренды на 49 лет – капитальное строительство.

Проектирование и строительство автоцентра – чрезвычайно ответственное дело, которое способно привести к получению выгоды только при условии учета всех значимых факторов и требований. Капитальные переделки АЗС, СТО и других объектов из группы автокомплексов влекут за собой значительные расходы, которых можно избежать при грамотном подходе к проектированию и возведению.

## РЕВОЛЮЦИЯ В СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛАХ КАК СЛЕДСТВИЕ ПРОГРЕССА ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Кривощек В.Е.*

*Учебно-исследовательский центр «Надежность в судоходстве», Одесса, Украина*

Современные технологии ориентируют рыночный спрос и формируют новую эру необходимых сырьевых ресурсов. При этом цены на нефть, уголь, сталь уже достигли своих новых минимумов. Расширение производства электромобилей Nissan Leaf, Tesla PowerWall и других требуют накопления и хранения больших запасов энергии, к тому же пример мобильного телефона уже показал важность батарей в современной жизни. Угольная, сталелитейная промышленности представляются умирающими еще с прошлого столетия. Высокотехнологичному сообществу требуются новые материалы, например титановые

порошки, которые используются в 3D-принтерах для изготовления медицинских и промышленных деталей, для производства и поставки комплектующих и запасных частей для аэрокосмической отрасли. Поскольку цены на традиционное сырье (нефть, сталь и уголь) «томятся» уже в нескольких годовых минимумах, на сырьевые материалы, используемые в смартфонах, электрических машинах и 3D-принтерах (среди них литий, графит и кобальт для использования в аккумуляторных батареях) устанавливается повышенный спрос. Это побуждает некоторых аналитиков объявить наступление новой эры материальных ресурсов,

обусловленной новыми технологиями.

Далее в докладе, подготовленном по открытым интернетовским источникам, представлен обзор по основным ресурсным материалам, которые уже используются и спрос, на которые растет в геометрической прогрессии для удовлетворения потребностей современных промышленных технологий.

Литий в настоящее время рассматривается как потенциально «новый бензин». Прогнозируется, что спрос на его использование в электрических транспортных средствах может вырасти в 11 раз (более чем в 300000 т к 2025 г.). И это понятно: гибридные и электрические автомобильные аккумуляторы содержат от 40 до 80 кг лития. Ожидается, что электромобили будут составлять 25% продаж автомобилей в 2025 г., в отличие от сегодняшнего 3-процентного показателя. При этом затраты на их производство сократятся вдвое в течение следующего десятилетия. Ученые постоянно работают над проблемой снижения затрат и увеличения мощности электрических батарей путем соединения новых естественных материалов или изготовления новых искусственных. В итоге, пока еще не ясно, как электрический аккумулятор автомобиля будет выглядеть через 10 лет или какие он будет использовать материалы.

Широко используемый со времен холодной войны в вооруженных силах США для самолетов-разведчиков титан в течение десятилетий производился с использованием энергоемких процессов. Теперь можно производить титан, из естественных руд и сократить расходы на электроэнергию, по крайней мере, на 50%. Точно так же, 3D-печать позволяет снизить затраты на производство титановых деталей в промышленных масштабах, значительно уменьшая отходы. Известный как «чудо-металл», титан прочнее стали, на 45% легче, а также устойчив к коррозии. Это делает его «сильным и достаточно жестким, чтобы выжить в космосе или на дне океана» – таково мнение Королевского химического общества. Такие компании, как британская Metalysis, начали производить титановый порошок для использования в 3D-принтерах с помощью электролиза, без необходимости доводить обычный титан до высокой температуры. Дешевый титан может привлечь автомобильную промышлен-

ность, поскольку она стремится снизить вес автомобилей, чтобы удовлетворить требования законодательства по выбросам. Первоначальные источники титана доступны по всему миру, это один из самых распространенных элементов в земной коре. Это не означает, что алюминий вот-вот исчезнет, но порядок вещей может измениться. Ключ к успеху – это снижение затрат на производство титана. Кобальт получил свое название от немецкого слова *kobold*, что означает гоблин (исторически понятие «гоблин» близко славянскому понятию «бес»: это низшие духи природы, из-за экспансии человека вынужденные жить в его среде). Блестящий серый металл, получаемый в основном в качестве побочного продукта при производстве меди, широко используется в качестве соединения с литием в катоде литий-ионных батарей, а также в высокопрочных металлических сплавах для деталей газовых турбин. Прогнозируется, что общий спрос на кобальт-батареи может возрасти более чем вдвое к 2020 г. Медь, падение цены которой на 50% наблюдается с 2011 г., по-прежнему сохраняет гораздо больший рынок (около \$ 124 млрд в 2014 г.), чем рынок лития, графита или кобальта, стоимостью меньше, чем \$ 1 млрд.

Один из самых чистых форм углерода, найденных в скалах, графит, применяется в электрических батареях, используя свойства своей высокой проводимости, и в сталеплавильных печах за его способность выдерживать высокие температуры. Электрические транспортные средства, устройства накопления и хранения энергии и мобильные приборы – все работают от батарей, которые используют графит в качестве анодного материала. Графит останется и далее крупнейшим промышленным материалом. Около 60% материала в батареях производят из естественного чешуйчатого графита, а остальное – из синтетических техногенных источников. Кстати, Китай в настоящее время осуществляет более 60% мировых поставок природного графита, но это не означает, что вскоре не появятся новые источники поставок. Тем более разработчики батарей уже работают над проблемой замены графита другими материалами, такими как кремний, например, которые способны накапливать и хранить большие объемы энергии.

# АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К АДДИТИВНОМУ ПРОИЗВОДСТВУ

*Новаковский А.Г., Антонюк В.С.*

*НТУ Украины*

*«Киевский политехнический институт», Киев, Украина*

Современный мир быстро и уверенно переступает рубеж, который характеризует собой начало новой эпохи в производственном процессе. Одной из главных тенденций современности выступает трехмерная печать, меняющая не только мировую экономику, но и возрождающая старые промышленные центры. Сейчас самыми распространенными сферами применения трехмерной печати являются такие отрасли, как: медицина, космонавтика, пищевая промышленность, архитектура, дизайн, ювелирное искусство и образование.

Аддитивное производство» или 3D-печать – процесс создания цельных трехмерных объектов практически любой геометрической формы на основе цифровой модели.

Наиболее распространенной и известной технологией 3D-печати является технология послойного наложения расплавленной полимерной нити (Fused deposition modeling – FDM).

Эта технология использует термопластики, обеспечивающие непревзойденную механическую, термическую и химическую прочность деталей. В то же время выбор оптимального материала при изготовлении модели методом послойного наплавления является критичным, так как напрямую влияет на свойства конечного продукта.

Материалы для FDM-принтеров. Самыми распространенными материалами для FDM-принтеров являются пластики акрилонитрилбутадиенстирол (ABS) и полилактид (PLA).

ABS – это ударопрочная техническая термопластическая смола на основе сополимера акрилонитрила с бутадиеном и стиролом. Сырьем для его производства является нефть. Этот пластик непрозрачный, легко окрашивается в разные цвета.

Достоинствами ABS являются: износостойкость ударопрочность и относительная эластич-

ность, долговечность, влаго- и маслостойкость, стойкость к щелочам и кислотам, нетоксичность, а также широкий диапазон эксплуатационных температур: от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; у модифицированных марок до  $100-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

К достоинствам акрилонитрилбутадиенстирола следует отнести невысокую стоимость, растворимость в ацетоне (что позволяет не только склеивать детали из ABS, но также сглаживать при помощи ацетона неровную поверхность). ABS более жесткий, чем PLA, и потому сохраняет форму при больших нагрузках.

К недостаткам относятся: несовместимость с пищевыми продуктами, особенно горячими, поскольку при определенных условиях (высокой температуре) может выделять циановодород, неустойчивость к ультрафиолетовому излучению, термоусадка заметно выше, чем у PLA, более хрупкий, чем PLA.

Рабочая температура и находится в диапазоне  $210-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что выше, чем у PLA.

Кроме того при работе с нитью ABS ощущается слабый запах, а для лучшего прилипания первого слоя модели к рабочему столу требуется подогрев стола примерно до  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

PLA – биоразлагаемый, биосовместимый полиэфир, мономером которого является молочная кислота. Сырьем для производства служат возобновляемые ресурсы, например, кукуруза или сахарный тростник, поэтому материал является нетоксичным и может применяться для производства экологически чистой упаковки и одноразовой посуды, а также в медицине и в средствах личной гигиены.

Достоинствами полилактида являются низкий коэффициент трения, делающий его пригодным для изготовления подшипников скольжения, малая термоусадка, (особенно в сравнении с ABS),

менее хрупкий и более вязкий, чем ABS: при одинаковых нагрузках скорее согнется, чем сломается.

Рабочая температура ниже, чем у ABS: около 180–190 °С. Подогрев рабочего стола не является обязательным, но желательно все же нагревать стол до 50–60 °С.

Недостатки: меньшая, чем у ABS, долговечность; он более гигроскопичен нежели PLA, и даже при хранении требует соблюдения режима влажности, иначе может начаться расслоение материала и появление пузырьков, что приведет к дефектам при изготовлении модели.

Ацетон практически не оказывает воздействия на PLA, его приходится склеивать и обрабатывать дихлорэтаном, хлороформом или другими хлорированными углеводородами, что требует повышенных мер безопасности при работе. К тому же PLA зачастую немного дороже ABS.

Другие материалы для FDM-печати, такие как, ударопрочный полистирол (High-impact Polystyrene – HIPS), нейлон (NYLON), поликарбонат (Polycarbonate – PC), полиэтилентерефталат (Polyethylene terephthalate – PETT), поливинилацетат (Polyvinyl Acetat – PVAc), поливиниловый спирт (Polyvinyl Alcohol – PVAI) распространены гораздо меньше.

HIPS – материал непрозрачный, жесткий, твердый, стойкий к ударным воздействиям, к морозу и перепадам температур.

Растворяется в лимонене — естественном растворителе, извлекаемом из цитрусовых, и потому может использоваться для создания поддерживающих структур, которые не придется удалять механически. Рабочая температура около 230 °С, цена на 30–50% выше, чем у ABS.

Нейлон легкий, гибкий, устойчивый к химическому воздействию. Детали из него обладают очень низким поверхностным трением.

Рабочая температура выше, чем у PLA: около 240–250 °С. При этом не выделяется паров или запахов. Стоимость нейлоновой нити в два раза выше, чем PLA или ABS.

PC – твердый полимер, сохраняющий свои свойства в диапазоне температур от –40 °С до 120 °С. Температура печати 260–300 °С. Обладает высоким светопропусканием и часто используется в качестве заменителя стекла, а поскольку еще

имеет меньшую удельную массу и более высокий коэффициент преломления, то прекрасно подходит для производства линз. Полная биологическая инертность позволяет делать из него даже контактные линзы.

Кроме того, из него так же изготавливают компакт-диски.

В виде нити для FDM-печати пока выпускается мало, поэтому цена втрое выше, чем у ABS.

Похожими оптическими свойствами обладает PETT.

Модели из него получаются очень прочными, поскольку слои расплавленного материала отлично склеиваются.

Рабочая температура печати составляет 210–225 °С, а при этом стол желательно подогреть до 50–0 °С.

Под аббревиатурой PVA могут скрываться два типа материала: поливинилацетат (Polyvinyl Acetate, PVAc) и поливиниловый спирт (Polyvinyl Alcohol, PVAI). По химической формуле они довольно похожи, только в поливиниловом спирте отсутствуют ацетатные группы.

Поливиниловый спирт PVAI требует рабочей температуры около 180–00 °С, дальнейшее ее повышение нежелательно – он может начаться пиролиз. Материал очень гигроскопичен, он активно поглощает влагу из воздуха, что создает проблемы и при хранении, и при печати, особенно если диаметр нити 1,75 мм.

С другой стороны, это же свойство является очень полезным: поддержки, сделанные из PVAI, растворяются в холодной воде.

Поливинилацетат PVAc известен как составная часть клея ПВА, представляющего собой водную эмульсию этого вещества.

Он также хорошо растворяется в воде и для него требуется немного более низкая рабочая температура – 160–170 °С.

Выводы. Рассмотренные материалы для 3D-печати обладают необходимым набором свойств и достаточной прочностью. Однако, они не всегда удовлетворяют предъявленным требованиям к конечным моделям.

Тем не менее, лидирующие позиции по использованию для 3D-печати занимают акрилонитрилбутадиенстирол (ABS) и полилактид (PLA).

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И РЕМОНТА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НА ТРАНСПОРТЕ

*Из материалов 16-го Международного научно-технического семинара  
(22–26 февраля 2016 г., г. Свалява, Карпаты)*

### Тематика семинара:

- Современные тенденции развития технологии машиностроения
- Подготовка производства как основа создания конкурентоспособной продукции
- Состояние и перспективы развития заготовительного производства
- Совершенствование технологий механической и физико-технической обработки поверхностей трения и деталей машин
- Упрочняющие технологии и покрытия
- Современные технологии и оборудование в сборочном и сварочном производстве
- Ремонт и восстановление деталей машин в промышленности и на транспорте, оборудование для изготовления, ремонта и восстановления
- Технологическое управление качеством и эксплуатационными свойствами изделий
- Технический контроль и диагностика в машино- и приборостроении
- Экологические проблемы и их решения в современном производстве

## ЭТО СЛАДКОЕ СЛОВО «РЕМОНТ»...

*Кривощев В.Е. Учебно-исследовательский центр  
«Надежность в судоходстве», Одесса, Украина*

Выходя на мировой рынок, после падения «железного занавеса», Украина сталкивается с множеством проблем, в ряду которых находятся и проблемы ремонта в промышленности и на транспорте, что является темой нашего семина-

ра. Просто и доступно любое событие/явление и/или процесс характеризует, конечно же, народная мудрость: «На рынке – два дурака: один продает, другой покупает...». Кто из этих «дураков» оказывается умнее/дурнее, собственно говоря, и

определяет исход события и/или результат процесса. Очевидно, как первый, так и второй, в любом случае не могут обойтись друг без друга. Иными словами, произведенная (в нашем случае) техника, попадая на рынок к потребителю (эксплуатационнику), нуждается в ремонте (Р) и/или техническом обслуживании (ТО). Существующее на сегодняшний день на землях русофона производство по Р и ТО всегда или почти всегда готово предоставить такую услугу. Вопрос, в каком объеме (?), в какие сроки (?), с какими гарантиями качества (?) и, главное, по какой цене (??). Ремонтировать все и всегда «от забора и до обеда» или раздувать ремонтное производство до «заоблачных высот», приближая «вавилонское столпотворение» на этом поприще и обеспечивая технике «вечную долговечность», также абсурдно, как и полностью отказаться от ее ремонта/восстановления работоспособности, каждый раз заменяя ее на новую. Истина, как известно, всегда посередине и ограниченность всех видов ресурсов тому подтверждение. Неограниченными остаются, как всегда, только человеческая глупость, жадность, алчность, зависть и тому подобные «прелести»... Но это уже вечные, а не только современные проблемы культуры, как отдельного человека, так и общности людей, объединенных в различные организации, начиная от малых предприятий/заводов/производств до целых государств/союзов отдельных государств.... Вернемся к «нашим баранам», поскольку современным проблемам культуры в промышленности и на транспорте в Украине необходимо посвятить отдельный семинар, точнее собрать отдельную конференцию под вышеуказанным названием. Человеческий фактор и культура производства/деятельности людей в настоящее время выходят на первый план и определяют направления смены парадигмы всех видов исследований во всех сферах их приложения.

Проблемы ремонта вообще и на водном транспорте, в частности. Понятие ремонта техники на землях русофона до сих пор определяется в терминах ГОСТов СССР. До осознания этого понятия на уровне, например, директив Европейского Союза еще надо дорасти, вернее, сменить идеологические основы. Исходной позицией к обозначенной теме могут послужить проведенные в самом начале 2000-х в США исследования состояния проблемы ТО и Р техники в американской промышленности и наблюдаемых при этом потерь. Они показали, что даже при высочайшем уровне автоматизации наблюдается следующее:

– затраты промышленности на ТО и Р превышают 200 млрд. долларов в год; – издержки на ТО и Р составляют от 15 до 40 % стоимости выпускаемой продукции и в пять раз превышают стоимость создания нового производства; – свыше 60 млрд. долларов теряется каждый год из-за неэффективного управления ТО и Р техники. При этом одним из основных источников потерь в этом же исследовании рассматривается ТО и Р оборудования, которое в этом не нуждается...(!). К концу прошлого века передовым умам и бизнес-кругам в индустриально развитых странах Запада становится понятным, что индустрия ремонта в существующем на тот момент виде, является тормозом научно-технического прогресса в создании новых машин и, следовательно, барьером в развитии бизнеса как такового. Осознание тупиковости дальнейшего самостоятельного развития ремонтных технологий присутствовало и в бывшем СССР, что позволило первому и последнему президенту Советского Союза М.С. Горбачеву в стратегический план несостоявшегося единения советских республик до 2000 г. заложить программы сдерживания ремонтного производства, почти сравнявшегося к тому времени по уровню капитализации с основным производством новых машин. «Это сладкое слово – ремонт» – приблизительно под такими заголовками в конце 80-х годов прошлого века выходили статьи продвинутых советских журналистов, описывающих черные и серые схемы «делания денег из воздуха» при ремонтах и реновациях в сфере любой техники. Правда, некоторые из них потом попадали в мартирологи союзов журналистов различного уровня, «случайно» погибая и/или исчезая при «неизвестных и нераскрытых» обстоятельствах. Советские ученые, кто постарше и воспитаны в «шарашках» ГУЛАГа, и, кто помоложе, и генетически впитавшие страх предков, вели себя несколько скромнее и покладистее. Хотя в отчаянных умах некоторых из них – прогрессивно мыслящих «холериков», отслеживающих мировой научно-технический прогресс, и, по-детски, с неуемным любопытством улавливающих дыхание (вздохи и выдохи) био- и техносферы, возникали публичные предложения типа: «... закрыть во всех технических вузах Украины (и России вместе с Белоруссией) учебную дисциплину «Ремонт машин», как не отвечающую современной концепции развития техники...» [Снеговский Ф.П., Бондарчук Ю.В., 1999]. К этому стоит лишь добавить: концепции существования техно- и биосфер на современном этапе и необходимости

смены научной, общепринятой и личной парадигмы (Парадигма – от греч. *παράδειγμα*, «пример, модель, образец») – совокупность фундаментальных научных установок, представлений и терминов, принимаемая и разделяемая научным сообществом и объединяющая большинство его членов). Рожденная в середине 90-х прошлого века в США рециклинговая индустрия в сфере автомобилестроения сегодня эффективно развивается и уже закреплена в международном стандарте ISO 22628:2002, в котором выдвигаются требования к проектированию и конструированию техники (машин) с таким расчетом, чтобы в дальнейшем все (или почти все) их элементы (детали) могли быть использованы повторно и многократно. Мировая судостроительная промышленность также ответила на новые вызовы нового времени, разработав и внедрив международный Кодекс по рециклингу судов в 2001 г. Более того, Международная морская организация (IMO, London) – специализированный орган ООН в сфере морской индустрии в 2009 году собрала дипломатическую конференцию стран-участниц и подписала международную конвенцию (договор) по рециклингу судов в статусе обязательного для исполнения международного стандарта [еще не вступил в силу]. Очевидно, в этой гонке не отстают и другие мировые отрасли производства различного рода промышленной продукции, центры которых находятся обычно в индустриально развитых странах. Оговоримся, что речь не идет о

ВПК, который, конечно, является частью техносферы, ее стратой, но частью и стратой особенной, закрытой и в «собственном соку...». Следует отметить, что на открытых конкурентных рынках промышленной продукции у ее производителей ни в Украине, ни в России еще не пришло осознание приоритетности рециклинговой индустрии. Более того, и в Украине, и в России сам англоязычный термин «рециклинг» переводится однозначно как «утилизация»?! Редколлегия печатного органа Госпотребстандарта Украины – журнал «Стандартизація. Сертифікація. Якість» большинством голосов в 2009 году отказала автору настоящего материала в публикации его статьи, безоговорочно и агрессивно требуя заменить в названии и в тексте проекта статьи термин «рециклинг» на термин «утилизация»...!? Единственное, что утешает, это то, что статья отклонена не 100 % голосов членов редколлегии «научно-технического» украинского журнала... Настоящий материал в различных вариациях, конечно, с тех пор уже представлен автором на многих международных конференциях и опубликован в различных изданиях. Печально то, что массовой поддержки в кругах украинской научной и технической интеллигенции авторская парадигма не находит и сегодня... Конечно, трудно или почти невозможно добровольно «отвалиться от привычной кормушки...», поэтому проблемы ремонта в промышленности и на транспорте Украины остаются и сегодня «живее всех живых».

## СОСТОЯНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗРАБОТКИ, ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ

*Сенюць В.Т. Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,*

*Филатов С.А. Институт тепло- и массообмена им А.В. Лыкова НАН Беларуси,*

*Хейфец М.Л. ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск*

*Чигилейчик В.А. Полоцкий государственный университет, Новополоцк, Беларусь*

Изготовление на 3D-принтерах масштабных макетов, легко разрушаемых прототипов, заготовок и деталей машин из композиционных материалов с рабочими поверхностями сложного

профиля прямым «выращиванием» без использования дорогостоящей формообразующей оснастки, сокращая стадии подготовки производства, наилучшим образом удовлетворяет требованию

снижения материальных и трудовых затрат.

Для оценки возможности и целесообразности производства 3D-принтеров, прежде всего, следует оценить рынок этих изделий по целевым сегментам их применения, объемам продаж и частоте использования. Это в свою очередь определяет необходимые объемы расходных материалов, учитывает специфику их физико-химических, механических и других свойств, доступность и цену на рынке.

Затем требуется рассмотреть возможность воспроизводства и технического оснащения широко используемых технологий послойного синтеза изделий, а также целесообразность проектирования новых технологий, использующих свои конкурентные преимущества. При этом следует сознавать то, что уже сегодня программное обеспечение находится в открытом доступе не для всех моделей оборудования, а ряд технологий, использующих источники концентрированной энергии, представляются разработчиками, как технологии двойного назначения.

Поэтому перспективы аддитивных технологий (Additive Manufacturing), их разработки, производства и применения рассматриваются укрупнено по направлениям:

1) основные группы технологий и оборудования послойного синтеза (Laminate Synthesis) для оперативного макетирования и производства (Rapid Prototyping & Manufacturing);

2) используемые в них расходные полимерные, металлические, керамические композиционные материалы, поставляемые в виде порошков, нитей (проволок), листов;

3) их продукцию, применяемую в дальнейшем, в качестве макетов и прототипов, заготовок деталей и конечных изделий.

В результате, следует проанализировать существующие и перспективные отрасли производства и области широкого применения продуктов, изготовленных на 3D-принтерах. По результатам анализа, с учетом существующих наработок по перечисленным направлениям, провести оценку состояния и перспектив проектирования, производства и применения 3D-принтеров.

Широко используемые в мировом производстве технологии послойного синтеза (представленные в хронологическом порядке) позволяют рассмотреть состояние и перспективы развития методов прямого «выращивания» изделий.

Стереолитография. Впервые процесс стереолитографии (SLA – Stereolithography Apparatus) предложен Чарлзом Хеллом (Charles Hall) в 1984 г.

Технологические установки начали производиться с 1988г. В настоящее время установки по стереолитографии производятся компанией 3D Systems Inc, USA. Процесс основан на поглощении фоточувствительным полимером лазерного излучения конкретной длины волны, в результате чего происходит радикальная полимеризация (т.е. отверждение полимера). Физико-механические свойства полимера ограничивают область применения стереолитографии. Чаще всего этот процесс используют в макетном проектировании, в технологии литья по выплавляемым моделям в качестве мастер-форм, эталон-моделей, он также хорошо подходит для сборочного конструирования сложных моделей, при этом допустимо нанесение слоя резины или металла на модель.

Послойное формирование из листового материала. Послойное формирование изделий (LOM – Laminated Object Manufacturing) было предложено Майклом Фейгиным (Michael Feygin) в 1985 г. Промышленные технологические установки LOM 1015, LOM 2030 и др. выпускаются фирмой Helisys, Кроме Helisys есть и другие производители установок: Paradigm, Sparx AB (HotPlot). При изготовлении изделий используется листовый материал, который раскраивается по заданному контуру лазерным или другим излучением, а затем скрепляется в стопке путем склеивания или пайки (сварки). Толщина листов зависит от материала и изменяется в интервале от 50 до 500 мкм. В настоящее время используются следующие материалы: пластики, керамика, композиты. Метод может применяться для: макетного проектирования; литья по выплавляемым моделям; литья в песчаные формы; для получения гипсовых отливок; создания кремнеорганических форм; в кокильном или одноразовом литье.

Селективное лазерное спекание. Процесс лазерного спекания (SLS – Selective Laser Sintering) впервые предложен Карлом Декартом (Carl Deckard) в 1986 г. Технологическое оборудование производится фирмой DTM Corp. (установки марки Sinterstation 2000 и 2500). Сущность SLS-процесса заключается в том, что порошковые материалы послойно спекаются лазерным излучением. Для этого нужны мелкодисперсные, термопластичные порошки с хорошей вязкостью и быстро затвердевающие, например: полимеры, воск, нейлон, керамика, металлические порошки. Корпорация DTM производит установки с различным числом используемых материалов: литейный воск, нейлон, поликарбонат. Развитие SLS-технологии идет по пути внедрения новых

порошковых материалов, а для металлических композиционных порошков – повышения мощности лазерного излучения.

Создание литьевой формы. Непосредственное создание литьевой формы (DSPC – Direct Shell Part Creation) было предложено Эмануилом Сайчем (Emanuel Sachs) из Массачусетского технологического института (MIT) в 1989 г. Фирмой Soligen для этой технологии производится технологическое оборудование. DSPC-процесс состоит из распределения и уплотнения слоев порошка и послойного его связывания расплавом из нагреваемой принтерной головки, сканирующей по поверхности. Несвязанный порошок вокруг модели поддерживает и предохраняет ее от разрушения. По окончании процесса он удаляется. Созданные оболочки могут быть использованы в качестве литьевых форм. Формы могут сразу включать литниковую систему для заливки расплава металла.

Экструдерная заливка расплава. Послойная заливка экструдированным расплавом (FDM – Fused Deposition Modeling) была предложена Скоттом Крампом (Scott Crump). Компания Stratasys выпускает установки с 1991 г. Процесс включает: предварительный подогрев материала, а затем – заливку расплавом. Расходный материал по-

ступает в катушках, диаметр нити – 0,127 см (его стоимость от 150 до 300 дол. США). Основной частью установки является головка, через которую подается материал. Там он предварительно подогревается до температуры плавления, дозированно подается в рабочую зону и скрепляется с предыдущим слоем. В качестве материалов чаще всего используются пластики, а толщина формируемых слоев – 50–750 мкм.

По результатам рассмотрения наиболее используемых методов прямого «выращивания» изделий, анализа перспективы по областям потребления продуктов, изготовленных на 3D-принтерах, и оценивания состояния разработок и освоения производства оборудования, средств контрольного и программного оснащения, расходных материалов для 3D-печати можно сделать выводы. Для скорейшего и наиболее эффективного освоения аддитивных технологий современного «цифрового производства», требуется определение первоочередных мероприятий и согласование плана совместных действий разработчиков, производителей и потребителей наукоемкого оборудования, расходных материалов и программных средств, а также подготовка научных и инженерных кадров для решения поставленных задач.

## РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

*Струтинский В.Б., Ищенко Е.А. НТУ Украины  
«Киевский политехнический институт», Киев, Украина*

В настоящее время в большом количестве станков, производимых в Европе, направляющие скольжения на подвижных частях (каретка, бабка, стол, суппорт) изготавливают из полимерных материалов, что позволяет решить сразу несколько задач, которые традиционно стояли в станочном производстве в течение всего периода их истории:

- обеспечение плавности хода каретки по направляющим станка и отсутствие так называемого явления «стык-слип»;

- демпфирования вибрационных нагрузок;
- снижение коэффициента трения;
- снижение интенсивности износа направляющих станины.

Применение полимерных материалов позволило исключить еще одну проблему, с которой сталкивались производители станков – необходимостью шлифовки поверхностей скольжения на подвижной части станка и прежде всего призматической направляющей. Применение полимер-

ных материалов позволяет сформировать поверхность направляющих любой формы идеально точно о поверхность направляющих на станине, исключая механообработку. При этом формирование этих направляющих выполняется, когда полимер находится в пластическом состоянии, а после его безусадочной полимеризации получается идеальная поверхность скольжения. Кроме того, применение полимерных материалов обеспечивает устойчивость к химическим и физическим воздействиям, получение точных сообщений, такие материалы не дают усадки и имеют длительный срок выработки, позволяет осуществлять сложные операции по монтажу конструкций до момента полимеризации полимера.

Все эти преимущества позволили полимерам занять свою нишу у производителей станков. Достаточно сказать, что станки фирмы «Шкода» уже много лет используют материал moglice немецкой фирмы «Диамант металлопластик GMBH» во всевозможных узлах своих станков, например в конструкции направляющих расточных бабок крупных расточных станков, а также для юстировки деталей в труднодоступных местах сложных узлов, например в узле шпинделя горизонтально-фрезерно-расточного станка FCW 150NC при выравнивании не параллельности осей вращения шпинделя.

Ситуация которая складывается в украинской промышленности не позволяет в большей части случаев использовать новые дорогостоящие станки. Многие машиностроительные предприятия вынуждены ремонтировать и модернизировать изношенные станки, которые получили износ направляющих или какие-либо повреждения поверхностей скольжения.

Таким образом, актуальность вопроса восстановления направляющих станков с помощью полимерных материалов не вызывает сомнения. По этой причине опыт направляющих станков с применением полимерных материалов представляет несомненный интерес. По этой причине разработаны и реализованы в промышленности технологии восстановления направляющих различных типов станков. В частности в 2011 году вос-

становлены направляющие на расточной бабке большого расточного станка «Шкода» W200HA, у которого в результате длительного простоя, хранение в плохих условиях и повреждения поверхности скольжения возникла необходимость в ремонте направляющих для восстановления работоспособности станка.

В работе применяли полимерный материал moglice FL/P с последующей технической характеристикой:

Тип материала	FL/P
Предел прочности при сжатии	140 МПа
Допустимое давление при скольжении	14,5 МПа
Предел прочности при изгибе	98 МПа
Коэффициент трения по стали (со смазкой)	0,08–0,12
Твердость по Шору	85
Модуль упругости	9100 МПа
Плотность	1,6 г/см <sup>3</sup>
Время выработки	50 мин
Время твердения	24 часа
Термостойкость, °С	
· кратковременно	40–125
· длительно	20–60

Восстановленный станок находится в эксплуатации более 4 лет при двухсменной работе и толщине нанесенного слоя полимера 1,7 мм. Восстановление токарно-винторезных станков выполняется по несколько иной технологии, с применением пастообразного материала moglice P Hart. Технические характеристики которого, соответствуют ранее приведенным характеристикам материала moglice FL/P.

Восстановленные токарно-винторезные станки успешно эксплуатируются более 6 лет.

Таким образом, применение полимерных материалов позволяет уменьшить затраты на ремонт оборудования, снизить коэффициент трения, а так же способствует более плавному движению каретки вдоль направляющих при малых скоростях. Данные материалы обладают высокой прочностью и износостойкостью, а такой метод заполнения материалом позволяет получить идеальную поверхность соприкосновения направляющих расточной бабки и станины.

## **КАЧЕСТВО, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, КОНТРОЛЬ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА**

Материалы 16-й Международной научно-практической конференции  
(20–23 сентября 2016 г., г. Одесса)

### **Научные направления конференции:**

- Построение национальных систем технического регулирования в условиях членства в ВТО и ЕС: теория и практика
- Процессно-ориентированные интегрированные системы управления: теория и практика
- Стандартизация, сертификация, управление качеством в промышленности, электроэнергетике, сельском хозяйстве и сфере услуг
- Внедрение стандартов ДСТУ 9001:2009 в высших учебных заведениях, медицинских учреждениях и органах государственной службы
- Метрологическое обеспечение и контроль качества продукции в промышленности, электроэнергетике, сельском хозяйстве и сфере услуг
- Обеспечение качества и конкурентоспособности продукции (услуг) на внутреннем и внешнем рынке
- Внедрение информационных технологий в процессы адаптации, сертификации и управления качеством
- Проблемы гармонизации законодательной и нормативно-технической документации

## **ДИАГНОСТИКА И МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СВАРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ НОРМАТИВНЫМ ДОКУМЕНТАМ**

*Бондаренко Ю.К. Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины,  
Билокур И.П., Медведева Н.А. Национальный виационный университет, Киев, Украина*

Для Украины чрезвычайно важен вопрос определения остаточного срока службы трубопроводов после длительной эксплуатации. Для его решения используется целый ряд методов

НК, технологических процессов сварки и подходов при ремонте. Главной их особенностью является ориентация на конкретные соединения и конкретные методы сварки, НК и ТД для сокращения риска как нежелательного обстоятельства во время реализации проекта ремонта и монтажа трубопроводов.

До недавнего времени проблема построения комплексной системы мониторинга и оценки риска эксплуатации трубопроводов не анализировалась. Известно, что стандарт ISO 9004-2 дает ключ к решению проблемы построения системы оказания услуг, для определения остаточного ресурса.

Целью статьи является описание разработки системы мониторинга состояния трубопроводов после длительной эксплуатации и оценка рисков возникновения опасных событий (аварий).

В процессе сварки и последующего охлаждения в сварном соединении протекают сложные термомеханические процессы, обуславливающие образование деформаций и временных напряжений, которые после охлаждения переходят в остаточные. Эти напряжения существенным образом влияют на эксплуатационно-технологические показатели [1–3].

На основе анализа деформационно-силовых процессов, протекающих при сварке трубопровода, была предложена система мероприятий, ориентированная на снижение отрицательного влияния сварочных напряжений и деформаций [2].

С целью снижения риска возникновения аварии, для разработки корректирующих воздействий и совершенствования процесса сварки была предложена система мониторинга состояния трубопровода [4]. Управление риском при этом является неотъемлемой частью организационных процессов [14].

При мониторинге рекомендуется следующая последовательность этапов:

1. Разработка системы качества при испытаниях трубопроводов с учетом категории сварных конструкций.

2. Определение перечня недопустимых дефектов и необходимых нормативных документов (НД) для испытаний.

3. Разработка каждого этапа процедуры мониторинга:

- входной контроль и испытание трубопровода с учетом уровня неразрушающего контроля, выполняемого испытательной лабораторией (ИЛ), отвечающих определенным требованиям НД (рис. 1).

- технологический контроль и испытание параметров трубопровода в процессе монтажа или ремонта.

- испытания состояния трубопровода после ремонта.

4. Разработка комплекса предупреждающих и корректирующих действий в процессе сварки, при монтаже или ремонте трубопровода (рис. 2.) на основе испытаний технологических процессов сварки [5].

5. Проведение мониторинга состояния трубопровода по п.3 с учетом разработанных этапов 1, 2, 4.

6. Проведение идентификации сварного трубопровода, предназначенной для сдачи Потребителю, и составление протоколов испытаний, регистрация.

7. Сдача трубопровода Потребителю после завершения монтажа, ремонта, испытаний и регистрации протоколов.

8. Анализ результатов мониторинга технического состояния трубопровода и, при необходимости, пересмотр (улучшение) системы мониторинга и технологии сварки [5] с целью повы-



Рис. 1. Требования к ИЛ согласно стандарту ISO 17025 [12]

шения эффективности и объективности анализа риска эксплуатации.

9. Анализ результатов оценки и пересмотр процедур сварки, НК и ТД по результатам испытаний с учетом риска возникновения критических последствий.

Мониторинг технического состояния сварного трубопровода обычно выполняется группой, состоящей из экспертов и специалистов, прошедших определенную процедуру подготовки и оценки компетентности (рис. 3). Для повышения качества их работы представляется целесообразным использование экспертной системы, учитывающей знания, опыт технических экспертов и специалистов для возможности анализа риска [1, 9, 10].

Основными методами работы технического

эксперта, являются [4,11]:

- наблюдение за состоянием сварного трубопровода;
- опрос персонала в организации;
- идентификация опасности и предварительная оценка последствий нежелательных событий;
- сбор объективных данных о состоянии конструкции, в частности путем проведения испытаний;
- оценка величины риска;
- анализ результатов испытаний сварного трубопровода после длительной эксплуатации;
- проверка результатов анализа;
- документальное обоснование;
- корректировка результатов с учетом последних данных испытаний.

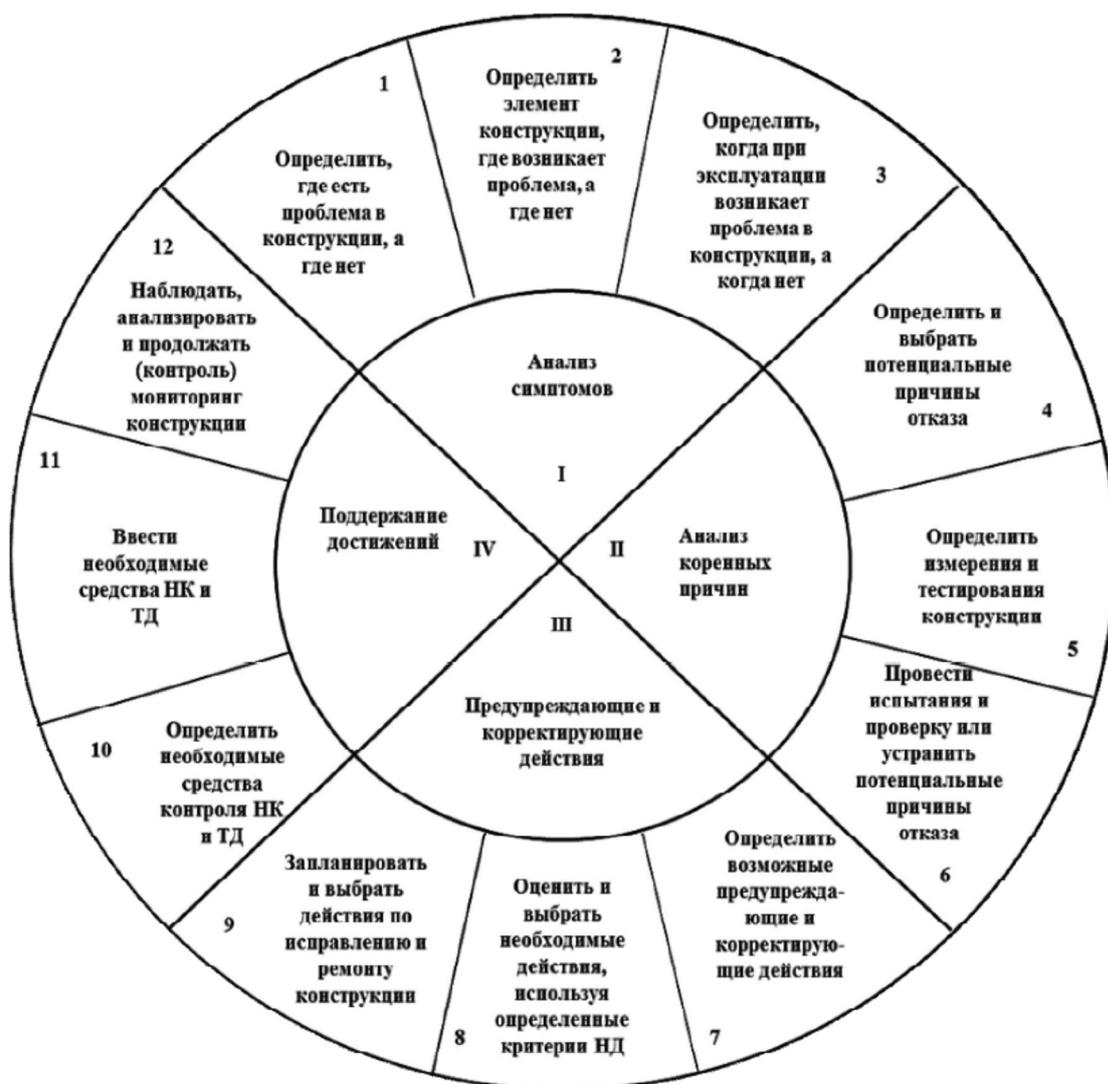


Рис. 2. Комплекс корректирующих и предупреждающих действий в процессе монтажа и ремонта трубопроводов [4–8]

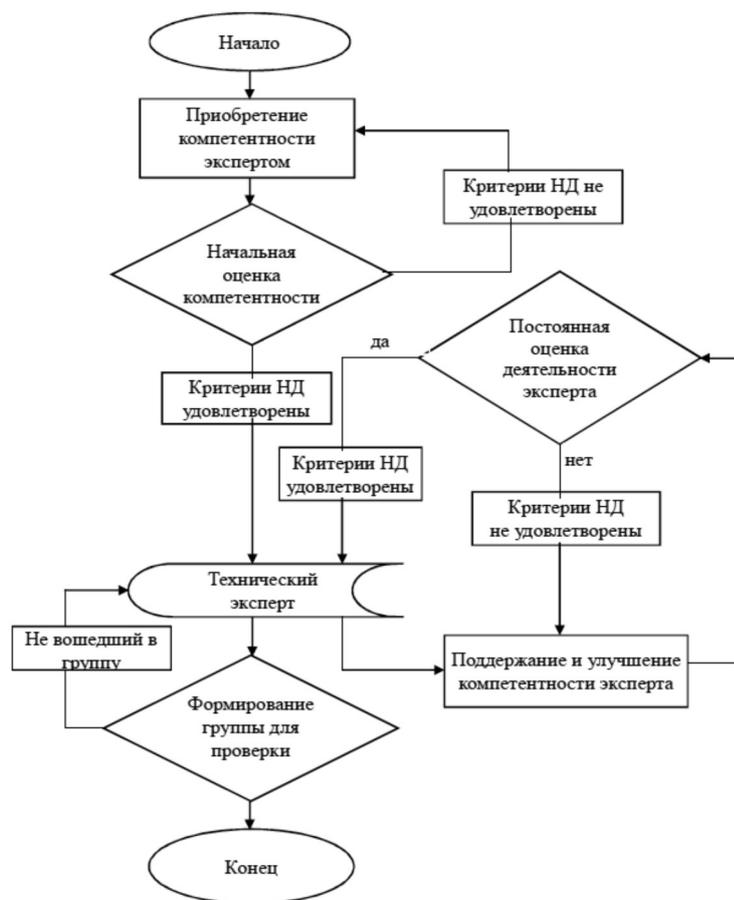


Рис. 3. Алгоритм подготовки и оценивания компетентности технического эксперта для выполнения мониторинга состояния трубопроводов с целью сокращения риска Потребителя [4, 11]

Обязательным требованием к экспертному доказательству, полученному в результате мониторинга, являются достоверность и достаточность. Данные считаются достоверными, если они вызывают доверие экспертов и специалиста НК и ТД. Достаточность при этом определяется методиками испытаний (валидация) и компетентностью экспертов и специалиста [4, 12].

На производстве выполнение требования постоянного улучшения при мониторинге состояния сварного трубопровода вызывает затруднения при недостаточной компетентности персонала ИЛ. Рекомендуется использовать концепцию и методологию, исключающую возможность негативных последствий от недостоверных результатов испытаний и измерений. Вероятность отклонения от достоверного результата или события обусловлен риском, который описан в [4,13].

Риск – сочетание вероятности события и его последствий [8].

При анализе необходимо учесть, что суще-

ствуют различные виды рисков в технике:

а) риск Поставщика (изготовителя) и Потребителя (заказчика). Связан с размером возможного ущерба после аварии;

б) риск как нежелательное обстоятельство, которое возможно при реализации проекта (не уложиться в предусмотренные сроки и/или объемы финансирования) монтажа, ремонта и эксплуатации сварного трубопровода;

в) риск наступления критических последствий после длительной эксплуатации сварного трубопровода конструкций (учитывается вероятность наступления критических событий и размеры возможного ущерба). Под критическим событием понимают критический отказ.

Для координации действий руководства при мониторинге технического состояния трубопроводов рекомендуется применять менеджмент риска. При этом систематически используют анализ информации, полученной при испытаниях и измерений сварного трубопровода, с целью определения источников несоответствия и проведение количественной оценки риска потребителя.

Процесс корректировки и внедрения предупреждающих действий (см. рис. 2), связан с риском и направлен на минимизацию негативных и максимальное использование позитивных последствий, полученных при мониторинге состояния сварного трубопровода.

Циклический процесс окончательного анализа риска при мониторинге сварного трубопровода включает шесть этапов [1].

При проведении испытаний сварного трубопровода рекомендуется реализовать следующие этапы при анализе риска:

- определить в трубопроводе возможные дефекты сварных швов, изучить причины, механизмы, условия возникновения и развития;
- определить возможные последствия возникновения макродефектов, провести качественный анализ опасности дефектов и (или) количественную оценку их критичности (риск);
- составить и периодически корректировать перечень критичных элементов сварного трубопровода и применяемых технологических про-

цессов сварки, НК и ТД при монтаже, ремонте и контроле;

- выработать рекомендации по внесению изменений в конструкцию трубопровода и (или) технологию эксплуатации конструкции трубопровода, его составных частей, направленные на снижение вероятности и (или) тяжести последствий (риск) возникновения макро дефектов, оценить эффективность ранее проведенных ремонтных работ сварных швов;

- оценить достаточность предусмотренных контрольно-диагностических и корректирующих (профилактических) операций, направленных на предупреждение появления дефектов в сварном трубопроводе;

- проанализировать правила поведения персонала в аварийных ситуациях, обусловленных появлением возможных дефектов, предусмотрен-

ных эксплуатационной документацией. При этом выработать предложения по совершенствованию мониторинга и методик измерений или внесению соответствующих изменений в эксплуатационную документацию при отсутствии правил поведения персонала;

- провести последовательный анализ возможных ошибок персонала эксплуатируемого трубопровода и оценить их возможные последствия, выработать предложения по совершенствованию конструкции трубопровода и введению дополнительных средств защиты от ошибок персонала, а также по совершенствованию документированных процедур и процессов мониторинга.

Проблему оценки сварных трубопроводов после длительной эксплуатации рекомендуется решать после мониторинга состояния сварных швов и испытаний с помощью экспертной системы (рис. 4).

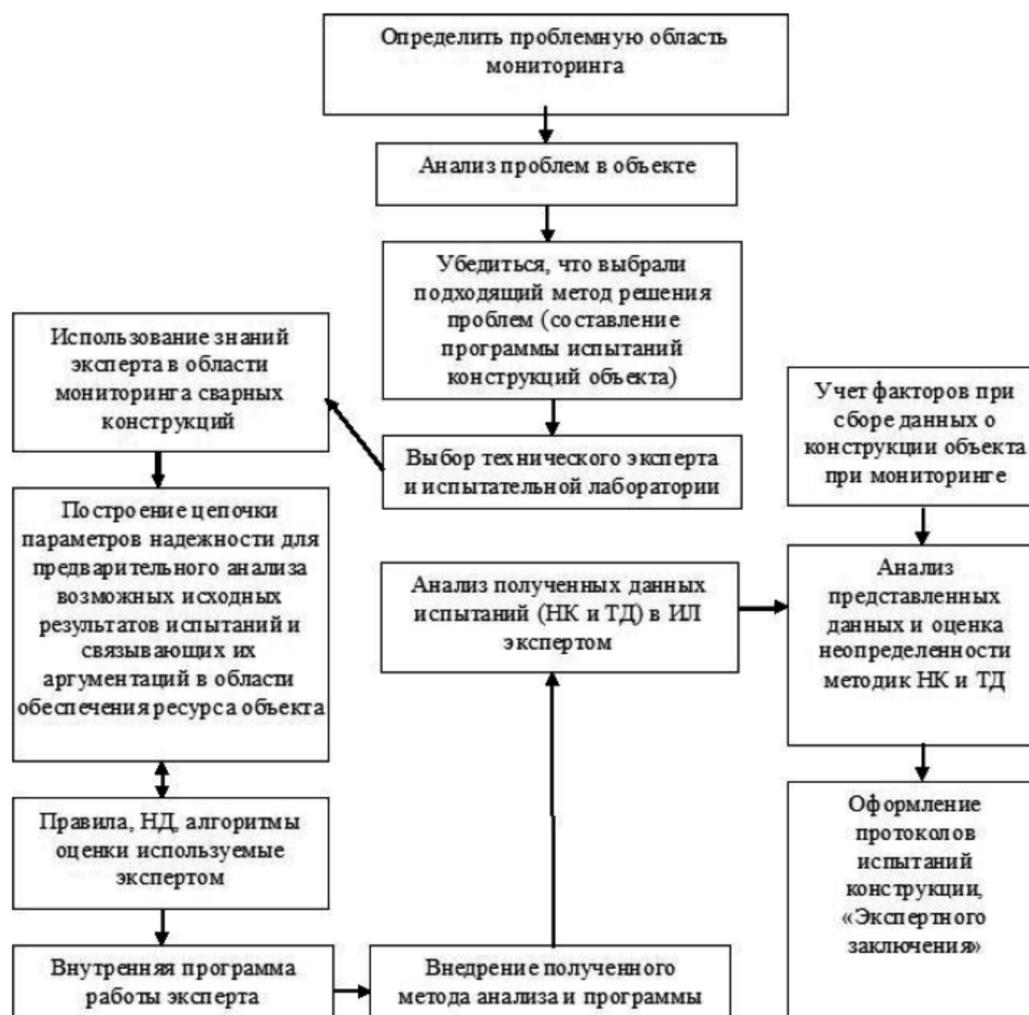


Рис. 4. Анализ результатов мониторинга сварных конструкций для экспертной системы [4]

Для повышения достоверности испытаний сварного трубопровода, оценки состояния рекомендуется дополнительно использовать твердомертию в сочетании с другими методами НК и ТД (магнитный, ультразвуковой, рентгеновский, визуально-оптический) на основе требований НД [6, 7].

При наличии корреляционных зависимостей между твердостью и другими механическими характеристиками можно судить о прочности и надежности отдельных зон сварного трубопровода после длительной эксплуатации, о степени неоднородности механических свойств сварных соединений при деградации материала (определение остаточного ресурса сварного трубопровода и риска при эксплуатации Потребителем) [2, 4, 15].

#### Выводы

1. Мониторинг – постоянная проверка, надзор, критическое наблюдение или определение состояния с целью идентификации изменения от-

носительно требуемого или ожидаемого уровня качества, указанного в НД.

2. В результате исследований, анализа и мониторинга состояния трубопровода и испытаний ответственных узлов конструкции предложены методики поэтапного анализа риска, возникающего при ремонте и эксплуатации ответственных участков после длительной эксплуатации для оценки соответствия нормативным документам.

3. Для анализа результатов испытаний рекомендуется применять систему управления рисками, содержащую процедуры испытаний, обработки информации о состоянии сварной конструкции и выявление факторов, обуславливающих риск и слабые звенья в трубопроводе.

4. При анализе рисков рекомендуется использовать как стандартные методы расчета надежности, так и результаты мониторинга состояния трубопроводов, когда учитываются критические отказы с целью предотвращения аварии объекта в целом.

#### Литература

1. ДСТУ ІЕС 60812:2015 Методи аналізування надійності систем. Аналіз наслідків видів відмов (FMEA)
2. Зб. наук. ст. за результатами, отриманими в 2004-2006 р.р. Цільова комплексна програма НАН України „Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин”. Наук. керівник – акад. Б.Є. Патон. – К.: ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, 2006. – 589 с.
3. Зб. наук. ст. „Забезпечення якості та безпеки в зварювальному виробництві. – К.: ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, ДП НТЦ „СЕПРОЗ” НАН України, 2007. – 194 с.
4. Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики: Мат. 15 Юбилейной ежегод. междунар. конф., 1–5 октября 2007 г., г. Ялта. – К.: Укр. информ. центр. „Наука. Техника. Технология”, 2007. – 381 с.
5. ДСТУ 3951.3 (ISO 9956) Технічні умови та процедура підтвердження відповідності технологічних процесів зварювання металевих матеріалів. - К.: Держспоживстандарт України. – 38 с.
6. ДСТУ ISO 17637:2008 Неруйнівний контроль зварних швів. Візуальний контроль зварних з'єднань, виконаних зварюванням плавленням. – К.: Держспоживстандарт України. – 10 с.
7. ДСТУ ISO 14731:2008 Координація зварювальних робіт. Завдання та відповідальність. – К.: Держспоживстандарт України. – 6 с.
8. ДСТУ ISO Guide 73:2013 Керування ризиком. Словник термінів.
9. ДСТУ ISO 19011 Настанова що до здійснення аудитів систем управління якістю і/або екологічного управління. – К.: Держспоживстандарт України. – 24 с.
10. НПАОП 28.52-1.31-13 Правила охорони труда при сварке металлов.
11. Закон України “Про відповідальність за шкоду, завдану внаслідок дефекту продукції. – Київ, 19 травня 2011 р. №3390-VI
12. ДСТУ ISO/IEC 17025-2011 Загальні вимоги до компетентності випробувальних лабораторій. – К.: Держспоживстандарт України. – 66 с.
13. Крюков И., Шадрин А. Менеджмент риска как инструмент постоянного улучшения // Стандарты и качество. – 2006. – № 2. – С 74–77.
14. ДСТУ ISO 31000:2014 Менеджмент ризиків. Принципи та керівні вказівки.
15. Марковец М.П. Определение механических свойств металлов по твердости. – М.: Машиностроение, 1979. – 189 с.

# ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Мельницкий А.А.

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина

Целью данного исследования является проверка использования механизма нейронных сетей для решения физических задач, в частности, при выборе расчетной модели для оценки факторов, влияющих на прочность сварных конструкций.

Нейросети возникли из исследований в области искусственного интеллекта, а именно, из попыток воспроизвести способность биологических систем обучаться и исправлять ошибки, моделируя низкоуровневую структуру мозга.

Вычислительный механизм нейросетей и их возможности получили широкое развитие за последние 7 лет.

Актуальность работы заключается в возможности усовершенствования нового вычислительного механизма, который в перспективе дает ряд преимуществ по сравнению со стандартными аналитическими методами. Например, аппроксимация функций (возможность «доучить» сеть на новых данных); возможность параллельной обработки данных (экономия вычислительных ресурсов), а также возможность использовать на больших объемах данных, или целых поверхностях аргументов и др.

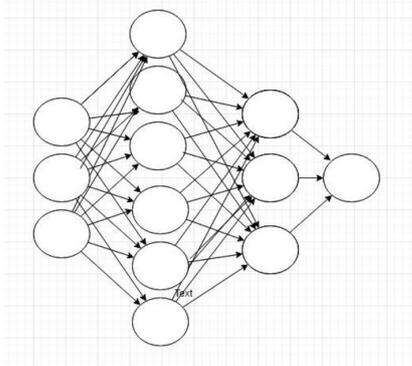


Рис. 1. Схема нейронной сети

Чтобы говорить о применимости механизма нейросетей к физическим задачам, для начала необходимо доказать на практике, что нейросети способны быть точным аналитическим инструментом, пусть и в простейшей задаче. Для верификации полученных результатов была взята простая формула потенциальной энергии, аналитическое выражение которой имеет весьма простой вид:

$$E_p = mgh$$

Также имеется нейронная сеть типа:  $inLayer = LinearLayer(3)$ ;

$hiddenLayer = LinearLayer(6)$ ;  $hiddenLayerSec = LinearLayer(3)$  и  $outLayer = LinearLayer(1)$ , то есть: 3 – 6 – 3 – 1. В соответствии с количеством аргументов в формуле, на вход выбрано три элемента.

Далее, имеем два внутренних слоя по 6 и 3 нейрона, соответственно, и последний выходной слой из одного нейрона. Реализация нейросети, описанной в данной работе, сделана на языке программирования Python 3.4. Используемые библиотеки: `pybrain`, `matplotlib`, `numpy`, `random`.

`Pybrain` – современная, простая в использовании, и многофункциональная библиотека для создания нейросетей, как для больших проектов, так и демонстрационно-исследовательских. `Matplotlib` – библиотека для построения графиков. `Numpy` – библиотека, которую требует `pybrain` в своем составе, но кроме этого полезный инструмент при работе с матрицами.

Вначале решается задача обучения. Как отмечалось, при работе с линейной активационной функцией, есть большая вероятность переопределения данных. Поэтому, обучающий шаг необходимо сделать весьма мизерным для того, чтобы не вылезти за тип данных.

Важный момент состоит в том, что зачастую, при работе с нейросетями приходится иметь дело

с функциями, ограниченными в определенном интервале. Это, безусловно, играет существенную роль при решении задачи обучения, так как имеет место большой разброс данных. Нужны гарантии, что при обучающем механизме изменения весов – алгоритме обратного распространения ошибки – не будет переполнения данных на одном из слоев, при вычислении ошибки. Однако было обнаружено, что, хотя процесс обучения и шел успешно, но в двух местах был неудачно выбран шаг обучения, и сеть несколько сбивалась. Система сошла на ошибку в 0,00592954954337, что не является пределом, но вполне позволительно при некоторых условиях. Для проверки попробуем посчитать потенциальную энергию тела на высоте, придав такие данные: высота – 100 м, масса: 137,55 г; net.activate (100,137.55,9.8). Ответ системы: 134 810,294319 Дж. Калькулятор со стандартной формулой говорит: 134 799 Дж.

Таким образом, сложность создания и обучения не является высокой для задачи подобного уровня. В дальнейшем предполагается продолжение исследований с использованием более применимых на практике вычислительных моделей, например, задача распределения напряжения.

Дорожная карта применения нейронной сети при выборе расчетной модели для оценки факторов, влияющих на прочность сварных конструкций, должна состоять в следующем:

- создание гибко модифицируемой модели нейронной сети;
- составление минимальной задачи для начала обучения сети;
- представление формата данных в удобный для обучения нейронной сети вид;
- формализация данных;
- составление базы данных для обучения;
- верификация результатов.

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ В УСЛОВИЯХ ВОЗМОЖНОГО ЧЛЕНСТВА УКРАИНЫ В ЕС**

*Папазов В.В. ООО «ТЕСКО», Орган оценки соответствия «ТЕСКО», Киев, Украина*

Соглашение о зоне свободной торговли (ЗСТ) между Украиной и Европейским Союзом вступило в силу с 1 января 2016. Как отмечает Министерство экономического развития и торговли Украины, ЗСТ устраняет 97% тарифов на украинские товары и предусматривает снижение среднего тарифа на украинский экспорт с 7,6% до 0,5%.

Однако, при этом речь идет только о снятии таможенных тарифов, но технические барьеры в настоящее время остаются. Таким образом, продукция украинского производителя, попадающая под сферу действия, например, Европейских директив, не может поступить на рынок Евросоюза без оценки соответствия требованиям этих директив и маркировки знаком СЕ.

Аналогично и продукция из стран Евросоюза не может быть размещена на рынке Украины без оценки соответствия этой продукции требовани-

ям технических регламентов Украины (процедуры приближены к европейским). Однако в некоторых случаях ввод, например, потенциально опасной продукции в эксплуатацию, требует дополнительной проверки соответствия требованиям и других действующих нормативно-правовых актов Украины, а именно, нормативно-правовых актов по охране труда Минсоцполитики/Гоструда (зачастую устаревших) с последующим получением разрешения на применение этой продукции в Украине. Данная процедура дублирует оценку соответствия и не применяется в Евросоюзе.

В Украине уже создана определенная правовая и нормативная база. Однако, помещенные в Законах Украины требования, в силу их общего характера, несогласованности между собой и с другими нормативно-правовыми актами, не могут в полной мере обеспечить воплощение всех норм технического регулирования ЕС в бизнес

правовую практику Украины, оставляя их почти не действующими. Такое положение будет существовать, очевидно, до подписания соглашений о снятии технических барьеров. И к этому времени должны быть приняты необходимые поправки в действующее законодательство, а ведомственные акты должны быть приведены в соответствие с законодательством и принятыми техническими регламентами. Таким образом, проблемы гармонизации законодательной, нормативно-правовой и нормативно-технической базы Украины с аналогичными требованиями Евросоюза становятся приоритетными.

С учетом того, что рынок России постепенно закрывается для наших товаров, украинским производителям крайне важно всерьез заняться оценкой своей продукции требованиям директив и стандартов, действующих в Евросоюзе. Если украинский производитель обеспечит выполнение этих требований, связанных с безопасностью товара, а также обеспечит качество и надежность продукции, то, с учетом девальвации гривны, товар, произведенный в Украине, станет весьма конкурентоспособным на рынке Евросоюза. Кроме того, снятие технических барьеров приведет к конкуренции украинских и европейских товаров и на внутреннем рынке, и к этому тоже нужно быть готовым, обеспечивая конкурентную цену, безопасность и качество.

Чрезвычайно важным для производственных процессов и продукции является обеспечение качества с целью обеспечения стабильных показателей безопасности и конкурентоспособности продукции. Рациональным путем повышения качества продукции на уровне отдельного предприятия является внедрение системы менеджмента качества в соответствии с требованиями стандарта ДСТУ ISO 9001. Новая версия стандарта ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT) предусматривает проведение оценки рисков и принятия решений, основанных на результатах этой оценки. ООО «ТЕСКО» первой в Украине получила аккредитацию на право сертификации системы качества на соответствие требованиям стандарта ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT).

Для обеспечения необходимого качества продукции важно обеспечить необходимый объем ее

измерений и испытаний. Принятый 05.06.2014 Закон Украины № 1314-VII «О метрологии и метрологической деятельности» и подзаконные акты к нему является фундаментом создания в Украине эффективной метрологической системы, которая является инструментом проверки продукции на соответствие основным требованиям безопасности, в том числе достоверного контроля выполнения норм регламентов и стандартов.

В соответствии с Соглашением о ЗСТ украинские производители должны будут внедрить в течение семи лет европейские стандарты. Европейские стандарты (EN) в настоящее время вводятся в Украине методом внедрения, т.е. на языке оригинала и у нас появляются ДСТУ EN, как правило на английском языке (равнозначными в Европе считаются также стандарты на немецком и французском языках). В ближайшее время, таким образом, будут приняты все стандарты, обеспечивающие презумпцию соответствия европейским директивам нового подхода, и к этому также надо быть готовым. Однако, при принятии таких ДСТУ EN возникает масса проблем, например: многократное внесение изменений в приказы про принятие и отмену действующих стандартов; одновременное действие нескольких версий стандартов; присутствие отмененных стандартов в перечнях стандартов, обеспечивающих презумпцию соответствия; отсутствие изменений в ведомственных нормах, ссылающихся на стандарты; сложности с аккредитацией органов оценки соответствия и самой процедурой оценки в период лавинообразного внедрения европейских норм; сложности при проведении рыночного надзора.

Обеспечение качества и конкурентоспособности продукции на внутреннем и внешнем рынке является приоритетной задачей наших производителей. Задача государства создать благоприятные экономические условия для роста нашей экономики, включая помощь в частичном погашении затрат (зачастую весьма существенных) на сертификацию продукции в Евросоюзе. Оказывать украинским производителям всестороннюю помощь при прохождении процедур оценки соответствия продукции требованиям норм Евросоюза становится одной из основных задач центра оценки соответствия «ТЕСКО».

УДК 69.05–82–229.384

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НАСОСОВ ГИДРОПРИВОДА РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ МАШИН

*А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело*  
Белорусский национальный технический университет

*В статье рассмотрены направления совершенствования аксиально-поршневых насосов гидропривода рабочих органов технологического оборудования многофункциональных машин инженерного вооружения, строительных и дорожных машин. Предложено создание гаммы двухпоточных аксиально-поршневых насосов различного функционального назначения на базе универсального качающего узла и различных гидрораспределительных модулей.*

Рационализация систем отбора мощности силовой установки на привод рабочих органов технологического оборудования многофункциональных машин инженерного вооружения, строительных и дорожных машин может осуществляться в направлении применения моноагрегатных двухпоточных насосов переменной производительности, обеспечивающих необходимый уровень подачи рабочей жидкости для эффективной работы рабочих органов технологического оборудования.

Для привода технологического оборудования в одноковшовых полноповоротных экскаваторах ЭО-4322, ЭО-4321В, ЭО-4121, ЭО-4224, ЭО-4125, ЭО-3322 применяется насос регулируемый двухпоточный серии 321.224А производства ЧАО «Стройгидравлика» Украина. Насос включает два качающих узла с наклонными блоками цилиндров ( $2 \times 112 \text{ см}^3$ ), скомпонованные в одном корпусе, с валами, связанными встроенным редуктором. Насос оснащен регулятором мощности и применяется в гидросистемах с открытым контуром. Насос специализированный, применяется в данном исполнении, резервы расширения модельного ряда ограничены. Изменение параметров объема насоса, либо его секций потребует создания нового насоса. Удельная масса насоса велика, что свидетельствует о существенном увеличении удельных массово-габаритных параметров.

Компания «Пневмостроймашина» Россия [1] наряду с отдельностоящими насосами и моторами предлагает многонасосные моноагрегаты,

представляющие собой раздаточный редуктор и установленные на нем гидронасосы. Например, трехнасосный агрегат 333.1.112.100.770 (рис. 1), имеет в своем составе 2 главных регулируемых насоса 313.3.112, и третий вспомогательный насос 310.12.

Многонасосный агрегат может иметь максимально 5 основных насосов и 1 вспомогательный. Данная конфигурация по сути своей является конечной, увеличение числа потоков более 6 возможно путем применения нескольких многонасосных агрегатов. Реверсирование отдельных

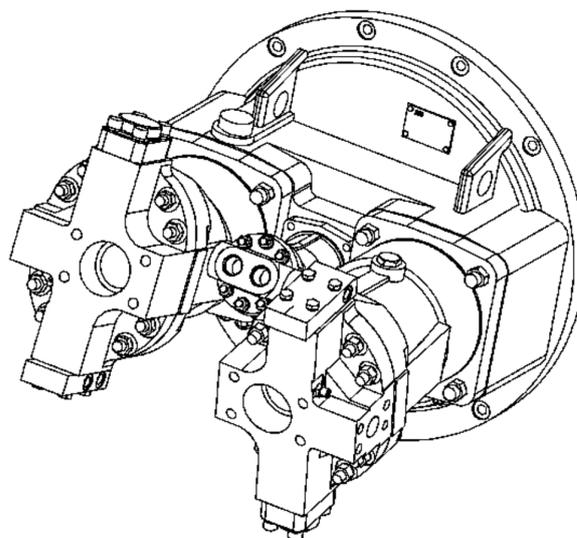


Рис. 1. Агрегат трехнасосный 333.1.112.100.770

насосов в агрегате также не представляется возможным, так как агрегат комплектуется только насосами с наклонными блоками цилиндров, изменяющими рабочий объем от максимального значения до нулевого. Передаточное отношение редукторов различное в зависимости от соотношения габаритов насосов и их количества. При реализации многонасосного агрегата в рамках первого направления габариты и стоимость его существенно увеличиваются.

Для ремонта экскаваторов, находящихся в эксплуатации, компания ОАО «Пневмостроймашина» [1] освоила производство комплектов, названных «Установка насосного агрегата УНА». Комплект УНА состоит из гидроагрегата, включающего два насоса типа 313 (рис. 2), установленных на корпусе редуктора привода, и набора узлов и деталей, с помощью которых производится монтаж агрегата на экскаваторах взамен ранее установленных насосов [1]. УНА-1000 заменяет двоярный насос 321.224 или двоярный насос 223.25 ЧАО «Стройгидравлика» на экскаваторах ЭО-4121, ЭО-4225, ЕУ-423. УНА-5000 заменяет двоярный насос 223.25 или 321.224 на экскаваторе ЭО-4321В.

Насосы типа 313 аксиально-поршневые регулируемые имеют широкий диапазон изменения рабочего объема, различные виды регулирования

и управления. В исходном состоянии рабочий объем может быть как максимальным, так и минимальным. Управление может быть позитивным или негативным. Позитивное управление увеличивает рабочий объем, а негативное управление уменьшает рабочий объем. Изменение рабочего объема вызывает изменение подачи и потребляемого (приводного) момента.

Качающий узел состоит из вала, установленного в корпусе на подшипниках и блока цилиндров. Фланец вала соединен с поршнями и шипом. Поршни перемещаются в цилиндрах блока. Величина хода поршней определяется углом, образованным осями вращения блока цилиндров и вала. Блок по сферической поверхности контактирует с распределителем, который противоположной стороной прилегает к опорной поверхности корпуса регулятора.

При работе насоса вал приводится во вращение от двигателя. Вращение вала передается шатунам, от них через поршни – блоку цилиндров. Каждый поршень за одну половину оборота вала производит всасывание, за другую – нагнетание рабочей жидкости в гидросистему. Подача определяется частотой вращения вала насоса, а также собственным рабочим объемом насоса. Рабочий объем определяется углом наклона блока цилиндров относительно оси вала.

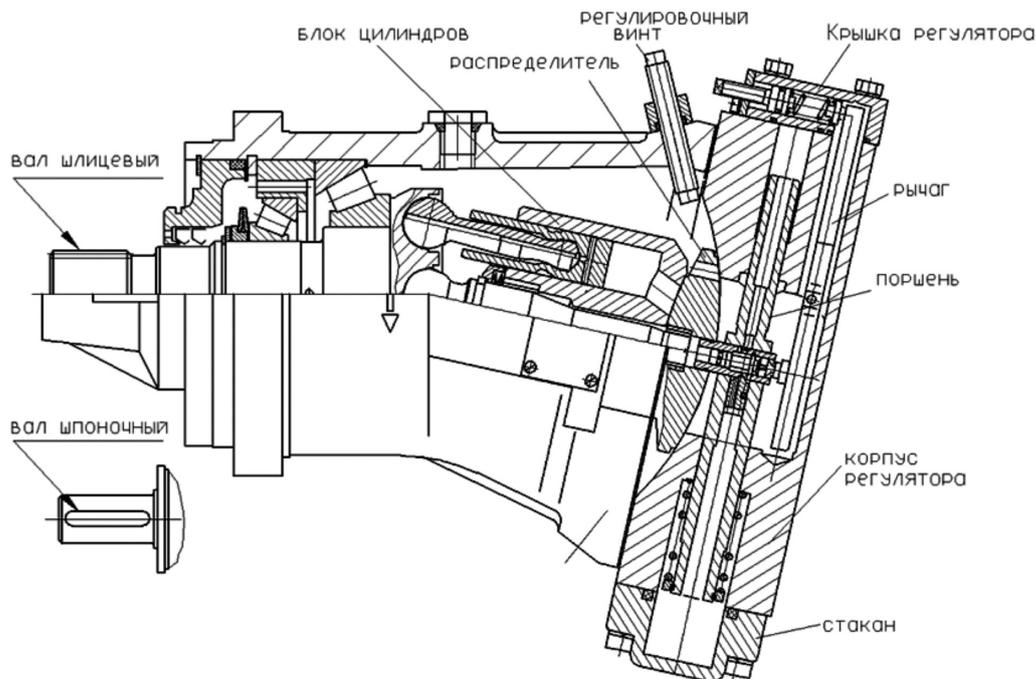


Рис. 2. Насос аксиально-поршневой регулируемый типа 313

Анализ рынка гидравлической аппаратуры показывает, что основными направлениями развития многопоточных моноагрегатов являются: объединение насосов раздаточным редуктором, скомпонованном в едином корпусе, либо вне его; создание тандемов серийных насосов; связь насосных секций одним ведущим валом. Создание многонасосных агрегатов на базе однопоточных насосов и их узлов, установленных на редукторе привода, скомпонованным вместе с редуктором привода в одном корпусе, тандемированных либо связанных одним валом увеличивают массово-габаритные параметры и стоимость многонасосного агрегата за счет дублирования ряда основных базовых узлов и деталей однопоточных насосов.

Ведущие компании – производители гидравлической аппаратуры не уделяют внимания поиску новых принципов и развитию конструкций насосов, предпочитая выпуск более дорогих многопоточных насосов на базе освоенных в производстве насосов. Существенным резервом при создании многопоточных моноагрегатов является использование основных принципов объемного гидропривода дискретного действия [2].

В рамках поиска направлений рационализации систем отбора мощности силовой установки на привод рабочих органов технологического оборудования многофункциональных машин инженерного вооружения, строительных и дорожных машин авторы рассмотрели возможность создания гаммы двухпоточных аксиально-поршневых насосов различного функционального назначения на базе универсального качающего узла и различных гидрораспределительных модулей. Качающий узел может быть реализован по двум основным схемам: схема с подвижным блоком цилиндров и неподвижными наклонной шайбой и гидрораспределителем, и схема с неподвижным блоком цилиндров, вращающимися наклонной шайбой и гидрораспределителем [3].

Разработаны конструктивные схемы регулируемых двухпоточных аксиально-поршневых насосов на базе универсальных качающих узлов с подвижным (рис. 3) и неподвижным (рис. 4) блоками цилиндров. Двухпоточный аксиально-поршневой насос включает однопоточный универсальный качающий узел 1 и гидрораспределительный модуль 2. Конструктивная схема гидрораспределительного модуля 2 обеспечивает регулирование эквивалентного рабочего объема и распределение потоков рабочей жидкости по магистралям двух потребителей.

Универсальный качающий узел 1 аксиально-поршневого насоса с подвижным блоком цилин-

дров (рис. 3) включает приводной вал 3, установленный в подшипниковом узле передней крышки корпуса 4, блок цилиндров 5, связанный с приводным валом 3 шлицевым соединением, поршни 6, образующие рабочие полости 7. Поршни 6 прижимаются к поверхности наклонной шайбы 8, закрепленной неподвижно в корпусе 4.

Гидрораспределительный модуль 2 включает опорно-распределительный диск 9, установленный в антифрикционной втулке корпуса 4 с возможностью поворота на угол 0–90°, неподвижную распределительную втулку 10, закрепленную в корпусе 4, подвижную распределительную втулку 11, установленную в неподвижной распределительной втулке 10 с возможностью поворота, и ротор 12, связанный с приводным валом 3. В гидрораспределительном модуле 2 реверсируемого (рис. 3, а) и не реверсируемого (рис. 3, б) насосов поворот подвижной распределительной втулки 11 осуществляется на угол, изменяемый в диапазонах  $\pm 180^\circ$  и  $\pm 45^\circ$ . Опорно-распределительный диск 9 и подвижная распределительная втулка 11 оснащены зубчатыми венцами червячных зацеплений, управляемых автономными двигателями. Опорно-распределительный диск 9 оснащен двумя полукольцевыми пазами 13, 14 с центральными углами составляющими  $\approx 180^\circ$ , связанными каналами в блоке цилиндров 5 с рабочими полостями 7. Полость полукольцевого паза 13 связана с полостью продольного канала 15, образованного в роторе 12 в гидрораспределительном модуле 2 реверсируемого насоса (рис. 3, а), и с подводным каналом 16 корпуса 4 не реверсируемого насоса (рис. 3, б). Полость полукольцевого паза 14 связана с полостью продольного канала 17.

На цилиндрической поверхности неподвижной распределительной втулки 10 образованы четыре диаметрально противоположных сегментных паза 18, 19, 20, 21, связанных с каналами 22, 23, 24, 25 подключения реверсируемого насоса (рис. 3, а) в гидросистему. При этом полости диаметрально противоположных сегментных пазов 20, 19 и 21 формируют два потока рабочей жидкости: каналы 22 и 24 являются отводящим (подводящим) и подводящим (отводящим) у одного потока рабочей жидкости, а каналы 23 и 25 являются отводящим (подводящим) и подводящим (отводящим) у второго потока рабочей жидкости. В гидрораспределительном модуле 2 не реверсируемого насоса (рис. 3, б) полости диаметрально противоположных сегментных пазов 18 и 20, 19 и 21 связаны попарно и с каналами 22, 23 подключения двух напорных магистралей потребителей.

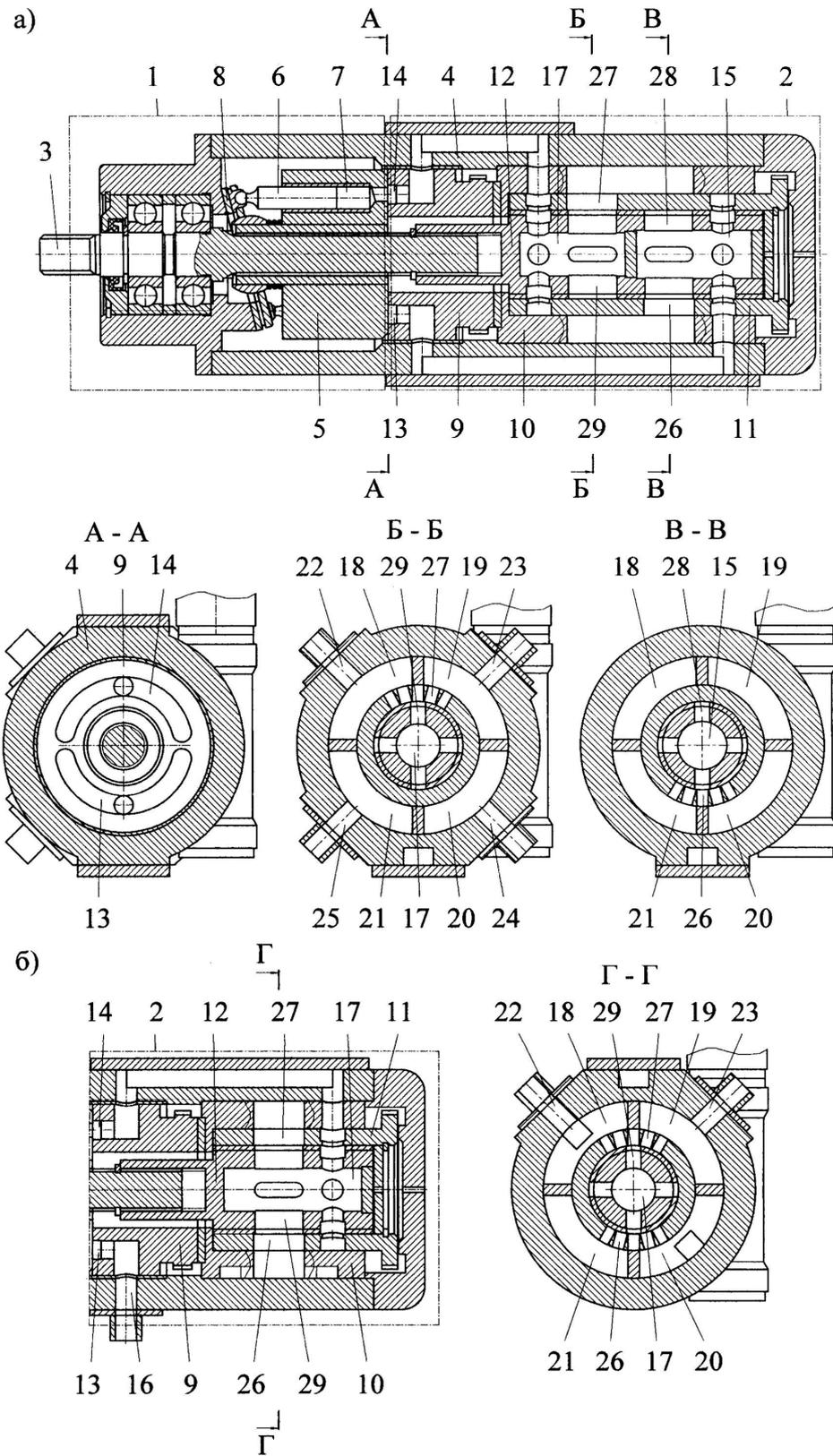


Рис. 3. Двухпоточный аксиально-поршневой насос:  
а) реверсируемый; б) не реверсируемый

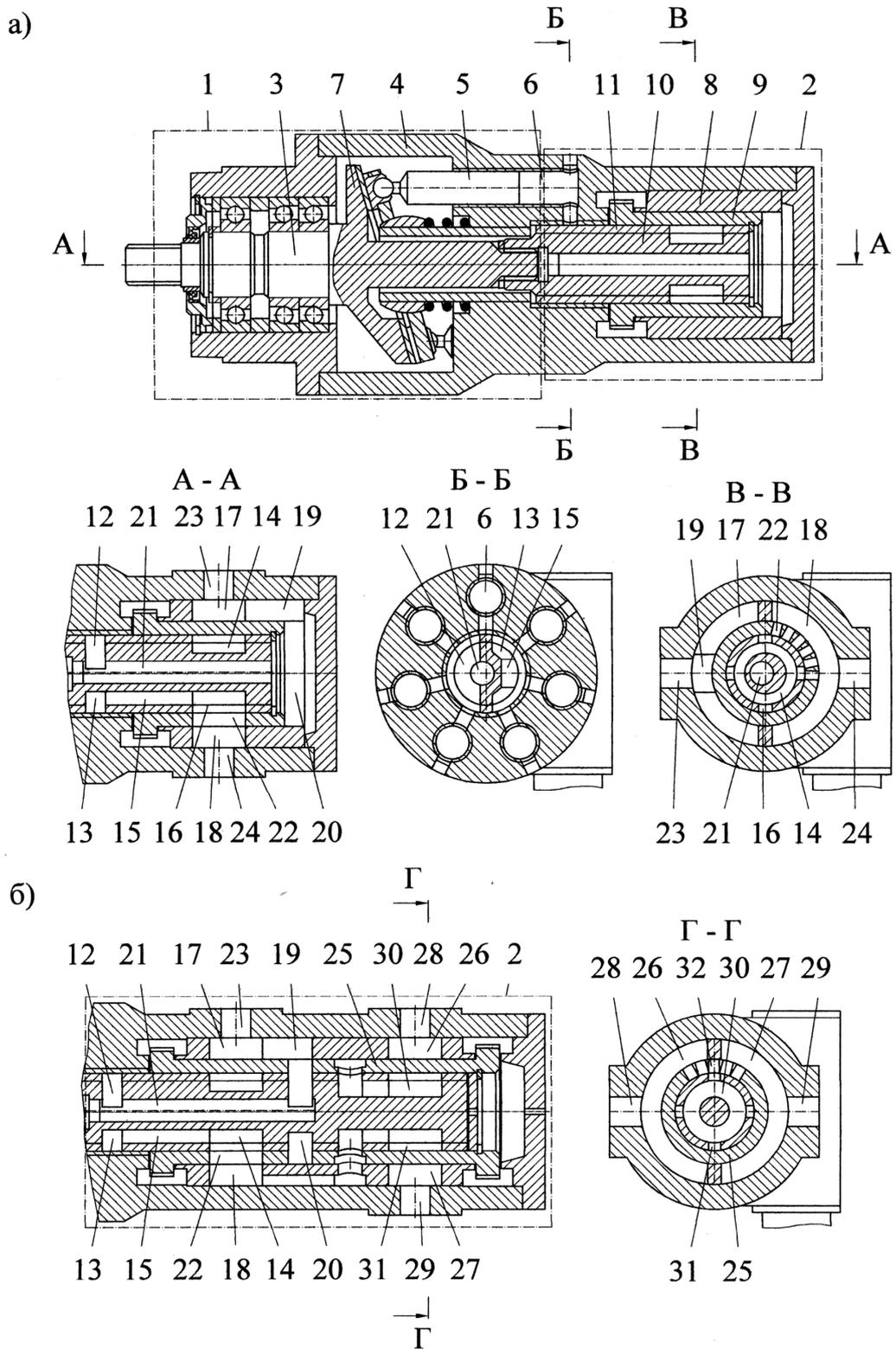


Рис. 4. Аксиально-поршневой насос с неподвижным блоком цилиндров:  
 а – однопоточный; б – двухпоточный

На цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 11 образованы две группы диаметрально противоположных продольных каналов 26, 27. В гидрораспределительном модуле 2 (рис. 3, а) полости продольных каналов 15, 17 связаны группами из четырех радиальных каналов 28, 29 ротора 12 с полостями групп продольных каналов 26, 27. В гидрораспределительном модуле 2 (рис. 3, б) полость продольного канала 17 связана четырьмя радиальными каналами 29 ротора 12 с полостями групп продольных каналов 26, 27.

Гидрораспределительный модуль 2 двухпоточного насоса включает два канала управления параметрами подачи рабочей жидкости по магистралям потребителей. Первый канал управления обеспечивает регулирование объема качающего узла 1. Второй канал управления определяет параметры распределения потоков рабочей жидкости по напорным магистралям двух потребителей.

В основу алгоритма регулирования объема качающего узла 1 (рис. 3) положен способ фазового регулирования объема качающего узла 1, состоящий в изменении относительного положения продольных плоскостей наклонной шайбы 8 и полукольцевых пазов 13, 14 опорно-распределительного диска 9 [4]. При неизменном геометрическом ходе поршня 6 изменяется его эффективный ход, определяемый положением фаз всасывания и нагнетания.

В нейтральном положении опорно-распределительного диска 9 плоскость симметрии полукольцевых пазов 13, 14 перпендикулярна плоскости наклона шайбы 8. Каждый поршень 6, перемещаясь в блоке цилиндров 5, обеспечивает всасывание рабочей жидкости в рабочие полости 7 из полостей полукольцевых пазов 13, 14, и нагнетание из рабочих полостей 7 в полости полукольцевых пазов 14, 13 половину хода поршней 6. Такты всасывания, нагнетания каждого цилиндра блока цилиндров 5 сдвинуты по времени, и суммарно движения рабочей жидкости в продольных каналах 15, 17 нет. Эквивалентный объем качающего узла 1, равный сумме всех эквивалентных объемов цилиндров минимальный – нулевой. Подача рабочей жидкости качающего узла 1 минимальная – нулевая.

При повороте опорно-распределительного диска 9 на угол  $90^\circ$  по часовой стрелке каждый поршень 6 обеспечивает всасывание рабочей жидкости в рабочие полости 7 из полости полукольцевого паза 13, и нагнетание из рабочих

полостей 7 в полость полукольцевого паза 14. Эквивалентный объем качающего узла 1 и подача рабочей жидкости максимальная. Канал 15 является всасывающим, а канал 17 – напорным.

Изменяя положение опорно-распределительного диска 9 в диапазоне угла  $0-90^\circ$ , добиваемся плавного изменения объема качающего узла 1 от нулевого до максимального значений.

В основу алгоритма регулирования параметров распределения потока рабочей жидкости по напорным магистралям двух потребителей положен способ дискретизации потока рабочей жидкости качающего узла 1 и распределения дискретных объемов по напорным магистралям потребителей. При повороте подвижной распределительной втулки 11 меняется положение каналов 26, 27 относительно сегментных пазов 18, 19, 20, 21, определяющее режим работы двухпоточного насоса (рис. 3, а) в замкнутом контуре.

В исходном положении подвижной распределительной втулки 11 двухпоточного насоса (рис. 3, а) каналы 24, 25 являются всасывающими, а каналы 22, 23 – напорными. При вращении приводного вала 3 и ротора 12 по часовой стрелке рабочая жидкость из каналов 24, 25 поступает в полости сегментных пазов 20, 21, и по каналам 26, 28 в полость продольного канала 15, далее в полость полукольцевого паза 13 и рабочие полости 7 блока цилиндров 5. Из рабочих полостей 7 рабочая жидкость поступает в полость продольного канала 17, и по каналам 29, 27, последовательно, в полости сегментных пазов 18, 19, откуда по каналам 22, 23 в напорные магистрали двух потребителей. Взаимодействие каналов 26, 28 и 29, 27 обеспечивает дискретизацию потока рабочей жидкости и ее деление по напорным магистралям потребителей. Двухпоточный насос обеспечивает два потока рабочей жидкости: всасывает рабочую жидкость из двух магистралей по каналам 24, 25 с расходом в каждом канале  $-0,5q$  и подает ее в напорные магистрали двух потребителей по каналам 22, 23 с подачей по каждому каналу  $+0,5q$  [здесь и далее  $q$  – подача качающего узла 1,  $\text{м}^3/\text{сек}$ ; (+) – напор, (-) – всасывание].

Поворот подвижной распределительной втулки 11, например, по часовой стрелке меняет режим работы двухпоточного насоса. В таблице 1 представлены параметры подачи рабочей жидкости реверсируемого двухпоточного аксиально-поршневого насоса по магистралям потребителей при повороте подвижной распределительной втулки 11 относительно исходного положения.

Таблица 1.

Параметры подачи рабочей жидкости двухпоточного аксиально-поршневого насоса по магистралям потребителей

Канал	Угол поворота подвижной распределительной втулки 11							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
22	+0,5q	0	-0,5q	-q	-0,5q	0	-0,5q	+q
23	+0,5q	+q	+0,5q	0	-0,5q	-q	-0,5q	0
24	-0,5q	0	+0,5q	+q	+0,5q	0	-0,5q	-q
25	-0,5q	-q	-0,5q	0	+0,5q	+q	+0,5q	0

Анализ таблицы 1 показывает, что, поворачивая подвижную распределительную втулку 11 на угол 0–315° по часовой стрелке, обеспечиваем плавное регулирование параметров подачи рабочей жидкости по напорным магистралям двух потребителей при работе двухпоточного аксиально-поршневого насоса в замкнутом контуре. Так, например, при повороте подвижной распределительной втулки на угол 90° реверсируется один поток двухпоточного насоса, а поворот на угол 180° обеспечивает реверсирование двух потоков.

В двухпоточном насосе (рис. 3, б), полукольцевой паз 13 связан с каналом 16 и баком гидросистемы, а полукольцевой паз 14 – с продольным каналом 17 ротора 12. Сегментные пазы 18, 20 и 19, 21 связаны попарно.

В исходном положении подвижной распределительной втулки 11 двухпоточного насоса (рис. 3, б) рабочая жидкость из полости продольного канала 17 по каналам 29, 26, 27 поступает в полости сегментных пазов 20, 18 и 21, 19, откуда по каналам 22, 23 в напорные магистрали двух потребителей. Двухпоточный насос обеспечивает два потока рабочей жидкости: всасывает рабочую жидкость из канала 16 и подает ее в напорные магистрали двух потребителей по каналам 22, 23 с подачей по каждому каналу +0,5q.

Насосы с неподвижным блоком цилиндров, вращающейся наклонной шайбой и распределителем рабочей жидкости широкого распространения не получили. Это объясняется в частности тем, что традиционные технические решения изменения рабочего объема аксиально-поршневых насосов, состоящие в изменении угла наклона шайбы, либо блока цилиндров, в насосах с неподвижным блоком цилиндров технически сложно реализуемы. Авторами разработаны направления технической реализации универсального качающего узла и гидрораспределительных модулей [5], [6], обеспечивающих одно и многопоточное

исполнение аксиально-поршневого насоса, исполнение насоса с постоянным, либо переменным объемом.

Универсальный качающий узел 1 аксиально-поршневого насоса с неподвижным блоком цилиндров (рис. 4) включает ведущий вал 3, установленный в подшипниковом узле передней крышки корпуса 4 насоса. В корпусе 4 насоса образован неподвижный блок цилиндров. Поршни 5 образуют рабочие полости 6, и прижимаются к поверхности шайбы 7, выполненной заодно с валом 3.

Разработаны конструктивные схемы гидрораспределительных модулей однопоточного (рис. 4, а) и двухпоточного (рис. 4, б) аксиально-поршневого насоса переменного эквивалентного объема, обеспечивающих регулирование параметров эквивалентного объема в гидравлических контурах двух потребителей.

В основу алгоритма регулирования параметров подачи рабочей жидкости положен способ дискретизации непрерывного потока рабочей жидкости универсального качающего узла 1 и распределения дискретных объемов по магистралям согласно алгоритма работы гидрораспределительного модуля 2. В регулируемом однопоточном аксиально-поршневом насосе (рис. 4, а) гидрораспределительный модуль 2 включает один канал управления параметрами подачи рабочей жидкости в магистраль потребителя.

Гидрораспределительный модуль 2 однопоточного аксиально-поршневого насоса (рис. 4, а) включает неподвижную распределительную втулку 8, закрепленную в корпусе 4, подвижную распределительную втулку 9, установленную с возможностью поворота на угол 90°, и ротор 10 с втулкой 11, связанный с валом 3. На роторе 10 выполнены два диаметрально противоположных сегментных паза 12, 13 с центральными углами, составляющими 180° и кольцевая канавка

14, связанная с сегментными пазом 13 каналом 15. На цилиндрической поверхности втулки 11 в зоне кольцевой канавки 14 образованы четыре продольных канала 16. Продольная плоскость сегментных пазов 12, 13 совпадает с плоскостью наклона шайбы 7.

На цилиндрической поверхности неподвижной распределительной втулки 8 образованы два диаметрально противоположных сегментных паза 17, 18 с центральными углами, составляющими  $\approx 180^\circ$ . Полость сегментного паза 17 связана каналом 19 с полостью 20, образованной в корпусе 4, и каналом 21 с полостью сегментного паза 12 ротора 10.

На цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 9 в зоне сегментных пазов 17, 18 образована группа продольных каналов 22. Центральный угол группы каналов 22 составляют  $90^\circ$ . Подвижная распределительная втулка 9 оснащена зубчатым венцом червячного зацепления с приводом от автономного двигателя.

Полость кольцевой канавки 14 связана каналами 16 и 22 с сегментными пазами 18, 17 в зависимости от положения подвижной распределительной втулки 9.

Полости сегментных пазов 17, 18 связаны каналами 23, 24 с баком гидросистемы и напорной магистралью.

Рабочие полости 6 блока цилиндров насоса связаны радиальными каналами с полостями сегментных пазов 12, 13.

Полость сегментного паза 12 связана с рабочими полостями 6 цилиндров, поршни 5 которых работают в режиме всасывания рабочей жидкости. Рабочая жидкость поступает из бака гидросистемы в полости сегментных пазов 17, 12 и рабочие полости 6. Полость сегментного паза 13 связана с рабочими полостями 6 цилиндров, поршни которых работают в режиме нагнетания. Рабочая жидкость из полости сегментного паза 13 поступает в полость кольцевой канавки 14, и через продольные каналы 16, 22 дискретными порциями в полости сегментных пазов 18, 17.

При исходном положении распределительной втулки 9 все продольные каналы 22 находятся в зоне сегментного паза 18, что обеспечивает максимальный эффективный объем аксиально-поршневого насоса и максимальную подачу рабочей жидкости в напорную магистраль через канал 24. При повороте подвижной распределительной втулки 9 против часовой стрелки на  $90^\circ$  все продольные каналы 22 перемещаются в зону

сегментного паза 17. При этом сегментные пазы 12, 13 ротора 10 связаны с полостью сегментного паза 17. Эффективный объем аксиально-поршневого насоса минимальный (нулевой). Подача рабочей жидкости через канал 24 в напорную магистраль отсутствует.

Изменение углового положения подвижной распределительной втулки 9 обеспечивает регулирование эффективного объема аксиально-поршневого насоса от нулевого значения до максимального (геометрического).

Для реализации гидрораспределительного модуля 2 двухпоточного аксиально-поршневого насоса структурная схема гидрораспределительного модуля 2 однопоточного аксиально-поршневого насоса дополнена элементами, обеспечивающими повторную дискретизацию потока рабочей жидкости, параметры которого скорректированы первым каналом управления, и распределения дискретных объемов по двум напорным магистралям. В регулируемом двухпоточном аксиально-поршневом насосе гидрораспределительный модуль 2 оснащен дополнительно вторым каналом управления параметрами подачи рабочей жидкости в магистрали двух потребителей.

Гидрораспределительный модуль 2 двухпоточного аксиально-поршневого насоса (рис. 4, б) оснащен дополнительной подвижной распределительной втулкой 25, установленной с возможностью поворота на угол  $90^\circ$ . Подвижная распределительная втулка 25 оснащена зубчатым венцом червячного зацепления с приводом от автономного двигателя. На цилиндрической поверхности неподвижной распределительной втулки 8 образованы два дополнительных диаметрально противоположных сегментных паза 26, 27 с центральными углами, составляющими  $\approx 180^\circ$ , связанные каналами 28, 29 с напорными магистралями. На роторе 10 образована дополнительная кольцевая канавка 30, связанная с полостью сегментного паза 18 неподвижной распределительной втулки 8. На цилиндрической поверхности втулки 11 в зоне кольцевой канавки 30 образованы четыре продольных канала 31.

На цилиндрической поверхности дополнительной подвижной распределительной втулки 25 в зоне сегментных пазов 26, 27 образована группа продольных каналов 32. Центральный угол группы каналов 32 составляют  $90^\circ$ .

Рабочая жидкость из полости сегментного паза 18 поступает в полость кольцевой канавки 30, по продольным каналам 31, 32 в полости сегментных пазов 26, 27 и по каналам 28, 29 в магистрали по-

ребителей. В исходном положении подвижной распределительной втулки 25 подача рабочей жидкости через продольные каналы 31, 32 в полости сегментных пазов 26, 27 и магистрали потребителей, подключенные к каналам 28, 29 одинаковая. При повороте подвижной распределительной втулки 25 по часовой стрелке на угол  $45^\circ$  все продольные каналы 32 переводятся в зону сегментного паза 27, подача рабочей жидкости в магистраль, подключенную к каналу 29 максимальная, а подача рабочей жидкости в магистраль, подключенную к каналу 28 – нулевая. Аналогично, поворот подвижной распределительной втулки 25 против часовой стрелки на угол  $45^\circ$  от исходного положения обеспечивает максимальную подачу рабочей жидкости в магистраль, подключенную к каналу 28, и нулевую подачу в магистраль, подключенную к каналу 29. Изменяя положение подвижной распределительной втулки 25, обеспечиваем

плавное регулирование параметров подачи рабочей жидкости по напорным магистралям двух потребителей в соответствии с заданным алгоритмом управления гидроприводом.

Изменяя положение подвижной распределительной втулки 11 в диапазоне угла  $0 \pm 45^\circ$  добиваемся плавного изменения параметров подачи рабочей жидкости по магистралям потребителей в диапазоне от нулевого до максимального значений при заданном уровне параметров подачи насосной секции 1 аксиально-поршневого насоса.

Реализация предложенного принципа построения гаммы аксиально-поршневых насосов позволит сократить номенклатуру выпускаемых гидравлических аппаратов при обеспечении потребностей транспортного и дорожно-строительного машиностроения в гидравлических аппаратах систем приводов ходового и технологического оборудования.

**Список использованных источников**

1. Каталог гидравлики. ОАО «Пневмостроймашина». Издание №2. – Екатеринбург, 2005. – 134 с.
2. Коробкин, В.А. Модернизация строительных и дорожных машин на основе создания гидравлических агрегатов нового поколения / В.А. Коробкин, А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело // *Новости науки и технологий*. – 2012. – №1. – С. 20–27.
3. Башта, Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем. Учебник для вузов / Т.М. Башта. – М., Машиностроение, 1974 – 606 с.
4. Объемная гидропередача: пат. 10429 Респ. Беларусь, F 16H 61/44, F 15B 11/22 / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, К.Б. Щebetов, Е.К. Щebetова, О.А. Плиговка, Д.Ю. Мягков, М.Н. Мануйлов; заявитель Учреждение образования «Минский государственный высший авиационный колледж». – № u 20131134; заявл. 2013.12.27; опубл. 2014.12.30 // *Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці*. – 2014. – № 6.
5. Аксиально-поршневая гидромашина: пат. 3838 Респ. Беларусь, F 15B 11/00 / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № u 20070146; заявл. 2007.02.27; опубл. 2007.08.30 // *Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці*. – 2007. – № 4.
6. Аксиально-поршневой насос: пат. 9556 Респ. Беларусь, МПК (2006.01) F 15B 11/00 / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело, К.Б. Щebetов, Е.К. Щebetова; заявитель Минский государственный высший авиационный колледж. – № u 20130112; заявл. 2013.02.11; опубл. 2013.10.30 // *Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці*. – 2013. – № 5.

УДК 620.178.4/6

## МАШИНА МОДЕЛИ ФТИ5-695 ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОВ И ИХ СПЛАВОВ

*Жукова А.А., Суша Н.В.*

*Государственное научное учреждение*

*«Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси»*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*Разработана испытательная машина ФТИ5-695, которая позволяет определить способность металла к пластическому деформированию методом прокатки при различных температурах нагрева, различных скоростях и величинах деформации.*

Требования к повышенной надежности промышленного оборудования, снижение материальных затрат при его изготовлении и эксплуатации, повышение его производительности вынуждают машиностроителей искать новые материалы с высокими технологическими и прочностными свойствами. При изготовлении деталей из таких материалов, производителей в первую очередь интересует возможность применения наиболее эффективного и недорогого способа изготовления деталей или заготовок с минимальным расходом материала-пластического деформирования.

В связи с этим часто возникает потребность в получении новых материалов с заданными характеристиками. Во многих случаях с этой целью было использовано существующее технологическое оборудование и инструмент, что не давало возможности более точно определить характеристики материала, так как требовалось изменение технологической оснастки, режимов обработки и большого количества исследуемого материала.

В лаборатории предельной деформируемости ГНУ «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» для определения технологических свойств новых материалов разработана испытательная машина ФТИ 5-695, которая позволяет определить пластические свойства материалов методом прокатки образцов при различных режимах нагрева, различных скоростях и величинах деформации. При этом она выдает величину усилия прокатки образца.

Испытательная машина (рис. 1), состоит из

двух широких брусов (2,11), соединенных между собой четырьмя боковыми плитами (1,6), стянутыми между собой шпильками (16). Таким образом, эта конструкция представляет собой жесткую корпусную коробку. На брусах располагаются рельсовые направляющие, по которым при помощи шариковой винтовой передачи (7) на шариковых блоках линейного движения передвигаются навстречу друг другу два ползуна (3,12). На ползунах установлены столы (5, 12), на которых размещаются комплекты оснастки, используемые для испытаний образца. Столы имеют возможность изменять свою высоту, при этом меняется расстояние между установочными поверхностями столов. Это позволяет изменять глубину силового воздействия на образец при испытании его методом прокатки. Размер закрытой высоты «А» (рис. 1) равен  $100 \pm 4$  мм.

Привод ползунов производится от асинхронного электродвигателя 4А100L4ЕУЗ мощностью 4 кВт с частотным регулированием числа оборотов. Он обеспечивает скорость передвижения ползунов от 0,3 м/с до 0,8 м/с. Рабочий ход нижнего ползуна может выключаться раздаточной коробкой (8), и тогда скорость прокатки образца уменьшается вдвое. Установка ползунов в исходное положение производится поворотом вала механизма датчика оборотов ходового винта и перемещением верхнего ползуна при неподвижном нижнем ползуне. Вся информация о скорости и усилиях прокатки передается на экран пульта управления. Датчик оборотов винта на рис. 1 не показан. Он установлен на раздаточной коробке.

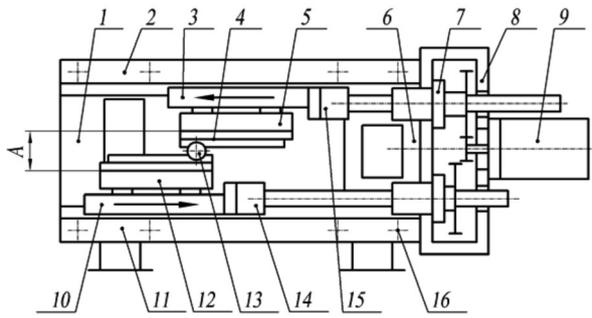


Рис. 1. Схема испытательной машины:  
 1 – боковая стенка; 2 – брус верхний; 3 – ползун;  
 4 – технологический комплект; 5 – стол; 6 – боковая стенка; 7 – шариковая винтовая пара; 8 – коробка раздаточная; 9 – электродвигатель; 10 – ползун;  
 11 – брус нижний; 12 – стол; 13 – испытываемый образец; 14 и 15 – датчики усилия; 16 – шпильки

Привод машины развивает осевое усилие более 10000 Н. Соединение ползунов с винтами силового привода включает силовые датчики (14,15), которые непосредственно показывают величину усилия, препятствующего перемещению ползуна по шариковым направляющим, и вносят небольшую погрешность при замере воздействия на испытываемый образец.

### 1. Способность металла к пластическому деформированию

На рис. 1 показана испытательная машина с установленным комплектом для определения пластичности материала методом прокатки. Изменяя температуру нагрева заготовки, скорости прокатки, глубину внедрения клина в образец можно определить возможность обработки заготовок из этого материала методами пластической деформации или резанием, а также наилучшие режимы обработки. Испытания можно проводить и на плоских образцах. В качестве пластичности принимается относительное обжатие, при котором на боковых кромках полосы появляются первые трещины.

### 2. Определение коэффициента трения

Сила трения  $T$  на контактных поверхностях при воздействии на испытываемый образец нормального давления  $P$  (рис. 2) вычисляется по формуле  $T = \mu \cdot P$ .

При достижении силой  $Q$  и, следовательно, силой  $T$  критического значения тело начнет двигаться по плоскости. В случае равномерного прямолинейного движения  $Q = T = \mu \cdot P$ , где  $\mu$  – коэф-

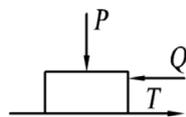


Рис. 2. Схема возникновения силы  $T$  под действием сил  $P$  и  $Q$

фициент трения скольжения. При помощи комплекта трения на испытательной машине можно производить замер силы трения в зависимости от нормального давления на образец. Схема испытаний показана на рис. 3.

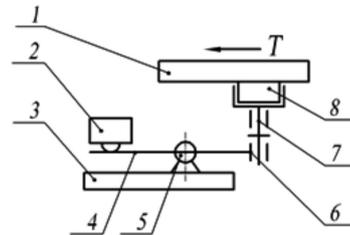


Рис. 3. Схема определения силы трения  $T$

Образец (8) устанавливается на регулируемый столик (7), поворотом эксцентричной оси (5) поджимается к подвижной испытательной паре, установленной на подвижном верхнем ползуне, и путем регулировки винтовой пары (6) через рычаг (4) образец настраивается на силу нормального давления, определяемого датчиком усилия (2). Начало движения верхнего ползуна (1) относительно неподвижного ползуна (3) приводит к возникновению силы трения  $T$ , которая фиксируется датчиком усилия верхнего ползуна.

### 3. Определение угла захвата заготовки валками

Угол захвата заготовки валками определяется по формуле  $\text{tg} \alpha \leq \mu$ , где  $\alpha$  – угол захвата,  $\mu$  – коэффициент трения между металлом и валками. Одним из способов определения коэффициента трения является сжатие образца между двумя наклонными плитами с изменяемым углом наклона. Плиты должны иметь высокую твердость и чистоту поверхности. Образец, помещенный между двумя раскрытыми на большой угол плитами, при уменьшении этого угла начинает выдавливаться, и когда угол становится равным или несколько меньшим двойного угла трения, образец останавливается, уменьшение угла прекращается. Измерением угла между двумя плитами и делением его пополам можно определить угол трения, тангенс которого равен коэффициенту трения.

На этом принципе основано действие комплекта по определению угла захвата валками образца испытываемого материала. Его конструкция схематически показана на рис. 4.

Комплект с неподвижной плитой (6), поворотной плитой (3) и лимбом (5), смонтированный на установочной плите (1), устанавливается на неподвижном нижнем ползуне, а верхний ползун посредством тяги (4) при своем движении совер-

шает поворот поворотной плиты (3) и, помещенный между плитами образец (2) выдавливается до достижения между плитами угла, равного углу трения.

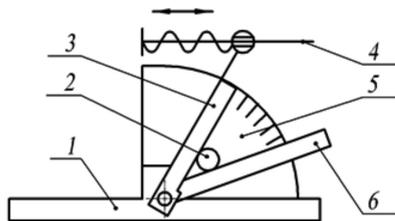


Рис. 4. Схема определения угла захвата

#### 4. Определение предельной пластичности материала

Испытание образца на предельную пластичность производится на испытательной машине прокаткой цилиндрического образца (соотношение толщины образца к его диаметру – 0,2–0,5) между двумя параллельными пластинами, закрытыми с боков на величину 5...7 мм, которые обеспечивают плоскопараллельное качение образца. Прокатка производится с различной степенью обжатия образца до появления трещины на его боковой поверхности, так как при такой толщине образца начало разрушения начинается на боковой поверхности и определяется визуально. Пластичность металла образца оценивается количеством циклов нагружения образца (1 оборот соответствует 2 циклам нагружения).

Величина обжатия заготовки вычисляется по формуле  $\sigma = A/d$ . Этот метод особенно подходит для проведения испытаний сравнительной пластичности материала, так как он дает цифровое значение для сравнения предельной пластичности (рис. 5).

Для определения этих характеристик металла испытательная машина снабжается комплектами технологической оснастки и методикой проведения испытаний.

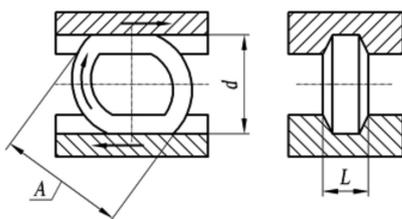


Рис. 5. Схема испытания образца на предельную пластичность

Машина имеет возможность выключать движение одного ползуна. При этом скорость прокатки уменьшается вдвое, т.е. равна скорости движения ползуна, а усилие, с которым может передвигаться ползун, увеличивается вдвое и достигает 1,5 м/сек. На машине можно определять удельное усилие прокатки на единицу поперечной площади перемещаемого металла, по величине деформации балок прокатной клетки, при их градуировке, определять распорное усилие прокатки и проводить другие испытания металла. Весь процесс деформации металла при прокатке происходит перед глазами исследователя и может быть зафиксирован видеоаппаратурой.

При оснащении испытательной машины пирометром, фотокамерой, лабораторной нагревательной печью она позволяет производить широкий спектр испытаний образцов металла. Данная испытательная машина, ввиду своей компактности (габариты  $L \times B \times H = 1325 \times 320 \times 465$  мм, масса около 400), может быть расположена в лаборатории, мобильна в перемещении, а также для демонстрации на выставочных площадках. Процесс деформации металла происходит в открытом пространстве, в связи с этим, она может быть наглядным пособием в студенческой лаборатории, а также источником экспериментального уточнения технологической характеристики металла в заводской лаборатории, или инструментом для определения характеристик какого-то сплава в руках научного исследователя.

Кроме этого, в силу своих технологических возможностей данная машина позволяет производить дополнительные испытания. Использование машины позволяет выбрать наиболее оптимальные методы изготовления деталей и на ранних стадиях определить необходимость изменения качества материала.

#### Выводы:

На основании потребности в измерениях пластических свойств материалов методом прокатки образцов при различных режимах нагрева, различных скоростях и величинах деформации, была спроектирована и разработана испытательная машина ФТИ 5-695, которая развивает тяговое усилие более 10000 Н, имеет широкую регулировку скорости, обладает компактными габаритами  $1325 \times 320 \times 465$  мм, что позволяет использовать ее в испытательных и учебных лабораториях, а также в качестве модели прокатного стана на выставочных площадках.

## ОТОПИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ

*Северянин В.С.*

### Введение

Первая особенность рассматриваемой темы – большой расход энергоресурсов на удовлетворение требований теплоснабжения – от жилищно-коммунального хозяйства до различных отраслей промышленности (отопление, кондиционирование, вентиляция). Теплота генерируется в основном в настоящее время в Беларуси за счет сжигания главным образом импортируемого органического топлива и используется потребителем непосредственно или через теплоносители. Известны экологические, технические, экономические проблемы этой инфраструктуры. Электроэнергия через различные электронагревательные устройства позволяет решить много вопросов из этих проблем, но до последнего времени у нас были ограничения по применению электроэнергии для создания требуемых температурных условий в различных помещениях. Главная причина этого – высокая стоимость электроэнергии. Следует напомнить, что электроэнергия производится на тепловых электростанциях, КПД которых – по второму закону термодинамики, порядка 40 %, т.е. для единицы электроэнергии требуется несколько единиц тепловой, получаемой при сжигании дорогого топлива. Поэтому технически проще сжигать топливо (здесь КПД высокий) и передавать потребителю теплоту горячих продуктов сгорания.

Вторая особенность рассматриваемой темы – развитие ядерной энергетики в Беларуси. Несмотря на дорогое ядерное топливо, дорогое техническое оформление ядерной энергетики, – стоимость электроэнергии, производимой ядерными электростанциями, существенно (в разы, а не на проценты) ниже электроэнергии, выдаваемой обычными электростанциями на органическом топливе. Основная причина этого – расход ядерного топлива в тысячи раз меньше, чем органического – для производства того же количества электроэнергии.

Именно поэтому ядерная энергетика бурно развивается во всем мире, даже в странах с большими запасами газа, нефти, угля. Островская

АЭС мощностью 2400 МВт при общей мощности всех электростанций РБ 7800 МВт позволяет исключить из импорта газового потока 30 % его.

Поэтому возникает насущная проблема развития в РБ электроиспользующих технологий. Это положение отражено в новой редакции Директивы №3 Президента Республики Беларусь «О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства» (Указ №26 от 26.01.16). В п.4 Директивы сказано: «Совету министров РБ совместно с Национальной академией наук Беларуси и другими заинтересованными организациями обеспечить... разработку и реализацию в 2016–2020 годах с учетом ввода в эксплуатацию Белорусской атомной электростанции мероприятий по увеличению доли электроэнергии в конечном потреблении энергоресурсов за счет замещения других видов топлива и энергии и внедрения новых перспективных электротехнологий...»

На основании вышеизложенного видно, что системы теплоснабжения являются целесообразным потребителем большого количества дешевой электроэнергии.

Электронагревательные приборы и устройства имеют длительную историю своего развития, разработано и применяются многочисленные электротеплогенераторы, однако для конкретных современных технических, экологических, социальных условий отопительные электротехнологии требуют дальнейшего совершенствования.

### Традиционные схемы и устройства

Электроэнергия в теплоту может переходить с высоким КПД непосредственно в объекте отопления (иногда используется термин «прямое электрическое отопление»), или через различные теплоносители – от теплогенератора до объекта, – а также специальные преобразовательные устройства. Далее эти различия не будут акцентироваться.

Доказанными достоинствами электрического отопления являются следующие факторы:

1. Особо высокие качества по регулированию и автоматизации теплоснабжения.

2. Уникальная транспортабельность энергоносителя, превосходящая этот показатель для всех других типов энергоносителей.
3. Повсеместное наличие электроэнергии, – не только благодаря развитым линиям электропередачи, но и возможностям индивидуального электропроизводства.
4. Возможность сочетания одним устройством как подвода теплоты в обслуживаемый объект, так и отвода.
5. Высокие гигиенические и эстетические качества оборудования, легко реализуемые соответствующими специалистами.
6. Быстрота нагрева, удовлетворение пиковых нагрузок, неравномерных графиков теплопотребления.
7. Легкость строительно-монтажных работ, удобство эксплуатации, небольшие габариты.

Но, как показано выше, электричество – это «рафинированная» энергия, получаемая с большими «отбросами» исходных сырьевых ресурсов. Поэтому этот «минус» сдерживает и ограничивает реализацию «плюсов».

Сейчас же, с развитием мощной ядерной энергетики, возможно второе рождение электрических отопительных систем – на основе имеющихся известных разработок и в перспективе – создание новых.

Наиболее распространенный метод электронагрева – «джоулево тепло», – теплота, выделяющаяся при прохождении тока через некоторое электрическое сопротивление:

$$Q = kJ^2R\tau,$$

( $J$  – сила тока,  $R$  – эл. сопротивление,  $\tau$  – время,  $k$  – коэффициент, зависящий от ряда условий).

Такие нагреватели представлены разнообразными проволочными и пленочными устройствами и аппаратами. Провода с соответствующей электроизоляцией и коммуникациями располагаются непосредственно в стенах, потолке, полу или в специальных панелях. Выпускаются так же греющие ковры, дорожки; нагреватели монтируются в мебели, постельных принадлежностях, подоконниках и т.д. Серийно производятся ТЭНы – трубчатые электронагреватели (тепловыделяющая нихромовая проволока с песочным электроизолятором внутри нержавеющей трубки). Эти нагреватели могут нагревать воздух, масло, воду в переносных электронагревателях, которые обеспечивают требуемую температуру воздуха в помещении.

Разновидностью этого класса нагревательных устройств являются электродные котлы, в кото-

рых теплота реализуется при прохождении тока в воде при помощи погруженных в нее электродов. Отмечаются достоинства этого метода: компактность, плавность, регулирование, отсутствие шлакования, низкая стоимость. Недостатки: обязательная водоподготовка, недопустимость закипания, регулярная замена электродов. Электродные котлы заменяют огневые установки, а подают теплоту в объект при помощи теплоносителя на обычные нагревательные приборы.

Особый тип отопительных приборов – инфракрасные излучатели, передающие теплоту в объект по законам лучистого теплообмена:

$$Q = \varepsilon C_0 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

( $\varepsilon$  – приведенная степень черноты системы обменивающихся теплотой тел,  $C_0$  – коэффициент излучения абс. черного тела;  $T_1$  – температура горячего тела,  $T_2$  – холодного).

Человек в помещении теряет тепло в основном за счет излучения, поэтому лучистые (или радиационные) системы отопления являются самыми комфортными. Перечисленные выше устройства частично также передают теплоту излучением, но сильная зависимость теплового потока от температуры горячего тела ( $T^4$ ) показывает целесообразность использования высокотемпературных излучателей (раскаленная проволока в фокусе параболоидного зеркала). Это уменьшает габариты нагревателя, т.е. капитальные затраты.

Достоинства «лучистого» отопления: мобильность во времени; влагоустойчивость; бесшумность работы; легкость обслуживания, монтажа, ремонта; быстродействие; эти системы удобны для отопления высоких помещений, когда конвекционные не целесообразны.

Термоэлектрический метод подачи/удаления теплоты основан на явлении Пельтье: нагрев/охлаждение контакта разнородных проводников при пропускании постоянного тока. Тепловой эффект при этом:

$$\pm Q = \Pi q,$$

( $q$  – электрический заряд, проходящий через контакт,  $\Pi$  – коэффициент Пельтье, зависит от материала проводников и температуры). Знак  $Q$  определяется подсоединением  $\pm$  источника тока. Таким образом, это явление весьма перспективно для организации кондиционирования среды в помещениях. Большим достоинством этих устройств является неограниченный срок службы, надежность, простота. Очевидно, требуется постоянный ток, т.е. со-

ответствующее оборудование.

Тепловые насосы – это технические устройства, потребляющие внешнюю энергию (в нашем случае – электроэнергию) для «перекачки» теплоты от низкотемпературного источника высокотемпературному объекту. Эффективность такой термодинамической машины характеризуется отопительным коэффициентом

$$\phi = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_2}$$

и холодильным коэффициентом  $\varepsilon = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$ , при

этом  $\phi > 1$  и  $\phi = \varepsilon + 1$ .

Здесь  $Q_1$  – тепло, переданное высокотемпературному объекту,  $Q_2$  – взятое у низкотемпературного источника,  $(Q_1 - Q_2)$  – энергия, затраченная на это, как показано в теоретической термодинамике (температурная аналогия вышеприведенному):

$$\phi = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \text{ и } \varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2},$$

т.е. чем ближе температуры источника  $T_2$  и объекта  $T_1$ , тем выше  $\phi$ , эффективнее система. В этой термодинамической машине единица внешней энергии «перекачивает» несколько единиц теплоты (Но внешняя энергия сама по себе многозатратная субстанция, см. выше). Поэтому, если нет ограничений по внешней энергии (главным образом по цене, как для ядерной энергетики), тепловые насосы перспективны. Однако следует сразу же указать на сложность, дороговизну самих тепловых насосов.

В настоящее время наиболее освоены два типа тепловых насосов – компрессионные и термоэлектрические.

Первый тип содержит 4 основных элемента: конденсатор, компрессор, испаритель, дроссель. В испарителе рабочее тело (фреон, аммиак и др.) испаряется, охлаждается, отбирает теплоту  $Q_2$ . Газообразное рабочее тело в компрессоре сжимается и направляется в конденсатор, где при высоком давлении, значит, при более высокой температуре конденсируется, передает теплоту  $Q_1$  окружающей среде. В дросселе давление снижается до исходного, и цикл повторяется. Компрессор потребляет электроэнергию. Конденсатор может совмещаться с отопительной панелью или другим отопительным прибором, испаритель – с удобным источником низкопотенциальной теплоты (грунтовые воды, стоки, выбросы и т.д.).

Действие второго типа тепловых насосов основано на явлении Пельтье. Они собраны из батареи термоэлементов. «Горячие» спаи термо-

электродных проводов собраны в одном канале, «холодные» спаи – в другом. Каналы оборудованы вентиляторами, имеется выпрямитель тока и соответствующие переключатели.

Другие типы тепловых насосов (абсорбционные, струйные и т.д.) менее употребительны; все тепловые насосы действуют по общему термодинамическому принципу, потребляя энергию.

### Новые решения

В новой технико-экономической ситуации в энергетике страны следует решать проблему развития теплоснабжения по двум направлениям: 1) совершенствование имеющихся систем путем всемерного привлечения электроэнергии, и 2) разработка, создание, внедрение новых прогрессивных отопительных технологий на базе электроэнергии.

Не разрушая имеющихся теплогенераторов на органическом топливе, тепловых сетей, распределения тепла, подсоединений потребителей, можно кратко указать на такие мероприятия:

1. Перевод экономайзерных поверхностей нагрева котлов на электрический нагрев воды в трубах. Это осуществляется а) использованием металла труб в качестве «джоулевых» нагревателей, б) индукционным нагревом массы экономайзера, в) передачи ему функции элемента теплового насоса. Такой усовершенствованный котел должен работать при необходимости как на обычном топливе, так и на электричестве. Естественно, появляются новые задачи (тепло-электроизоляция, циркуляция воды и воздуха в котле и т.д.), но умеренный нагрев воды, отсутствие горения и загрязнений, новых помещений и коммуникаций (даже электрические уже имеются) позволяет надеяться на успешное решение этих задач.

2. Применение электродного нагрева воды в тепловых сетях, как в магистральных, так и в распределительных. Не нарушая всей и в частях инфраструктуры, в определенных местах врезаются электроизолированные электроды по всем правилам электротехники. Такая схема может как компенсировать теплотери в тепловых сетях, так и самостоятельно вести отопление, особенно при малых тепловых нагрузках.

3. Комбинирование тепловых насосов с обычными электронагревателями. Выше показано, что при повышении температуры низкотемпературного источника расход электроэнергии на «прокачку» теплоты уменьшается. Поэтому предварительный электронагрев может снизить общий расход электроэнергии на отопление тепловым насосом. Кроме того, для малых расходов теплоты может быть достаточным простой нагрев

предварительным электронагревателем.

4. Электрические теплоаккумуляторы являются удобным средством сглаживания тепловых нагрузок при работе систем отопления. Это качество особенно проявляется при использовании ночных провалов электропотребления. Необходимо только правильно решать вопросы размещения, регулирования, оплаты при использовании таких устройств. Новые материалы, эффективные конструктивные схемы, благоприятная тарифная политика обусловят широкое применение электро-теплоаккумуляторов.

Новые разработки по электрическим нагревательным (отопительным) приборам могут быть многочисленными, зависящим от конкурентных условий и требований. Поэтому их выбор обусловлен в первую очередь их ценой, т.е. простотой конструкции и использования, минимальными капитальными затратами, максимальной эффективностью.

Например, предлагается съемная панель на стену в виде ковра размером несколько м<sup>2</sup>. В толще ковра смонтированы нагревательные элементы проволочного или пленочного типа, но поверхность ковра имеет сквозные отверстия определенной формы и количества. Ковер – панель подвешивается на стенке с зазором несколько сантиметров (решетчатая подкладка), и в этом зазоре, с нижнего края устройства, смонтирован тангенциальный вентилятор. В этом главное отличие от аналогичных нагревателей. Тангенциальный вентилятор представляет собой трубу (длиной 2–3 м, диаметром 5–7 см) с продольной щелью. Внутри трубы, вдоль всей ее оси, вращается комплекс вентиляционных лопаток (такие вентиляторы используются в воздушных завесах, сплит-системах и т.д.). Вращение создает электродвигатель малой мощности. Вентилятор выдает широкую струю воздуха из щели в зазор между ковром и стеной; воздух, подогретый нагревательными элементами, выходит в помещение через упомянутые отверстия в ковре. Таким образом, в этом отопительном приборе сочетаются радиационный и конвекционный тепловые потоки в помещение. Подогрев воздуха – до 18–24 °С, поэтому работа материала устройства не представляет затруднений.

В нагревательных (отопительных) приборах, расположенных непосредственно в помещениях, использование индукционного высокочастотного нагрева теплоносителя нужно избегать из-за электромагнитного излучения, требующего существенной экранизации. Поэтому целесообразны внешние индукционные теплогенераторы, питающие помещения теплом при помощи те-

плоносителей. Такие схемы реализовать относительно просто.

Интересны предложения по созданию так называемых электрических трибомеханических теплогенераторов. В них теплота получается за счет трения внутри слоев жидкой или газовой среды или между специальными элементами механического устройства. Относительное перемещение создается электродвигателями или силами Лоренца (электромагнитное поле на проводнике). Такие нагреватели могут также реализовать функцию насоса для теплоносителя.

Системы электрического отопления на базе автономных индивидуальных электрогенераторов (солнечные батареи, микро АЭС, ветро-гидроустановки, геотермальные теплопарные источники, электроаккумуляторы большой емкости) при условии наличия относительно дешевой и доступной общегосударственной электроэнергетики не всегда целесообразны как по техническим, так и экономическим причинам. Они весьма подходят для автономных, отдаленных теплопотребителей (полярные станции, экспедиции, временные поселки, турбазы, курорты).

### Заключение

1. Развитие ядерной энергетики в РБ приводит к целесообразности использования электроэнергии в системах теплоснабжения в жилищно-коммунальном хозяйстве и промышленности, при этом снижается потребность в импортируемом органическом топливе.

2. В существующих системах теплоснабжения перевод на электрическую базу не представляет принципиальных затруднений; вместе с тем необходимо развивать новые направления физико-технических приложений электроэнергетики в теплоснабжении. Возможны новые схемные решения, конструкции, физические явления. Изменяется автоматика, действия аккумуляторов теплоты, эксплуатация, техника безопасности. Особые замечания возможны при разработке тарифов за пользование электрическим теплоснабжением.

3. Единая энергосистема позволит повысить надежность теплоснабжения, организовать экспорт/импорт электроэнергии с целью замены топлива как энергоресурса, ибо реализовать потоки электричества намного проще и целесообразнее, чем дальний транспорт любого вида топлива (кроме ядерного из-за его малого удельного количества).

4. Электрическое теплоснабжение снижает требования к энергосбережению в строительстве и коммунальном хозяйстве, экономя, например, на дорогих строительных материалах.

## СДЕЛАНО В СССР

Клеванец Ю. В.

В интернете можно найти такой старый документальный фильм.

Большое озеро. Ветер, заметно волнение. На берегу какой-то сарай. Люди открывают двустворчатые ворота. По сравнению с людьми сарай большой. Из его ворот выплывает некий аппарат, катер – не катер, самолёт – не самолёт. На нём надпись: «СССР». Люди придерживают его за бока. Аппарат разворачивается на деревянном помосте перед сараем, замирает, а потом ухает в воду. Видны столбы и вихри брызг. Аппарат со страшной скоростью несётся от берега, как бы «придавливая» волнение. Иногда, налетая на большую волну, аппарат превращает её в белый бурун. А позади тянется белый пенный след...

Вот съёмка с борта аппарата. Видно, как при движении спереди налетают волны, а из-под днища вырываются вверх и в стороны столбы брызг, как пар от чайника.

Этой плёнке совсем скоро исполнится 80 лет. На ней запечатлён один из этапов ходовых испытаний одного из первых и на долгое время самого большого в мире аппарата на воздушной подушке, спроектированного и построенного под руководством профессора Московского авиационного института Владимира Израилевича Левкова.

В.И. Левков родился в 1895 году в Ростове-на-Дону, в семье зажиточного торговца углём. С раннего возраста мальчик увлекался техникой и в отличие от многих детей из своего окружения выбрал для обучения не гимназию, а реальное училище. После училища молодой человек поступил в Высшую техническую школу в Германии, в городе Карлсруэ, правда, не окончил её: в связи с началом Первой Мировой войны пришлось вернуться на родину. Здесь Левков стал студентом Донского политехнического института, а потом здесь же стал работать на кафедре гидродинамики.

Следующая ступенька к появлению нового транспортного средства

– это публикация работы калужского самородка Константина Циолковского «Сопrotивление воздуха и движущийся поезд», где автор дал теоретическое обоснование возможности движения поезда без колёс.

Левков, к тому времени профессор кафедры аэродинамики Новочеркасского авиационного института, заинтересовался выводами Циолковского и начал экспериментировать для воплощения идей калужанина в жизнь. Сначала были построены несколько пробных моделей. В 1931 году уже была готова демонстрационная модель «летающий таз». Она действительно походила на таз, перевёрнутый вверх дном. За три последующие года появилось ещё несколько моделей. А в начале 1934 года В.И. Левков сделал доклад о перспективах появления нового транспортного средства в Наркомате тяжёлой промышленности. Нарком Орджоникидзе поддержал учёного, было принято решение о переводе его в МАИ, где должно быть выделено специальное помещение для исследовательских работ.

Выделенное в Московском институте помещение представляло собой большой зал. В нём сделали водяную дорожку, то есть бассейн большой длины и маленькой глубины. Над дорожкой протянули контактный провод, так как по авторскому решению новая демонстрационная модель имела электрические двигатели. Эта модель судна на

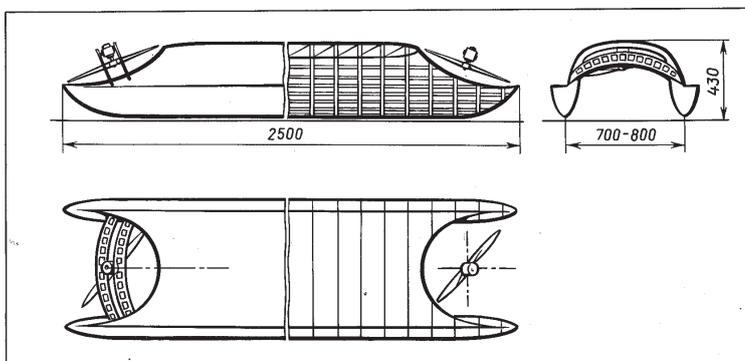


Рис. 1. Схема демонстрационной модели В. Левкова. Впоследствии такую же конструкцию имели все его катера

воздушной подушке (СВП) представляла собой деревянную лодку-катамаран из двух поплавков и соединяющей их платформы с габаритными размерами 2,5×0,8 метров. Масса конструкции 6 кг. Два электродвигателя по 360 Вт шарнирно качались на осях, расположенных спереди и позади платформы между поплавками. На валы двигателей надевались воздушные винты. Качанием двигателей на осях можно было изменять вектор тяги и, следовательно, уменьшать или увеличивать давление воздуха под платформой, заставляя модель перемещаться взад – вперёд вдоль контактного провода.

В конце мая 1934 года модель была продемонстрирована межведомственной комиссии, в которую входили от заказчика командующий ВВС Я. Алкснис, от науки — профессор Б. Юрьев и Главный конструктор А. Туполев. Сам Левков запускал модель в бассейн, а студент Богачёв ловил её на другом конце зала и отправлял обратно.

Испытания произвели впечатление, по решению комиссии следовало построить полномасштабный катер.

Работа началась «на общественных началах», студенты К. Богачёв, Н. Александров, М. Гусаров, В. Одинцов, К. Сиднев и В. Кантор чертили по вечерам. Был разработан эскизный, а за ним — и рабочий проект с расчётом массы, аэродинамики, прочности.

Строился первый настоящий аппарат на воздушной подушке в мастерских при Московском авиационном институте. Летом 1935 года готовый катер Л-1 был перевезён в Переяславль-Залесский на Плещеево озеро. Он имел 3 двигателя М-11 (такие ставились, в частности, на «кукурузник» У-2) мощностью 100 л.с. Основной материал – дерево. Общая схема была такой же, как и у демонстрационной модели, но добавлялся третий двигатель на пилоне за трёхместной кабиной экипажа. Кроме того, добавились дополнительные аэродинамические поверхности для управления по курсу как снаружи (в виде воздушного кия), так и под платформой, между поплавками катамарана. Масса аппарата составила 1,5 т, а во время испытаний была достигнута скорость 140 км/ч.

Испытания Л-1 были признаны успешными, однако, по мнению комиссии, аппарат бы переусложнён по части управления. В том же году летом Л-1 доработали, сняв маршевый двигатель, а подъёмно-маршевые М-11

заменяли на более мощные М-11М (140 л.с.). Испытания машины в новом виде показали её перспективность.

Осенью началась разработка ещё большего аппарата. Он проектировался под двигатели Пермского моторного завода М-25 и представлял собой всё тот же катамаран, но увеличенный по всем размерам. Осенью следующего, 1936 года новый катер, который получил название Л-5, был построен. Он имел уже внушительные размеры: длина 24 м, ширина 5,35 м, эксплуатационная масса 8600 кг. Аппарат строился из дюралюминия (не корродирующий сплав АМГ). Управление осуществлялось путём отклонения воздушной струи двигателей при помощи качающихся решёток жалюзи, установленных в струе от винтов, под платформой катамарана. В кабине при этом стоял самолётный штурвал (управление «вверх – вниз» и «вправо – влево»).

Испытывался аппарат уже весной 1937 года на Копанском озере возле деревни Пейкия Кингисеппского района Ленинградской области и в недалёкой Копорской губе Финского залива. Там в то время располагалась база торпедных катеров под командованием капитан-лейтенанта Никитина (в дальнейшем контр-адмирал), который оставил свои воспоминания.

Морякам, выделенным для испытаний, было приказано переодеться в лётную форму, что само по себе вызвало ажиотаж в их среде. Руководил испытаниями и обучал экипаж сам профессор Левков. Он, хотя и был близорук, уверенно демонстрировал офицерам-испытателям приёмы управления своим детищем.

В целом результаты испытаний были признаны положительными, была достигнута скорость в 130 км/ч. Аппарат уверенно двигался при волнении 3 балла. Было решено построить ещё пять таких машин для продолжения испытаний.



Рис. 2. Испытания катера Л-5

Осенью 1937 года в мастерских МАИ началось строительство двух аппаратов: Л-5С (предполагалось, что это уже будет серийная модель) и Л-9 (учебный).

Л-5С оснащался более мощными двигателями М-62 (1000 л. с), имел пассажирскую кабину на 13 мест и массу 11300 кг. Все остальные параметры, в том числе, и скорость, остались прежними, то есть такими же, как и у Л-5.

Конструкция Л-9 была цельнодеревянной, его масса составляла 2250 кг. Аппарат оснащался двигателями М-11М, специально доработанными для эксплуатации на воде. Конструктивная схема повторяла Л-5, то есть это был катамаран с двумя подёмно-маршевыми двигателями.

На базе у капитан-лейтенанта Никитина вновь приступили к испытаниям. Было установлено, в частности, что Л-5С проходит над плавающим льдом, над брёвнами, которые сплавляются по реке, над речными перекатами. Для него не было проблем выйти на берег, пройти по болоту или по зарослям кустарника. Рвы шириной в 2/3 длины корпуса для Л-5С тоже не были проблемой. Мореходность составляла 4 балла.

Поскольку в Финском заливе постоянно ведётся интенсивное судоходство, новые катера не могли не видеть с проплывающих кораблей. В вахтенных журналах судов иногда появлялись такие записи: «Проходящий мимо катер вышел на берег и скрылся в кустах».

В марте 1939 года совместным решением наркома авиационной промышленности М. Кагановича и наркома судостроения А. Тевосяна было организовано специальное конструкторское бюро под руководством И. Левкова, к бюро придавался планерный завод Осоавиахима в московском Тушине.

Однако интенсивные испытания выявили и недостатки в конструкции аппаратов. Основной недостаток проистекал из использования в целях ускорения постройки авиационных моторов воздушного охлаждения. Этим двигателям требовался интенсивный обдув, при длительной работе на повышенных оборотах они грелись. В то же самое время моторы нельзя было убрать внутрь корпусов поплавков катамарана из того же условия необходимости обдува цилиндров. В этом случае требовалась также и длинная передача на воздушные винты. А моторы, установленные над поплавками, повышали центр тяжести и давали нежелательные опрокидывающие моменты при разворотах.

Сам Левков, конечно, предвидел возможность проявления недостатков своей конструкции.

Следующий его разработкой стал аппарат массой в 30 тонн с моторами водяного охлаждения и с радиаторами типа М-35/М-38, которые впоследствии применялись на штурмовиках Ил-2. Однако постройке новой машины помешала война.

Всего к июню 1941 года было построено 5 Л-5С и 3 (по другим сведениям 10) Л-9. В июле командующий Балтийским флотом приказал в связи с секретностью разработки перегнать все построенные на тот момент катера на воздушной подушке в Кронштадт и законсервировать до конца войны.

В 1947 году эти машины были признаны негодными и утилизированы.

В октябре 1941 года КБ по судам на воздушной подушке вместе с заводом было эвакуировано на Урал, в город Алапаевск и загружено постройкой десантных планеров.

Больше оно тематикой СВП не занималось.

Сам Владимир Левков, человек, не отличавшийся крепким здоровьем, с 1944 года начал работать по совместительству на кафедре гидроприводов Московского технологического института пищевой промышленности, а с 1952 года он перешёл работать в этот институт постоянно. Умер разработчик первых в мире судов на воздушной подушке в 1954 году. За границей более или менее работоспособные СВП появились только через пять лет после его смерти.

Но история нового транспортного средства в СССР не закончилась. В 1939 году выпускник МАИ Александр Надирадзе (он работал в группе Левкова, а в будущем стал главным разработчиком противотанковых и других малых управляемых сухопутных ракет) получил авторское свидетельство на изобретение гибкого ограждения для потока воздуха, создающего воздушную подушку, так называемой «юбки». Таким образом, уже до войны были разработаны все основные компоненты конструкции СВП.

После войны начавшиеся за рубежом работы в области СВП переключили сознание советского руководства к необходимости иметь у себя такое же транспортное средство. Ещё при жизни Сталина было принято совместное решение руководства партии и правительства СССР по этому вопросу. Следствием стала организация специализированного КБ при Ленинградском экспериментальном судостроительном заводе (главный конструктор В. Липинский). Работники нового КБ естественно, начали свою деятельность с изучения опыта В. Левкова.

А в сентябре 1962 года на испытание вышло детище Ленинградского КБ, пассажирский катер

на воздушной подушке «Нева». Он был рассчитан на перевозку 38 человек. В литературе пишется, что на катере использовались два подъёмных двигателя мощностью 160 кВт, и один маршевый, мощностью 210 кВт. По-видимому, речь идёт о разных вариантах мотора АИ-14 производства Запорожского моторного завода. Такие моторы ставились в то время на маленькие вертолёты КА-15, которые серийно выпускались в Ленинграде для нужд флота. Полная масса нового аппарата была примерно на 1,5 т больше, чем у Л-5С, все основные размеры примерно такие же. Длина 17 м, ширина 6, скорость примерно в 2 раза ниже, то есть максимальная 60 км/ч, крейсерская 53 км/ч, дальность 280 морских миль. Общая мощность двигателей «Невы» была примерно в 2 раза ниже, чем у Л-5, а топливная эффективность — соответственно выше, что стало следствием организации потоков воздуха при помощи кожухов и использования гибкого ограждения — «юбки».

Обращает на себя внимание, что в СССР со второй половины 50-х годов XX века было принято демонстрировать своё миролюбие. Хотя все хоть сколько-нибудь компетентные люди понимали, что основное назначение СВП — военное, первые известные суда такого типа в СССР были пассажирскими. Если катера Левкова предполагалось использовать как торпедные или десантные, то во время «реинкарнации» СВП уже появился новый вид оружия — управляемые ракеты. Было признано, что именно с ракетным вооружением СВП будут наиболее эффективны.

Со второй половины 50-х годов эстафету разработки аппаратов на воздушной подушке подхватил судостроительный центр «Красное Сормово» (главный конструктор Ростислав Алексеев, в будущем академик). Первым сормовским катером СВП был «Радуга», похожий на левковский Л-9, а вторым — «Сормович», оснащённый турбовальным двигателем. «Сормович» мог перевозить 50 пассажиров со скоростью более 100 км/ч на дальность более 300 км.

Горьковская машина проектировалась под двигатель АИ-20К Запорожского моторного завода. Моторы этого типа применялись, в частности, на самолётах семейства Ан-24, Ан-26 и последующих подобных. К АИ-20 прилагалась в качестве «пускатча» ВСУ — вспомогательная силовая установка АИ-8 с генератором.

Основной материал корпуса — сплав АМГ, длина 29 метров, ширина 11 метров, высота по килю 8 метров. Двигатель через сложный редуктор и две системы передачи вращал подъёмный

12-лопастный винто-вентилятор для образования воздушной подушки и два маршевых четырёхлопастных винта изменяемого шага. Полная масса 37 тонн, масса пустого 25,5 т, коммерческая нагрузка 5 т.

Пассажирский салон был оборудован стандартными самолётными креслами. Вообще всё бытовое оборудование было заимствовано с самолёта.

Сормовское СВП было построено в 1965 году, в этом же году начались испытания, продолжавшиеся до 1958 года. Капитаном водно-воздушного корабля был назначен В. Щербаков.

Испытания показали, что «Сормович» устойчив на курсе, может разворачиваться практически на месте, легко поднимается на берег с уклоном в 5 градусов, на тихой воде развивает скорость 120 км/ч и даже больше, может преодолевать волны высотой 1,2 метра, правда, скорость при этом падает в два раза. Корабль готовили к эксплуатации на линиях Горький – Васильсурск, Горький – Чебоксары.

Обнаружились и недостатки. Так, оказалось, что часть водяных брызг от воздушной подушки летит вперёд, и в солнечную погоду перед носом аппарата появляется радуга, мешающая обзору. Но самым главным техническим недостатком оказался малый ресурс передачи на винты.

Ещё один и, наверное, самый важный «недостаток» корабля не технический, а именно выпадение его из всех традиционных представлений о речном судоходстве. К примеру, испытания показали, что «Сормович» отлично летает зимой над льдом, даже лучше, чем летом над водой. Но зимой вообще всякая навигация на Волге прекращалась, а поэтому и новое скоростное судно ставили на прикол. В чём-то судьба этого аппарата



Рис. 3. Пассажирское судно «Сормович». На фото запечатлён момент, когда вентилятор выключен, аппарат переходит из парящего режима в водоизмещающий

была похожа на судьбу сверхзвукового самолёта Ту-144. Вроде бы и скоростной, и перспективный, а как-то страшно с ним работать.

В итоге «Сормович» эксплуатировался всего две навигации 1971 и 1972 годов, успев за это время перевезти около 6 тысяч пассажиров. На линии Горький – Чебоксары аппарат преодолевал расстояние 274 километра за 3 часа 45 минут. В связи с тем, что курс «Сормович» прокладывал не по фарватеру, а по прямой, не взирая на мели, перекаты и старые русла, население оповещалось о каждом рейсе в прессе и по радио. Но, конечно, лучшим оповещением о приближении аппарата был рёв авиационной турбины.

После двух успешных навигаций неудачливое чудо техники ещё два года простояло на приколе в Чкаловске, после чего было разобрано на металлолом.

В 1970-х годах к двум центрам разработки и производства аппаратов на воздушной подушке в СССР — Ленинградскому и Горьковскому — подключился ещё и Долгопрудненский, судостроительно-судоремонтный завод на канале Москва-Волга, в посёлке «Водники». Все три организации работали до самого распада Советского Союза.

Оканчивая наш обзор, рассмотрим последний крупный советский проект в области СВП — малый десантный корабль на воздушной подушке типа «Зубр». По флотской классификации он называется малым кораблём, но в своём классе судов «Зубр» является самым большим в мире. Разработчиком проекта стало ленинградское КБ «Алмаз». Главные конструкторы: Л.В. Озимов, Ю.М. Мохов, Ю.П. Семёнов.

Полная масса корабля 555 т, длина 57,3 м, ширина 25,6 м, высота 21,9 м. Скорость 60 узлов. Дальность 300 морских миль в режиме СВП, 1000 миль в водоизмещающем режиме. Экипаж 27 человек. Двигательная установка состоит из 5 турбин по 10 тысяч л. с., которые вращают два подъёмных вентилятора диаметром 2,5 м и 3 маршевых четырёхлопастных винта изменяемого шага диаметром 5,5 м. Маршевые винты заключены в пластиковые профилированные кольца

**Список использованных источников.**

1. Н. Болгаров. Бегущие над волнами. //Хочу всё знать. Л., 1967
2. К. С. Горбенко. Ю. В. Макаров. Самолёты строим сами. М., 1989.
3. П. И. Качур. Ростислав Алексеев: конструктор крылатых кораблей. СПб, 2006.
4. В.И. Любимов, В. И. Поспелов, Ю. В. Горбунов. Суда на воздушной подушке: устройство и эксплуатация. М., 1984.



*Рис. 4. Десантный корабль «Зубр»*

с целью уменьшения шума и увеличения силы тяги. Основной материал корпуса — сплав АМГ. Корабль может выходить на берег и двигаться по берегу. Выгрузка и загрузка производится через носовую аппарель.

«Зубр» может перевозить: три танка, или 10 бронетранспортёров плюс 140 человек десанта, или 8 боевых машин пехоты, или 8 плавающих танков, или 500 человек десанта.

Корабль оснащён обзорным и прицельным радаром, приборами ночного видения, вычислительным комплексом. В последнее время добавилась система спутниковой навигации.

Вооружён пусковыми установками неуправляемых реактивных снарядов МС-227 под снаряды калибром 140 мм (запас 60 шт.). Также имеются две автоматические стрелковые установки калибром 30 мм с запасом 3000 снарядов, переносные ЗРК «Игла».

Первый корабль из серии «Зубр» вышел на испытания в 1986 году. До развала СССР всего было построено 8 единиц. Из них при делёжке флота 5 достались России, а 3 — Украине. В настоящее время в составе флота России остались 2 «Зубра». Четыре корабля этого типа были проданы Россией Греции. Украина договорилась с Китаем на постройку для китайского ВМФ ещё четырёх кораблей.

В настоящее время правительство России озвучило планы восстановления производства кораблей на воздушной подушке в Крыму.