

# ИНЖЕНЕР- МЕХАНИК

№ 4 (81)  
октябрь – декабрь  
2018

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.,  
Колпащиков В.Л., Крупец Л.Н.,  
Лягушев Г.С., Мариев П.Л.,  
Медвецкий Е.И., Мелешко М.Г.

*Адрес редакции:*

220141, Минск, ул. Ф. Скорины, 52/6  
тел./ факс 262-64-28; 264-00-80  
E-mail: mail@boim.by  
Свидетельство о регистрации  
№ 1132 от 21.04.1998

Подписной индекс **001392**

*Компьютерная верстка* Н.В. Побяржина

Подписано в печать 28.12.2018.

Формат 60×84/8. Бумага офсетная.  
Гарнитура «Таймс». Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 5,6. Уч.-изд. л. 4,7.  
Тираж 100 экз. Заказ №  
Цена номера договорная.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика в  
ЧПТУП «Колорград»  
Лицензия ЛП № 02330/474 от 08.09.2015 г.  
220033, г. Минск, пер. Велосипедный, 5,  
оф. 904.  
www.segment.by

## СОДЕРЖАНИЕ

### Разработки ученых и специалистов

Разработка и применение технологических комплексов аддитивного производства для строительной индустрии. *Хейфец М.Л., Семененко Д.В., Грецкий Н.Л., Астапенко А.А.*.....2

Развитие техники и технологии сверхтонкого помола материалов. *Сиваченко Л.А., Мирмов Н.И., Г. Маалот, Дыдышко И.М., Сиваченко Т.Л.*.....6

Модульное построение насосов гидравлических приводов инженерных машин. *Котлобай А.А., Котлобай А.А., Герасимюк А.И., Юнусов Ю.Ш., Быковский Д.В.*.....12

Новый метод сжигания твердых биотоплив с использованием активных гидродинамических режимов. *Пищуха Е.А., Теплицкий Ю.С., Бучилко Э.К., Дубина В.А.*.....19

### Популярная механика

О танках и игре World of Tanks. *Александр Грек*.....26

Воздушный гигант: каким станет новый российско-китайский авиалайнер. *Олег Макаров*.....27

### Патентуем сами

Тенденции развития персонального электротранспорта в Республике Беларусь. *Коробейник Е.И., Янкевич С.Н., Прокопеня А.Н.*.....31

### Будет интересно

Наглядная история велосипеда. *Антон Матвейчук*.....35

## РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

Хейфец М.Л., Семенов Д.В., Грецкий Н.Л., Астапенко А.А.  
ОАО «НПО Центр» НАН Беларуси

Технологические процессы аддитивного производства многочисленны и разнообразны. Применяемое в аддитивном производстве оборудование представляет собой комплекс средств технического оснащения, который обеспечивает эффективное и бесперебойное производство изделий, соблюдение условий технологического процесса, выполнение вспомогательных производственных мероприятий.

Особый интерес представляют процессы, материалы и оборудование для производства строительных конструкций, отличающиеся с учетом специфики выпускаемых изделий, широким многообразием предложенных и успешно реализуемых схем.

Современный технологический комплекс послойного синтеза изделий из неметаллических композитов должен отличаться высокой степенью автоматизации. Высокие требования к надежности технологического оборудования обусловлены тем, что в большинстве случаев отказы в работе приводят к нарушению технологического процесса, браку и простою производства. Для поддержания качества и увеличения количества производимой продукции, требуется разработка технологии и оборудования, позволяющего решать широкий диапазон производственных задач.

В процессе разработки оборудования и технологий его применения выполняются все стадии проектирования технологических комплексов.

На первом этапе выбирается кинематическая схема и предлагается компоновка (рис. 1) 3D-принтера, выделяются унифицированные блоки мехатронного комплекса, включающего механическую, электрическую части и программное обеспечение.

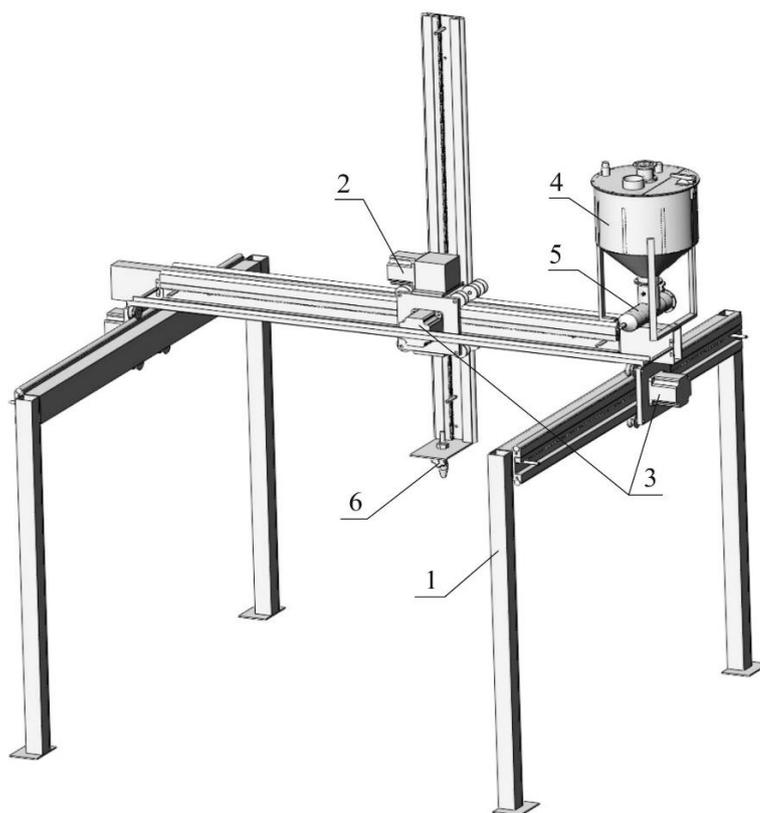


Рис. 1. Портальный технологический комплекс послойного синтеза изделий из неметаллических композитов: 1-портальная рама; 2,3- механизмы перемещения; 4- дозатор; 5 -подающее устройство; 6- рабочий орган

На втором этапе изготавливается макет экспериментального наиболее простого 3D-принтера (рис. 2) для FDM-технологии, на котором отрабатывается коммутация частей механической системы и используемые программные средства.

По результатам испытаний макета детализируется компоновка 3D-принтера для печати изделий, строительных или других форм из разнообразных керамических и силикатных материалов, цементных смесей с полимерными связующими и наполнителями (рис. 3). Компоновка отличается подъемной платформой, нагружаемой массивным изделием (рис.4).

Для FDM-технологии на платформе устанавливается стол с нагревательным элементом, а также используется одна или две экструзионные головки. В нижней части 3D-принтера (рис. 4) монтируется блок питания и электронные средства, которые соединяются с драйверами шаговых двигателей механической части и экструдера для FDM- печати.



Рис. 2. Экспериментальный настольный 3D-принтер с портальной компоновкой

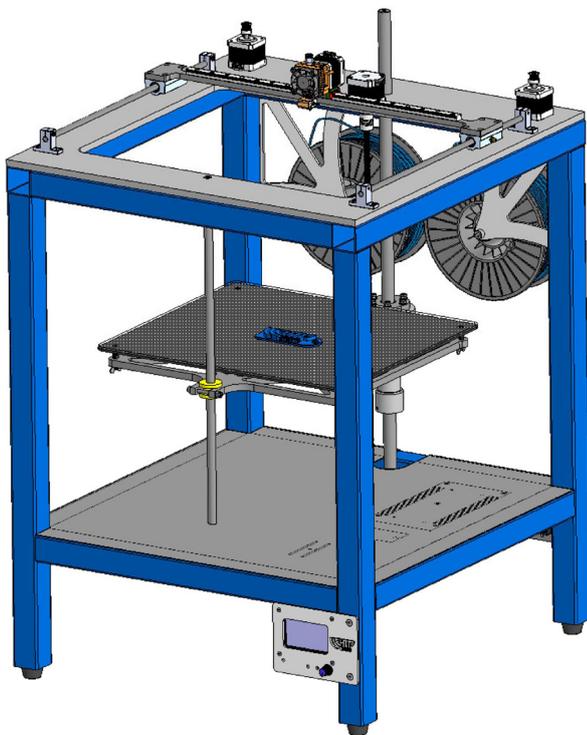


Рис. 3. Общий вид портативного 3D-принтера с подъемной платформой

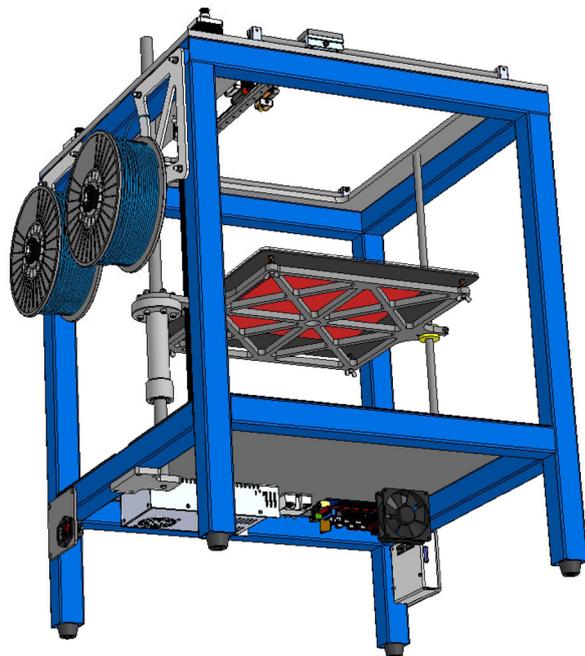


Рис. 4. Вид снизу на компоновку электронных компонентов и подъемную платформу портативного 3D-принтера

На собранном принтере проводится пробная печать филаментом из полимерного материала в том числе и с разнообразными наполнителями.

Окончательная компоновка технологического комплекса, разрабатывается на основе структурного построения, определяющего количество и функциональную взаимосвязь его составных элементов.

Технологические возможности оборудования определяются возможными траекториями перемещения его рабочих органов, которые в зависимости от формы получаемых изделий представляют плоские или пространственные линии,

обеспечиваемые кинематикой и компоновкой оборудования. Исходя из указанных факторов, компоновка составляющих частей оборудования может быть порталного и консольного типов.

Типовое оборудование порталного типа работает в прямоугольной системе координат. Кинематика и компоновка 3D - принтера должны обеспечивать, как минимум, два согласованных движения. Современные 3D - принтеры имеют 3 привода по осям X, Y, Z, причем движение по вертикальной оси (прерывистое или непрерывное) служит для подналадки и поддержания оптимальных условий формообразования (рис. 5).



Рис. 5 Конструктивное исполнение строительного 3D-принтера



Рис. 6 Строительный принтер (фото с сайта ООО «СПЕЦАВИА»)

Для обеспечения указанных движений один или несколько рабочих органов устанавливаются в суппортах на портале, с возможностью перемещения от соответствующих приводов в поперечном направлении (рис.6). Портал опирается на направляющие и приводится в движение в продольном направлении одним или двумя синхронно работающими приводами. Рабочие органы имеют возможность вертикально перемещаться в суппорте.

У оборудования консольного типа рабочий орган расположен на консольной балке, благодаря чему упрощается конструкция привода. Недостатком такой компоновки является ограниченная длина перемещения рабочего органа в поперечном направлении. Однако, этот недостаток преодолевается созданием многосвязной структуры механизма (рис. 7).

Таким образом, рассмотренные схемы, содержат все необходимые сопряженные между собой составляющие мехатронной системы: объекты управления и приводы; датчики и управляющие устройства. Это обеспечивает технологическим комплексам возможность длительной устойчивой работы в автоматическом режиме.

Технологические возможности мехатронного оборудования определя-

ются допустимыми траекториями перемещения его рабочих органов, которые в зависимости от формы получаемых изделий представляют плоские или пространственные линии и обеспечиваются кинематикой и компоновкой оборудования, которая может быть порталного и консольного типов.

В результате технологические комплексы для строительной индустрии следует проектировать в виде совокупности системных модулей, состоящих из унифицированных блоков и узлов, осуществляющих главное, дополнительные и установочные движения рабочих органов, а каждая система должна комплектоваться рядом функциональных модулей в соответствии с производственным назначением оборудования.



Рис. 7 Подача бетонной смеси в рабочую зону (фото с сайта производителя)

## РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ СВЕРХТОНКОГО ПОМОЛА МАТЕРИАЛОВ

*Сиваченко Л.А., д.т.н., профессор*

*Белорусско-Российский университет*

*Мирмов Н.И., д.т.н., профессор, директор научно-инженерного центра*

*Г. Маалот, Израиль*

*Дыдышко И.М., аспирант*

*Барановичский государственный университет*

*Сиваченко Т.Л., зам. директора КБ «Промышленные технологии и комплексы»*

Разработка новых материалов с заданным комплексом свойств осуществляется переводом материала в ультрадисперсное состояние, в котором его характерные геометрические размеры оказываются соизмеримы с тем или иным масштабом физического явления, например, поверхностной энергией [1]. Сегодня это называется нанотехнологиями и является приоритетным направлением в науке.

Одним из основных методов получения сверхтонких и наноразмерных композиций является измельчение, осуществляемое преимущественно механическими методами. Главным условием при этом подходе является минимизация размеров мелющих тел. Это положение хорошо известно специалистам [2] и находит самое широкое применение в технике измельчения. Его физическая суть заключается в создании максимальных напряжений в структуре измельчаемого материала. Этот метод успешно реализуется, например, в бисерных и коллоидных мельницах. В настоящее время это одно из основных направлений повышения эффективности тонкого и особенно сверхтонкого помола.

Сравнение различных методов получения ультрадисперсных частиц и наноконпозиций показывает, что для целей производства целого ряда эффективных материалов наиболее приемлемы механические [4]. При этом следует понимать необходимость совмещения этих технологий с другими операциями пререработки дисперсных сред, являющихся основой структуры искусственных конгломератов.

Процесс тонкого и особенно сверхтонкого помола материалов сопряжён с решением целого ряда задач технического и технологического характера. К первым следует отнести аппаратурное выполнение оборудования, ко вторым – блокирование поверхностной энергии частиц измельчаемого вещества, что приводит к их агрегированию, препятствующему дальнейшему протеканию процесса диспергирования. Попытаемся сформировать новый подход в решении некоторой части поставленных задач.

Начнем с того хорошо известного специалистам факта, что при механическом измельчении существует устойчивая зависимость тонины помола от размеров мелющих тел и энергонапряженности рабочего процесса [2,3]. Это четко коррелируется на примерах бисерных мельниц, развитие которых идет по пути уменьшения размеров мелющих тел (шаров), диаметр которых в ряде случаев достигает 50 и даже 20 мкм [5]. Получение столь малых мелющих тел сама по себе очень сложная и дорогостоящая технология и следовать по этому направлению, т.е. создавать собственные установки на подобном принципе действия – значит обрести себя на постоянное отставание.

Попытаемся построить свою философию в понимании диалектики создания аппаратов для сверхтонкого помола материалов механическим способом.

Начнем с того, что при проведении процессов ультрадисперсной пререработки (помола, диспергирования или микрогранулирования) дисперс-

ных сред необходимо постоянно блокировать силы поверхностного взаимодействия между частицами, которые прогрессивно возрастают по мере уменьшения их размеров и в какой-то момент, при достижении критической крупности, процесс разрушения частиц прекращается при любой продолжительности и интенсивности осуществляемых внешних воздействий. Сдвинуть эту границу в сторону получения более мелких частиц можно различными способами: уменьшением размера мелющих тел, оптимизацией характера механизмов единичных актов разрушения, увеличением энергонапряженности процесса, использованием ПАВ, обработкой в жидких средах, применением охлаждающих веществ и т.д.

В работе [6] излагается вывод, что аппарат тем энергетически выгоднее (при прочих равных условиях), чем меньше отношение объема его загрузки к производительности и чем выше удельный прирост поверхности при измельчении единицы объема. В подтверждении сказанному авторы предлагают коэффициент так называемого лишнего времени, который определяется как отношение времени ожидания  $t_1$  акта измельчения  $k_2$  к времени  $t_1$  осуществления акта измельчения, т.е.

$$k_i = \frac{k_1}{k_2} \quad (1)$$

Приведенные в этой работе значения  $k_p$  определенными и аналитически и на основании конкретной работы конусной дробилки, составляют соответственно 2000 и 2100. Этот простой и показательный пример даёт все основания полагать, что сокращение значения  $k_p$  должно привести, во-первых, к повышению собственно эффективности процесса помола, во-вторых, что предположительно, обеспечит получение частиц с более мелкими размерами. Последнее обстоятельство следует из свойств частиц «закрывать» полученные ими при измельчении трещины и пониманием того, что «скорострельностью» внешних воздействий этот процесс можно замедлить.

На этом основании заслуживает внимания современное представление сущности так называемого управляемого хаоса, которую можно использованы именуемого как фракталы [7, 8]. Геометрическое построение фракталов может быть чрезвычайно многообразным и один из вариантов его реализации для условий измельчения материалов реально выполнить из произвольно расположенных друг относительно друга во-

локонных образований, образующих пространственно неоднородно по взаимному расположению, но с изотропной плотностью расположения элементарных волокон. Вариант подобного исполнения приведен на рис. 1, где изображена волоконная губка из тонких металлических волокон.

Интенсивное деформирование такого рабочего тела, при условии равномерного его заполнения измельчаемым материалом, может создать новые возможности в сфере сверхтонкого измельчения за счет использования очень тонких и прочных металлических волокон, воздействия на отдельные частички различными по характеру единичными механизмами разрушения, высокой энергонапряженности процесса, минимизации времени ожидания нагружения частиц между актами разрушения. Как вариант выполнения подобного технического решения может быть деформирование волоконного тела в вибрационном устройстве между цилиндрическим инерционным вибратором и охватывающей его цилиндрической камерой (рис.2).

Без проведения специальных исследований достоверно судить о потенциальных возможностях волоконного (фрактального) подхода к организации сверхтонкого помола нельзя. В качестве первых шагов здесь могут быть аналитические работы в части фрактальных взаимодействий волокон между собой и создание физических моделей с использованием тонкой стальной проволоки.



Рис. 1. Фрактальное исполнение измельчающего органа на основе волоконных элементов

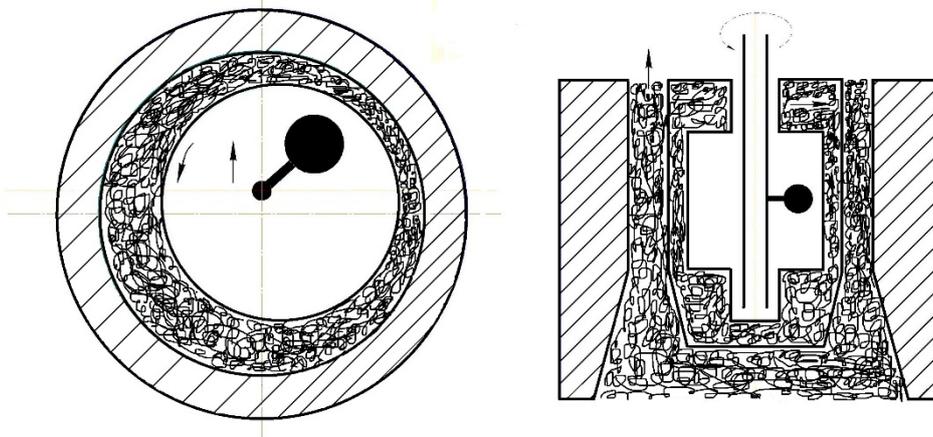


Рис. 2. Варианты реализации волоконного помола на основе вибрационного механизма

Выбор металлических волокон в качестве мелющих тел нам представляется возможным вариантом замены некоторой части аппаратов с шаровой загрузкой, стоимость которой чрезвычайно высока. Следует заметить, что получение тонких волокон (проволоки) значительно проще и дешевле, чем мелких шариков. При этом шаровое измельчение относится к способу помола со свободным движением мелющих тел [2], что не позволяет максимально использовать потенциал измельчения по критерию энергонапряженности и, соответственно, созданию в частицах измельчаемого материала предельных контактных напряжений.

Варианты единичных актов волоконного измельчения приведены на рис. 3. Во всех случаях соседние волокна (проволочки) 1, 2 могут контактировать по своим образующим (рис. 3, а и 3, б), причем в одном случае по линии (рис. 3, в), а во втором – в точке (рис. 3, г). Характер взаимодействия в каждом конкретном случае может быть различным, например, чистое сжатие, сжатие со сдвигом, истирание и т.д. разрушающие усилия между проволочками могут быть не только очень большими, но и достаточно эффективными для получения ультрадисперсных частиц, т.к. для них создаются оптимальные условия разрушения, диспергирования, механоактивации или микрогранулирования.

Несмотря на свою простоту волоконный способ измельчения материалов в плане его практической реализации являет собой на сегодня полную неопределенность. Это естественным образом следует из того, что подобные методы помола ранее никем не рассматривались, что подтверж-

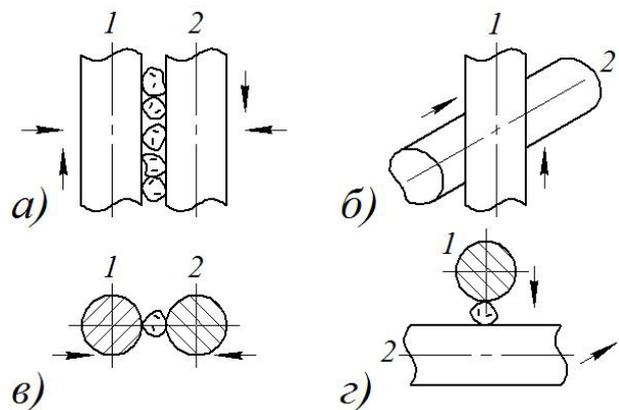


Рис. 3. Варианты единичных актов волоконного измельчения

дено патентным поиском и анализом научно-технической информации.

Во-первых, поведение тонких волокон в обрабатываемой среде твердых частиц и, тем более, в режиме постоянных деформаций совершенно не изучено. Это касается в первую очередь взаимного расположения в пространстве взаимодействующих между собой соседних волоконцев. В качестве выбора их реальных размеров нам представляется, что диаметры отдельных проволочек следует выбирать 0,15–0,50 мм и менее. Во-вторых, не определено, из какого материала и каким образом следует изготавливать волоконные рабочие органы. Обсуждение этого вопроса в таком ракурсе является наиболее актуальным и должно опираться на соответствующие технологии производства мелкосортного профиля. В-третьих, отсутствует информация о процессах износа металлических волокон при взаимодействии с абра-

живными частицами, что особенно актуально для тонких волокон, которые могут перетираться за короткий промежуток времени.

Для определения принципиальной возможности создания волоконной мельницы необходимо разработать и испытать ее опытный образец. Эти работы планируется выполнить на макетном образце, который будет изготовлен из металлического корда – проволоки из стали 70 диаметром  $d=175$  мкм производства Белорусского металлургического завода, г. Жлобин.

В качестве одного из предложений в развитии направления сверхтонкого помола является использование в качестве мелющих тел коротких отрезков проволоки малого диаметра, взаимодействие между которыми под внешним механическим воздействием характеризуется повышенными контактными напряжениями, приводящими к разрушению или накоплению дефектов структуры.

Использование мелющих тел в виде отрезков тонкой проволоки наиболее целесообразно в бисерных мельницах. Главной задачей при этом представляется рубка проволоки. Одним из вариантов ее решения является передавливание сечения проволоки между вращающимися валками с мелкими зубьями. После такой обработки проволоку необходимо разломать на отрезки, например, в простейшем лопастном смесителе. Полученные таким образом мелющие тела в своей аналогии конструктивно подобны конфетам «подушечка». Эффективность помола материалов на основе разработанных устройств и мелющих тел зависит, прежде всего, от организации рабочего процесса и конкретного их использования и может быть очень высокой.

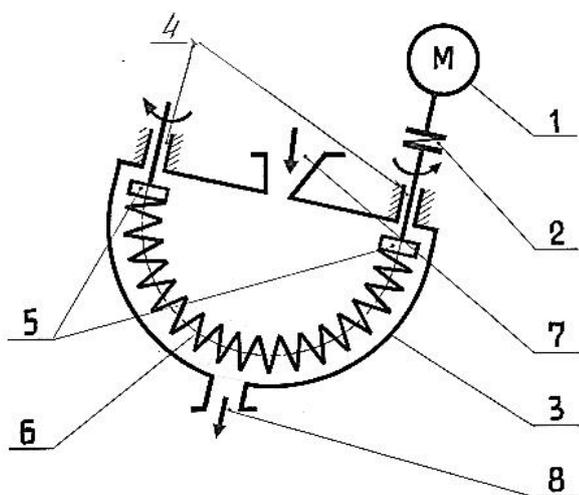


Рис. 4. Кинематическая схема пружинной мельницы

Особого внимания заслуживает использование механизма дополнительного воздействия на мелкие мелющие тела сжимающими силами, создаваемыми витками пружинного рабочего органа. Его задачей является создание максимально возможных контактных напряжений в рабочих зонах. Это возможно на основе идеи перевода измельчения с метода свободного движения мелющих тел к методу их принудительного адаптивного зацемяления.

Осуществить подобную задачу можно на примере пружинной мельницы с мелющей загрузкой в виде мелких шариков диаметром 0,05–0,5 мм. В отличие от традиционных механизмов измельчения между витками на этих мелющих телах реализуются повышенные контактные напряжения, чем обеспечивается сверхтонкий помол. Техническое решение этого метода иллюстрируется рис. 4, 5, на которых соответственно приведены кинематическая схема и общий вид пружинной мельницы [9,10].

Пружинная мельница содержит электродвигатель 1, муфту 2, рабочую камеру 3 в которой на опорных валах 4 посредством узлов крепления 5 смонтирован дугообразно изогнутый пружинный рабочий орган 6, а для загрузки и выгрузки материала предусмотрены патрубки 7, 8.

Работа мельницы производится при заполненной камере 3 исходным материалом, который также содержит от 10 до 50 % по загрузке мелющих тел. При включенном двигателе 1 рабочий орган 6 приводится во вращение и производит разрушение материала как между собственно витками пружины, так и с заклиниванием между ними мелющих шариков. Мелющие тела могут отделять-

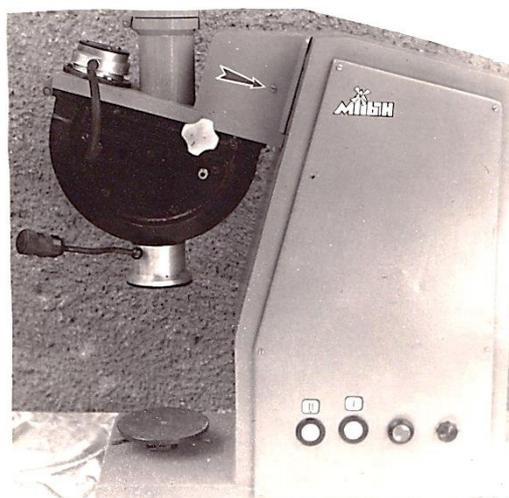


Рис. 5. Общий вид пружинной мельницы

ся от обработанного продукта как посредством сетки, помещаемой в выгрузочный патрубок 8, так и на отдельном посту после выгрузки из аппарата всей находящейся в нем загрузки. Мельница в режиме нанопомола предназначена для работы преимущественно по мокрому способу.

Исходным материалом может быть как достаточно мелкий 0,01 – 0,5 мм сухой продукт, так и суспензия аналогичной крупности. Процесс разрушения материала в пружинной шаровой мельнице происходит в различных ее зонах по-разному. Мелющие тела, свободно движущиеся в камере, измельчают материал, который попадает в зоны их соударений. Мелющие тела, которые захватываются смежными витками пружины рабочего органа 6 и подвергаются сжимающему воздействию, обеспечивают интенсивное измельчение частиц на боковых поверхностях витков.

Интенсивность измельчения материала в пружинных мельницах мелкими мелющими телами потенциально значительно выше, чем в традиционных мельницах, т.к. в межвитковых зонах можно обеспечить предельно допустимые по условиям, прежде всего, прочности по контактным напряжениям измельчающих элементов – витков пружины рабочего органа и мелющих тел.

К достоинствам предлагаемой конструкции мельницы [10] можно отнести ее простоту. При этом присутствие в обрабатываемой среде мелких шариков позволяет отказаться от закрепления пружинного рабочего органа своим свободным кольцом на оси опоры. Шарики будут выполнять роль своеобразных тел качения и дополнительно улучшат условия работы пружины, исключив сопротивление на трение в опоре, которое будет переведено в работу измельчения.

При необходимости в предлагаемой мельнице можно осуществить криогенное измельчение. Для этого в рабочую среду следует вводить хладагент, например, жидкий азот. Повышенная энергонапряженность процесса разрушения, особенно минерального сырья, обеспечивает не только сверхтонкий помол, но и эффект механоактивации, что кардинально изменяет свойства обрабатываемого таким образом продукта.

Потенциал сверхтонкого помола материалов в пружинной мельнице без мелких мелющих тел можно продемонстрировать на примере размола дисульфида молибдена, являющегося одним из наиболее трудно диспергируемых продуктов, показывает возможность обработки не только твердых и хрупких материалов, но и обладающих высокой способностью диспергирования.

Гранулометрические составы в дифференциальной форме исходного дисульфида молибдена и обработанного в течении 2 и 4 часов приведены на рис.6.

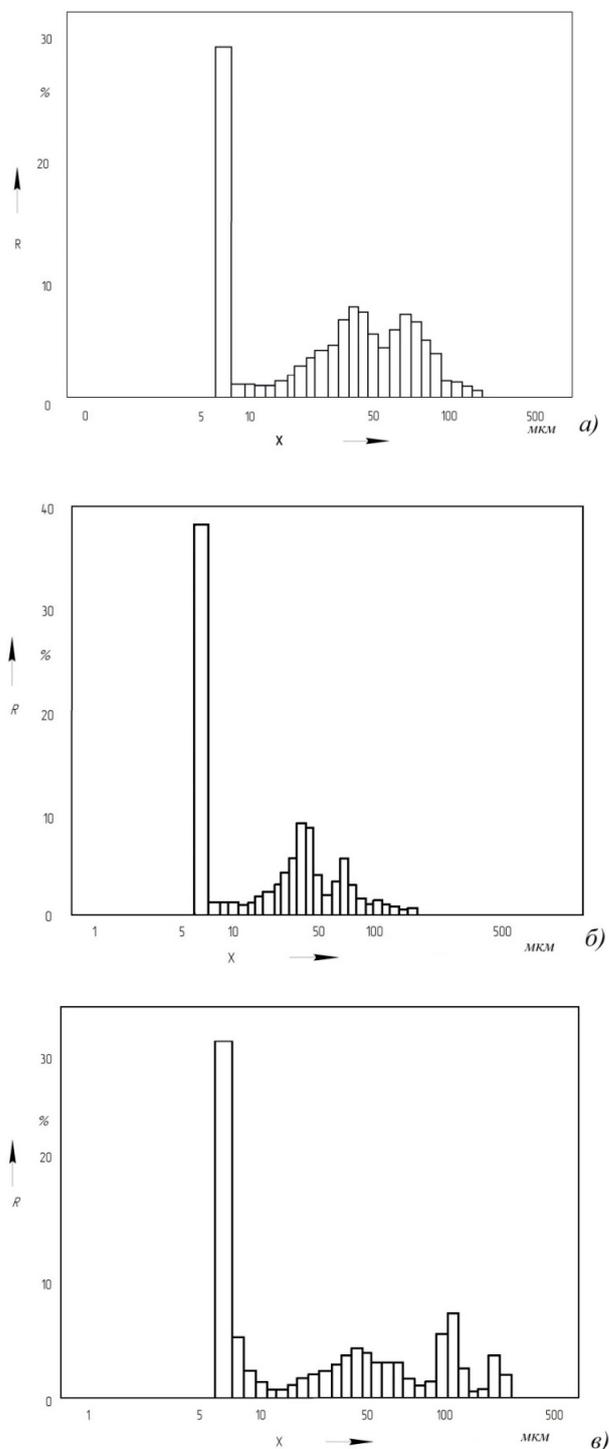


Рис. 6. Гранулометрические составы дисульфида молибдена

Полученные результаты показывают реальную возможность получения в измельченном материале большого количества наночастиц. Заметим, что работ по нанопомолу в аппаратах с пружинными рабочими органами не проводилось.

Введение в помольную камеру пружинной мельницы мелких мелющих тел создает дополнительные механизмы повышения напряжений в частицах измельчаемого материала и, тем самым, позволяет повысить дисперсность готового продукта, в том числе перевести его в разряд нанопродукта. Концепция такого подхода изложена в работах [11,12].

Создание нового эффективного оборудования для комплексной переработки материалов, находящихся в ультрадисперсном состоянии, необходимо для производства продуктов с дополнительными потребительскими свойствами или специального назначения. Область применения аппаратов подобного назначения не только огромна, но и постоянно расширяется, охватывая практически все сферы деятельности человека, начиная от бытовой техники и заканчивая космическими технологиями. Определенную нишу в такой технологической эволюции смогут занять и представленные в данной статье разработки и возможные варианты их развития.

#### *Список используемых источников*

1. Бабенко С.А. Порошки. Получение, свойства, анализ /С.А. Бабенко, А.П. Ильин, В.В. Коробочкин, О. К. Семакина, – Томск; Из-во Томского политехнического университета, 2011, -264 с.
2. Горловский И.А. Оборудование заводов лакокрасочной промышленности /И.А. Горловский, Н.А. Козулин, Ленинград, Химия, Лен. отделение, 1980.–376 с.
3. Вайтехович П.Е. Интенсификация и моделирование процессов диспергирования в поле инерционных сил /П.Е. Вайтехович.– Минск, БГТУ, 2008.– 220с.
4. Зеленков С.Ф. Методы получения наночастиц и нанопорошков /С.Ф. Зеленков, О.В. Пустовалов, Межвуз. сб. статей Машины и аппараты для производства строительных материалов, Белгород, БГТУ, 2006, – С. 70–74.
5. A bead mill for making nanodispersions //Chem/ – Eng (USA) – 2005 – Vol/ 112, № 10 – Р. 17-18.
6. Ревнивцев В.И. Селективное разрушение минералов /В.И. Ревнивцев [и др.], – М.: Недра, 1988, – 286 с.
7. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах – Москва: Изд-во Постмаркет, 2000. – 352 с.
8. Соболев Н.В. Фракталы – геометрия хаоса /Н.В. Соболев, С.С. Климов // Межвуз. сб. статей Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов, Белгород, БГТУ, 2017, – С. 246-250.
9. Патент США №4899941, Устройство для помола, МПК6B02 C19/22 Авт. Сиваченко Л.А., Кургузиков А.М., Моисеенко В.В. 1988, 39с.
10. Сиваченко Л.А. Технологические аппараты адаптивного действия [Монография]/ Л.А. Сиваченко [и др.], Минск, Изд. центр БГУ, 2008.-375с.
11. Сиваченко Л.А. Технологические аппараты для получения наноразмерных композиций /Л.А. Сиваченко, Т.Л. Сиваченко //Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов, Белгород, БГТУ, 2014, – С. 283-286.
12. Патент Казахстана на изобретение №29820 Пружинная шаровая мельница МПК B02c 19/22, Авт. Унаспеков Б.А., Сиваченко Л.А., Голбан Е.Г. и др., Опубл. 15.05.2015, бюл. №5.

УДК 69.05–82–229.384

## МОДУЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ НАСОСОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ ИНЖЕНЕРНЫХ МАШИН

*Котлобай А.Я., Котлобай А.А., Герасимюк А.И., Юнусов Ю.Ш., Быковский Д.В.  
Белорусский национальный технический университет*

Рационализация систем отбора мощности силовой установки на привод ходового оборудования и рабочих органов технологического оборудования многофункциональных машин инженерного вооружения, строительных и дорожных машин осуществляется в направлении применения гидравлических объемных приводов, на базе современных насосов регулируемого объема, обеспечивающих необходимый уровень подачи рабочей жидкости для эффективной работы данного оборудования.

Для привода ходового оборудования при выполнении технологических операций в трансмиссии базового изделия 453 котлованной машины МДК-3 применяется гидрообъемная передача в составе аксиально-поршневых насоса переменной производительности и гидромотора постоянного объема с наклонными блоками цилиндров [1], работающих в закрытом контуре. Для привода ходового оборудования вибрационных катков с гладкими вальцами, грунтовых вибрационных катков, бульдозеров, малогабаритных погрузчиков с бортовым поворотом и других машин широкое распространение получили аксиально-поршневые реверсируемые насосы переменной производительности серии 416 [2], применяемые в закрытом контуре. Насосы серии 416 оснащены наклонной шайбой, угол наклона которой изменяется системой управления насоса. Система управления насоса требует наличия отдельного гидравлического контура управления, совмещенного с контуром подпитки насоса.

В системах отбора мощности на привод технологического оборудования в машинах инженерного вооружения, строительных и дорожных машинах широкое применение получили насосы шестеренные [1], [3], [4].

Инженерная машина разграждения ИМР-2М [1] предназначена для выполнения работ, обеспечивающих продвижение войск через зоны разрушений при инженерном обеспечении боевых действий войск. Машина ИМР-2М состоит из гусеничного шасси и рабочего оборудования, которое приводится в действие гидроприводом, пневмо- и электрооборудованием. Насосная установка гидропривода предназначена для питания гидросистемы рабочей жидкостью и включает в себя шесть насосов НШ-46У или НШ-50А-2, установленных на картере редуктора привода насосов.

Одним из направлений модернизации системы приводов рабочих органов ИМР-2М [5], [6], [7] является применение моноагрегатной насосной установки, состоящей из трех шестеренных насосов с приводом от одного вала: моноагрегат – группа 4+4+3 необходимой комплектации объемом (150+100+50 см<sup>3</sup>). Секция насоса объемом 150 см<sup>3</sup> обеспечивает работу приводов бульдозерного оборудования и колеино минного трала, механизма укладки и поворота башни; секция насоса объемом 100 см<sup>3</sup> – стрелового оборудования с приводов подъема и выдвигания стрелы и привода подъема захвата; секция насоса объемом 50 см<sup>3</sup> – оборудования манипулятора с приводом клещей захвата и поворота захвата. Насосный агрегат может быть произведен предприятиями РБ. Такой подход позволит отказаться от применения материалоемкого редуктора привода насосов при полном сохранении функциональности системы приводов рабочего оборудования. Более глубокой модернизацией системы приводов рабочих органов ИМР-2М является применение насосной установки на базе одного насоса переменной производительности. Использование одного

насоса упростит привод рабочих органов ИМР-2М и позволит поддерживать оптимальный режим работы при изменении условий нагружения рабочих органов.

Аналогичные направления модернизации систем приводов рабочего оборудования могут быть применены у путепрокладчиков БАТ-М, БАТ-2 [8], [9], [10], [11].

Анализ элементной базы систем приводов ходового и рабочего оборудования инженерных машин, проведенный авторами, показал, что насосы шестеренные обладают меньшими значениями удельной массы по сравнению с аксиально-поршневыми насосами [12], [13]. В настоящее время насосы шестеренные переменного рабочего объема не производятся.

В рамках поиска направлений рационализации систем отбора мощности силовой установки на привод ходового и технологического оборудования машин инженерного вооружения авторы рассмотрели возможность создания насосов шестеренных регулируемого эффективного объема для работы в закрытом и открытом гидравлических контурах на основе модульного построения гаммы насосов переменного эквивалентного объема на базе мало материалоемкого шестеренного насоса постоянного объема и гидрораспределительного модуля. При разработке основных концепций формирования гидрораспределительных модулей авторами доработан мало энергоемкий способ регулирования эквивалентного рабочего объема насоса, состоящий в перераспределении потоков рабочей жидкости между магистралями гидросистемы [14], [15]. Разработаны конструктивные схемы насоса шестеренного переменного эквивалентного объема, реверсирующего (рисунки 1, а) и не реверсирующего (рисунки 1, б) поток рабочей жидкости, состоящего из шестеренного насоса постоянного объема и гидрораспределительного модуля, обеспечивающего изменение эквивалентного объема.

Насос шестеренный переменного эквивалентного объема включает шестеренный насос постоянного объема 1 и гидрораспределительный модуль 2. Шестеренный насос постоянного объема 1 содержит шестерни 3, 4, образующие в корпусе насоса полости: всасывающую 5, и напорную 6. Шестерня 3 выполнена заодно с приводным валом 7.

Гидрораспределительный модуль 2 обеспечивает изменение эквивалентного рабочего объема насоса шестеренного, и дополнительно, реверсирование потока рабочей жидкости, позволяющее

работу в закрытом контуре [16] (рис. 1, а), и изменение эквивалентного рабочего объема насоса шестеренного (рис. 1, б), позволяющее работу в открытом контуре. Гидрораспределительный модуль 2 включает неподвижную распределительную втулку 8, закрепленную в корпусе гидрораспределительного модуля, подвижную распределительную втулку 9, установленную по наружной образующей поверхности в неподвижной распределительной втулке 8 с возможностью поворота на угол:  $180^\circ$  для насосов, реверсирующих (рис. 1, а), и  $90^\circ$  – для насосов, не реверсирующих (рис. 1, б) поток рабочей жидкости, и ротор 10, установленный по наружной образующей поверхности в подвижной распределительной втулке 9, и связанный с приводным валом 7 шлицевым соединением.

На цилиндрической поверхности неподвижной распределительной втулки 8 образованы две группы диаметрально противоположных сегментных пазов 11, 12 с центральными углами, составляющими  $\approx 90^\circ$ . Полости сегментных пазов 11 и 12 связаны попарно каналами и трубопроводами 13, 14. Шестеренная насосная установка включается в гидросистему посредством подключения гидравлических магистралей каналами 15, 16 к полостям сегментных пазов 11, 12.

В гидрораспределительном модуле 2 для работы насоса шестеренного в закрытом контуре (рис. 1, а) на цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 9 образованы четыре группы диаметрально противоположных продольных каналов 17, 18. Группы продольных каналов 17 и 18 смещены по оси подвижной распределительной втулки 9 и на угол  $90^\circ$ . Также, на наружной цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 9 образованы две кольцевые канавки 19, 20. На цилиндрической поверхности ротора 10 образованы две кольцевые канавки 21, 22, и, связанные с ними две группы продольных каналов 23, 24, смещенных по оси и равномерно распределенных по образующей цилиндрической поверхности ротора 10. Кольцевые канавки 21, 22 и 19, 20 связаны радиальными каналами подвижной распределительной втулки 9. Всасывающая полость 5 связана каналами и трубопроводом 25 с полостью кольцевой канавки 20. Напорная полость 6 связана каналами и трубопроводом 26 с полостью кольцевой канавки 19.

В гидрораспределительном модуле 2 для работы насоса шестеренного в открытом контуре (рис. 1, б) на цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 9 образованы

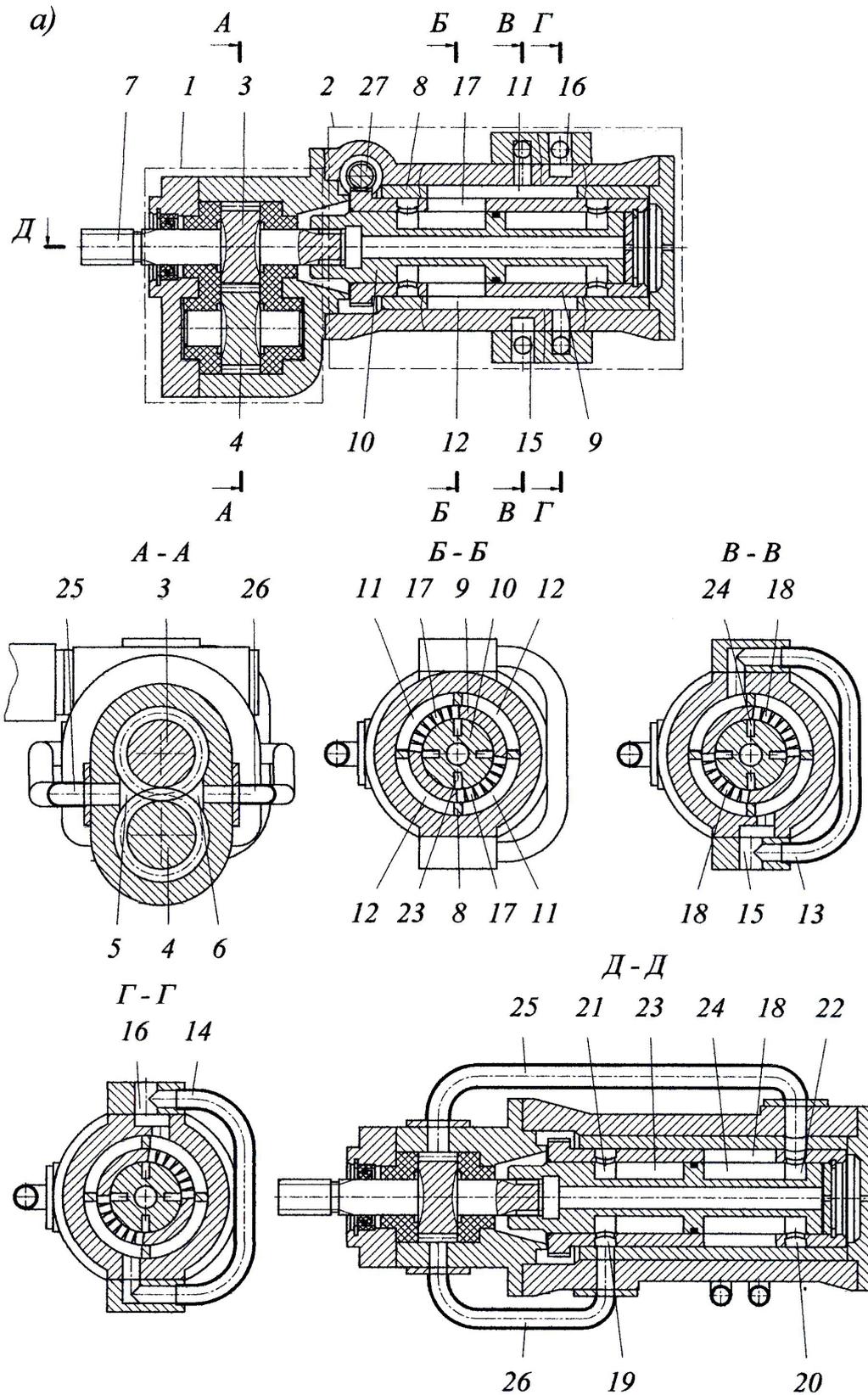


Рис. 1 а. Насос шестеренный, реверсирующий поток рабочей жидкости

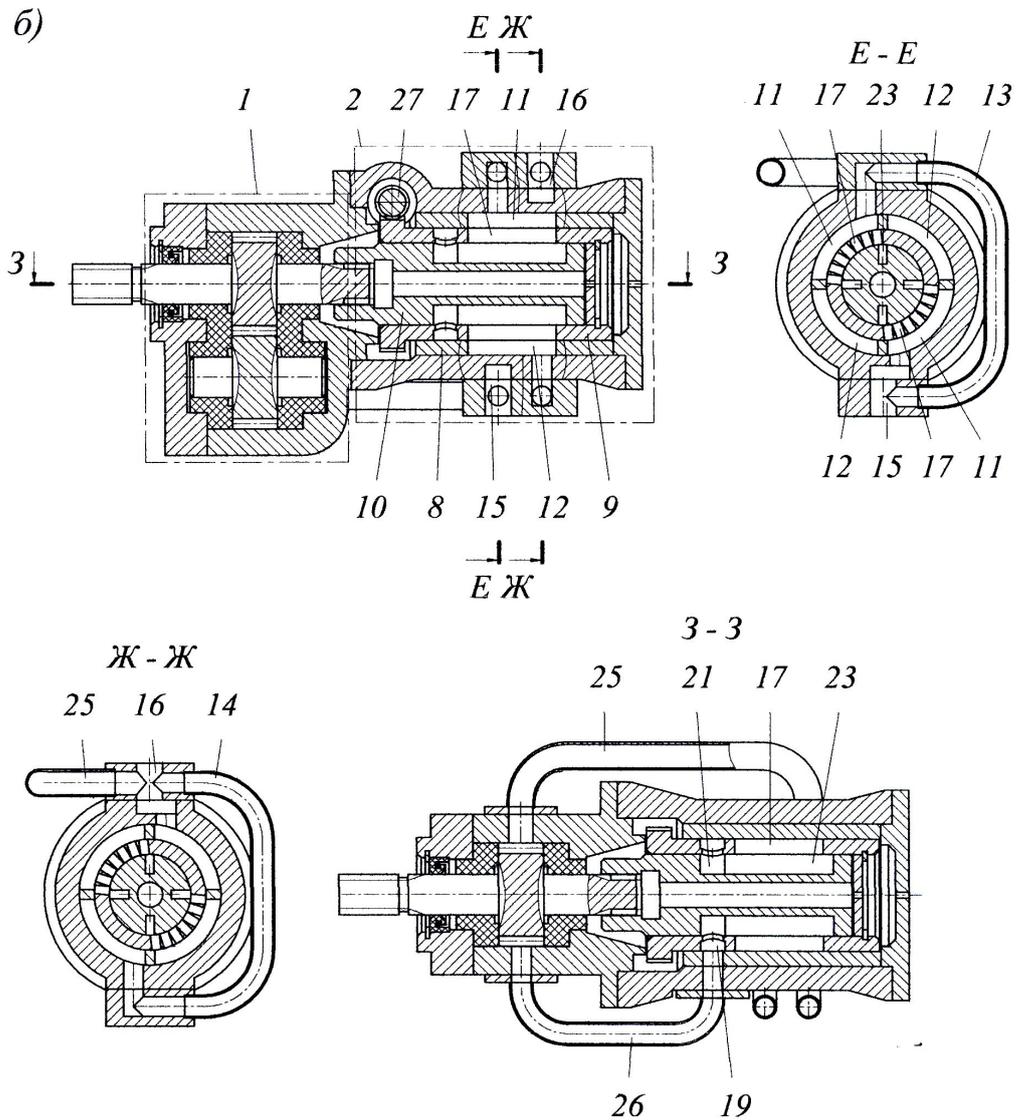


Рис. 1 б. Насос шестеренный не реверсирующий поток рабочей жидкости

две группы диаметрально противоположных продольных каналов 17 и одна кольцевая канавка 19. На цилиндрической поверхности ротора 10 образована кольцевая канавка 21 и группа продольных каналов 23. Всасывающая полость 5 связана каналами и трубопроводом 25 с каналом 15 и полостями сегментных пазов 11. Напорная полость 6 связана каналами и трубопроводом 26 с полостью кольцевой канавки 19.

Для обеспечения поворота подвижная распределительная втулка 9 оснащена зубчатым венцом червячного зацепления. Привод червяка 27 червячного зацепления подвижной распределительной втулки 9 осуществляется автономным двигателем.

При работе насоса шестеренного приводной вал 7 вращается от двигателя (не показан), и приводит во вращение шестерни 3, 4, ротор 10. Во всасывающей полости 5, трубопроводе 25, кольцевых канавках 20, 22, продольных каналах 24 создается разрежение, а в напорной полости 6, трубопроводе 26, кольцевых канавках 19, 21, продольных каналах 23 – напор.

При исходном положении (условно) подвижной распределительной втулки 9 гидрораспределительного модуля 2 насоса шестеренного, работающего в закрытом контуре (рис. 1, а), магистраль гидросистемы, подключенная к каналу 16 является всасывающей, а магистраль, подключенная к каналу 15 – напорной. Рабочая жид-

кость из магистрали гидросистемы по каналу 16, трубопроводу 14 поступает в полости сегментных пазов 12. Далее по продольным каналам 18, 24 рабочая жидкость поступает в полости кольцевых канавок 22, 20, и по трубопроводу 25 во всасывающую полость 5 шестеренного насоса постоянного объема 1. Из напорной полости 6 рабочая жидкость по трубопроводу 26 поступает в полости кольцевых канавок 19, 21, далее по продольным каналам 23, 17 в полости сегментных пазов 11, и по каналу 15, трубопроводу 13 в напорную магистраль гидросистемы. В данном положении подвижной распределительной втулки 9 обеспечивается максимальный эквивалентный объем насоса шестеренного и максимальная подача рабочей жидкости в напорную магистраль, подключенную к каналу 15.

При повороте подвижной распределительной втулки 9 посредством автономного двигателя и червяка 27 на угол  $45^\circ$ , например, по часовой стрелке от исходного положения, половина продольных каналов 17 переместятся в зоны сегментных пазов 12, а половина продольных каналов 17 останется в зоне сегментных пазов 11. Также, половина продольных каналов 18 переместятся в зоны сегментных пазов 11, а половина продольных каналов 18 останется в зоне сегментных пазов 12. При повороте ротора 10 на угол  $45^\circ$  от начала взаимодействия двух каналов 24 с продольными каналами 18 рабочая жидкость из магистрали гидросистемы по каналу 16, трубопроводу 14 поступает в полости сегментных пазов 12, через продольные каналы 18, 24 в полости кольцевых канавок 22, 20. При дальнейшем повороте ротора 10 на угол от  $45^\circ$  до  $90^\circ$  рабочая жидкость из магистрали гидросистемы по каналу 15, трубопроводу 13 поступает в полости сегментных пазов 11, через продольные каналы 18, 24 в полости кольцевых канавок 20, 21. Далее рабочая жидкость поступает по трубопроводу 25 во всасывающую полость 5 шестеренного насоса 1. При дальнейшем повороте ротора 10 два следующих продольных канала 24 взаимодействуют с продольными каналами 18, и цикл повторяется, как описано выше. Всасывание рабочей жидкости осуществляется последовательно из магистралей гидросистемы, подключенных к каналам 16, 15. Из напорной полости 6 рабочая жидкость по трубопроводу 26 поступает в полости кольцевых канавок 19, 21, далее по продольным каналам 23, 17, периодически, в полости сегментных пазов 11, 12, и по каналам 15, 16 в магистрали гидросистемы. Нагнетание рабочей жидкости

осуществляется последовательно в магистрали гидросистемы, подключенные к каналам 15, 16. В данном положении подвижной распределительной втулки 9 суммарно движения рабочей жидкости в магистралях гидросистемы, подключенных к каналам 15, 16 нет. Обеспечивается нулевой эквивалентный объем насоса шестеренного и нулевая подача рабочей жидкости в напорную магистраль.

При последующем повороте подвижной распределительной втулки 9 на угол  $90^\circ$  по часовой стрелке от исходного положения продольные каналы 17, 18 переместятся в зоны сегментных пазов 12, 11. В данном положении подвижной распределительной втулки 9, магистраль гидросистемы, подключенная к каналу 15 является всасывающей, а магистраль, подключенная к каналу 16 – напорной. Рабочая жидкость из магистрали гидросистемы по каналу 15, трубопроводу 13 поступает в полости сегментных пазов 11. Далее по продольным каналам 18, 24 рабочая жидкость поступает в полости кольцевых канавок 22, 20, и по трубопроводу 25 во всасывающую полость 5 шестеренного насоса 1. Из напорной полости 6 рабочая жидкость по трубопроводу 26 поступает в полости кольцевых канавок 19, 21, далее по продольным каналам 23, 17 в полости сегментных пазов 12, и по каналу 16, трубопроводу 14 в напорную магистраль гидросистемы. В данном положении подвижной распределительной втулки 9 обеспечивается максимальный эквивалентный объем насоса шестеренного и максимальная подача рабочей жидкости в напорную магистраль, подключенную к каналу 16. Поток рабочей жидкости реверсирован.

При исходном положении (условно) подвижной распределительной втулки 9 гидрораспределительного модуля 2 насоса шестеренного, работающего в открытом контуре (рис 1, б), магистраль гидросистемы, подключенная к каналу 16 является всасывающей, а магистраль, подключенная к каналу 15 – напорной. Рабочая жидкость из магистрали гидросистемы по каналу 16, трубопроводу 14 поступает в полости сегментных пазов 12, запертые в данном положении подвижной распределительной втулки 9, и по трубопроводу 25 – во всасывающую полость 5 шестеренного насоса 1. Из напорной полости 6 рабочая жидкость по трубопроводу 26 поступает в полости кольцевых канавок 19, 21, далее по продольным каналам 23, 17 в полости сегментных пазов 11, и по каналу 15, трубопроводу 13 в напорную магистраль гидросистемы. В данном положении под-

вижной распределительной втулки 9 обеспечивается максимальный эквивалентный объем насоса шестеренного и максимальная подача рабочей жидкости в напорную магистраль, подключенную к каналу 15.

При повороте подвижной распределительной втулки 9 посредством автономного двигателя и червяка 27 на угол  $45^\circ$ , половина продольных каналов 17 переместятся в зоны сегментных пазов 12, а половина продольных каналов 17 останется в зоне сегментных пазов 11. При повороте ротора 10 на угол  $45^\circ$  от начала взаимодействия двух каналов 23 с продольными каналами 17 рабочая жидкость из магистрали гидросистемы по каналу 16, трубопроводу 25 поступает во всасывающую полость 5 шестеренного насоса 1. Из напорной полости 6 рабочая жидкость поступает в полости кольцевых канавок 19, 21, далее по продольным каналам 23, 17 в полости сегментных пазов 11, и по каналу 15, трубопроводу 13 в напорную магистраль гидросистемы. При дальнейшем повороте ротора 10 на угол от  $45^\circ$  до  $90^\circ$  рабочая жидкость из напорной полости 6 поступает по продольным каналам 23, 17 в полости сегментных пазов 12, и по каналу 16, трубопроводу 25 во всасывающую полость 5 шестеренного насоса 1. Всасывание рабочей жидкости осуществляется последовательно из магистрали гидросистемы, подключенной к каналу 16 (условно половина оборота ротора 10) и из напорной полости 6 шестеренного насоса 1. Всасывания рабочей жидкости из магистрали, подключенной к каналу 15 нет. Соответственно нагнетание рабочей жидкости осуществляется последовательно в магистрали гидросистемы, подключенные к каналам 15, 16. В данном положении подвижной распределительной втулки 9 обеспечивается эквивалентный объем насоса шестеренного равный половине конструктивного и подача рабочей жидкости в напорную магистраль, равная половине номинального значения.

При повороте подвижной распределительной втулки 9 на  $90^\circ$  продольные каналы 17 переместятся в зоны сегментных пазов 12. Поток рабочей жидкости из напорной полости 6, поступает в полости кольцевых канавок 19, 21, продольных каналов 23, по каналам 17 в полости сегментных пазов 12, и по каналу 16, трубопроводу 25 во всасывающую полость 5. В полости сегментных пазов 11 и напорную магистраль гидросистемы, подключенную к каналу 15, рабочая жидкость не поступает. Эквивалентный рабочий объем насоса шестеренного минимальный – нулевой.

Реверсирование потока рабочей жидкости в данном исполнении гидрораспределительного модуля 2 невозможен, поскольку канал 16 постоянно связан с всасывающей полостью 5.

При дальнейшем повороте подвижной распределительной втулки 9 каналы 17 возвращаются в зону сегментных пазов 11, и эквивалентный объем насоса шестеренного увеличивается до конструктивного значения.

Изменяя положение подвижной распределительной втулки 9 в диапазоне  $0 \div 90^\circ$  посредством автономного двигателя и червяка 27 добиваемся плавного изменения эквивалентного объема насоса шестеренного и параметров подачи рабочей жидкости в напорную магистраль гидросистемы в диапазоне от нулевого до максимального значений, и, при усложнении конструкции распределительного модуля 2 – реверсирования потока рабочей жидкости насоса шестеренного.

Предлагаемые подходы к созданию шестеренных насосов переменного эквивалентного объема позволяют реализацию модульного принципа построения, состоящего в данном случае в том, что насос шестеренный постоянного объема 1 и распределительный модуль 2 производятся в отдельных корпусах, обеспеченных фланцами для соединения. Данное направление создания шестеренных насосов переменного эквивалентного объема не требует существенного пересмотра сложившихся технологий производства насосов.

Модульный подход позволит создавать типоразмерные ряды регулируемых насосов на базе типоразмерного ряда шестеренных насосов постоянного объема и типоразмерных рядов гидрораспределительных модулей предлагаемых конструкций.

Реализация модульного принципа построения насосов позволит создавать гидромашины переменного эквивалентного объема на базе шестеренных насосов с внутренним зацеплением, героторных и планетарно-роторных гидромашин, аксиально-поршневых гидромашин с подвижным и неподвижным блоком цилиндров, пересмотреть подходы к регулированию радиально-поршневых гидромашин, пластинчатых насосов и т.д.

Возможно создание распределительных модулей, оснащенных автономным приводом ротора, не связанным с агрегатами привода насоса постоянного объема. Автономный гидрораспределительный модуль подключается в гидросистему насоса постоянного объема, обеспечивая регулирование его эффективного объема.

*Литература*

1. Олышанский, А.В. Машины инженерного вооружения. Часть I. Общая характеристика. Машины для преодоления разрушений и механизации земляных работ: учебник для курсантов военных училищ инженерных войск / А.В. Олышанский, Н.Ф. Федотов, Н.Г. Бородин и др.; Под ред. А.В. Олышанского. – М.: Военное издательство, 1986 – 422 с.
2. Каталог гидравлики. ОАО «Пневмостроймашина». Издание №2. – Екатеринбург, 2005. – 134 с.
3. Машины инженерного вооружения: учебное пособие для студентов и курсантов учреждений высшего образования по направлению специальности 1-36 11 01-04 «Подъемно-транспортные, строительные дорожные машины и оборудование (управление подразделениями инженерных войск)»: в 3 ч. Ч. 1: Общая характеристика машин инженерного вооружения, средства инженерной разведки, устройства минно-взрывных заграждений и преодоления заграждений / С. В. Кондрачев, А. Я. Котлобай, А. М. Витковский, А. Ю. Рогов; под общ. ред. Ю. Ш. Юнусова. – Минск: БНТУ, 2015. – 376 с.
4. Машины инженерного вооружения: учебное пособие для студентов и курсантов учреждений высшего образования по направлению специальности 1-36 11 01-04 «Подъемно-транспортные, строительные дорожные машины и оборудование (управление подразделениями инженерных войск)»: в 3 ч. Ч. 2: Мостовые, мостостроительные и переправочные средства / С. В. Кондрачев, А. Я. Котлобай, А. М. Витковский, А. А. Барташевич; под общ. ред. Ю. Ш. Юнусова. – Минск: БНТУ, 2016. – 353 с.
5. Котлобай, А.Я. Модернизация систем приводов рабочего оборудования военно-инженерной техники / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, Ю.Ш. Юнусов, В.Ф. Тамело // Новости науки и технологий. – 2014. №3-4 (30-31). – С. 68–75.
6. Котлобай, А.Я. Развитие и модернизация белорусско-российской военной инженерной техники / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, Ю.Ш. Юнусов, В.Ф. Тамело // Инженер-механик. – 2014. №4 (65). – С. 4–9.
7. Гидравлическая система привода рабочего оборудования инженерной машины разграждения: пат. 19790 С1 Респ. Беларусь, МПК F 16H 61/40 (2010.01) / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № а 20130832; заявл. 2013.07.08; опубл. 2016.02.28 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 1.
8. Котлобай, А.Я. Формирование направлений модернизации землеройных машин / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело // Новости науки и технологий. 2013. № 1–2 (24–25). С. 8–15.
9. Котлобай, А.Я. Направление модернизации систем приводов рабочего оборудования инженерной техники / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело // Инженер-механик. – 2015. №1 (66). – С. 16–21.
10. Гидравлическая система привода рабочего оборудования путепрокладчика: пат. 9327 U Респ. Беларусь, МПК F 16H 61/40 (2010.01) / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело, С.А. Позняк; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № u 20121183; заявл. 2012.12.28; опубл. 2013.06.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 3.
11. Гидравлическая система привода рабочего оборудования путепрокладчика: пат. 9925 U Респ. Беларусь, МПК F 16H 61/40 (2010.01) / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело, К.Б. Щебетов, Е.К. Щебетова, О.А. Плиговка, А.У. Козырь, А.А. Клименко; заявитель Минский государственный высший авиационный колледж. – u 20130637; заявл. 2013.07.3; опубл. 2014.02.28 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 1.
12. Котлобай, А.Я. Снижение материалоемкости приводов рабочего оборудования траншейно-котлованной машины / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, А.И. Герасимюк, В.Ф. Тамело, В.В. Грубеляс // Инженер-механик. – 2017. №1 (74). – С. 10–17.
13. Котлобай, А.Я. Обоснование целесообразности применения гидропривода рабочего оборудования траншейно-котлованной машины / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, М.М. Гришкевич, В.Ф. Тамело, А.И. Герасимюк // Вестник военной академии Республики Беларусь. – 2017. № 2 (55). – С. 108–115.
14. Башта, Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем. Учебник для вузов / Т. М. Башта. – М.: Машиностроение, 1974. – 606 с.
15. Котлобай, А.Я. Фазовое регулирование насосных установок машин инженерного вооружения / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В. Ф. Тамело // Инженер-механик. – 2017. №4 (77). – С. 10–17.
16. Петров, В. А. Гидрообъемные трансмиссии самоходных машин / В. А. Петров. – М.: Машиностроение, 1988. – 248 с.

УДК 662.93

# НОВЫЙ МЕТОД СЖИГАНИЯ ТВЕРДЫХ БИОТОПЛИВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКТИВНЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ

Е.А. Пицуха<sup>1</sup>, Ю.С. Теплицкий<sup>1</sup>, Э.К. Бучилко<sup>1</sup>, В.А. Дубина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Беларусь

<sup>2</sup>ОАО «ГСКБ», Брест, Беларусь

## Аннотация

Выполнены теоретико-экспериментальные исследования сжигания древесных пеллет и влажных древесных отходов повышенной зольности с использованием активных гидродинамических режимов, создаваемых кипящим слоем и тангенциальным вводом вторичного дутья в надслоевое пространство в модельной циклонно-слоевой топке с КС мощностью 25 кВт и аналогичной топке промышленного масштаба опытного образца водогрейного котла мощностью 2 МВт.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Проблема рационального использования энергоресурсов является одной из глобальных проблем человечества. Ограниченные запасы ископаемых топлив, ухудшение экологической обстановки создают необходимость широкого вовлечения в энергобаланс возобновляемых энергоресурсов, к которым, прежде всего, относятся твердые топлива биологического происхождения (древесное топливо, торф, растительные отходы). Для сжигания таких топлив в настоящее время в основном применяются котлы, оснащенные топочными устройствами с неподвижным и псевдоожиженным (кипящим) слоями. Последние характеризуются рядом преимуществ [1]: высокая изотермичность, простота организации низкотемпературного (800-900 °С) сжигания, связанная с высокими коэффициентами теплообмена кипящего слоя с погруженными поверхностями нагрева к стенкам топки, что позволяет минимизировать выбросы NOx и SO<sub>2</sub> в атмосферу. Тем не менее, широкому внедрению топок с кипящим слоем мешают и некоторые недостатки этого метода сжигания, связанные со спецификой гидродинамики развитого кипящего слоя [2]. Наличие довольно интенсивного выноса мелких частиц топлива и инертного материала в надслоевое пространство при подъеме газовых пузырей в слое заставляет значительно увеличивать вертикальные габариты котла для предотвращения уноса частиц топлива и инерта из топки. Несовершенный контакт окислителя (воздуха) с топливными частицами, связанный с

особенностями двухфазной структуры кипящего слоя [2], приводят к необходимости использования режимов сжигания с повышенными избытками воздуха, снижающими КПД котла. Указанные недостатки использования метода псевдоожижения заставляют исследователей искать пути совершенствования и повышения эффективности котлов с топками кипящего слоя.

Одним из перспективных методов сжигания твердых биотоплив, разработанных в ИТМО НАН Беларуси, является метод двухстадийного сжигания в циклонно-слоевой топке с кипящим слоем. Схема топки приведена на рис. 1.

В таком топочном устройстве слоевое сжигание топлива совмещается с вихревым дожиганием вынесенных мелких фракций и газообразных горючих продуктов в надслоевом пространстве. Основными достоинствами такой конструкции являются: качественное вихревое смесеобразование летучих и продуктов неполного горения с вторичным воздухом, подаваемым тангенциально в надслоевое пространство; значительное снижение уноса мелких частиц из-за действия центробежной силы; заметное уменьшение надслоевого пространства и, следовательно, габаритов топки. Это позволяет реализовать топочный процесс с более высоким тепловым напряжением топочного объема, улучшить глубину выгорания топлива и, за счет снижения коэффициента избытка воздуха, повысить КПД котла, уменьшить капитальные и эксплуатационные затраты на тягодутьевое оборудование [3].

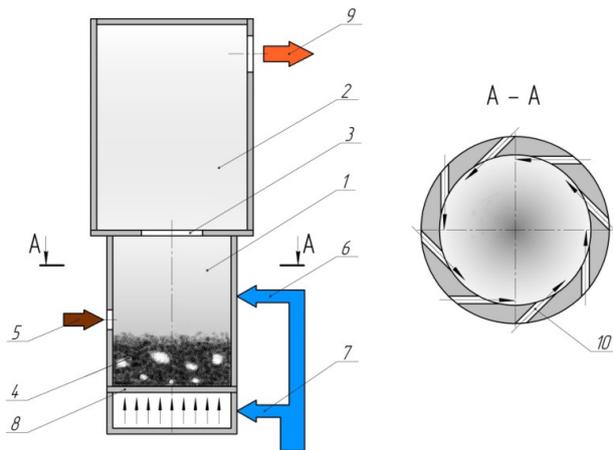


Рис.1. Схема циклонно-слоевой топки:

1 – камера сгорания (циклонно-слоевая камера),  
2 – камера догорания, 3 – пережим, 4 – кипящий слой (инертный материал с топливом), 5 – ввод топлива, 6 – ввод вторичного воздуха (тангенциальное дутье), 7 – ввод первичного воздуха (донное дутье), 8 – газораспределительная решетка, 9 – продукты сгорания; 10 – сопла ввода вторичного воздуха

Как показывают экспериментальные исследования, при использовании такой схемы сжигания, коэффициент избытка воздуха за топкой можно снизить до нехарактерных небольших для слоевых топков значений  $\alpha = 1,15 - 1,25$  с одновременным обеспечением низкого химического недожога ( $q_3$ ) и нормативных требований [СТБ] по выбросам вредных веществ в атмосферу. По сути, разработанное топочное устройство является вихревой двухступенчатой горелкой для высокоинтенсивного сжигания твердого биотоплива с применением технологии кипящего слоя. В первой камере горелочного устройства происходит термохимическая конверсия твердого топлива, смесительные процессы и его частичное выгорание, а во второй камере окончательное дожигание горючих продуктов. В зависимости от качества топлива за счет снижения коэффициента избытка воздуха КПД котельного агрегата по сравнению котлами, оснащенными традиционными слоевыми топками можно увеличить примерно на 3-5%. Максимальная единичная мощность циклонно-слоевых топков с кипящим слоем оценивается на уровне  $\sim 10$  МВт.

## 2. ГИДРОДИНАМИКА ЦИКЛОННО-СЛОЕВОЙ КАМЕРЫ С КИПАЩИМ СЛОЕМ

Экспериментальная установка БИ-1М с циклонно-слоевой топкой показана на рис. 2. На

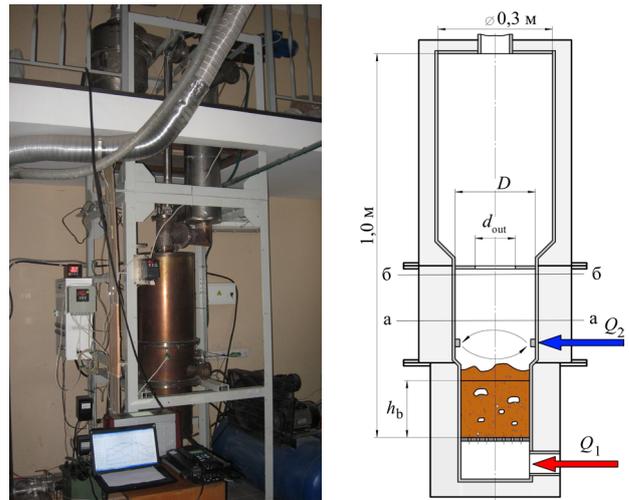


Рис. 2. Экспериментальная установка БИ-1М и схема ее циклонно-слоевой топки:

1 – стационарный зернистый слой; 2, 3 – кипящий слой

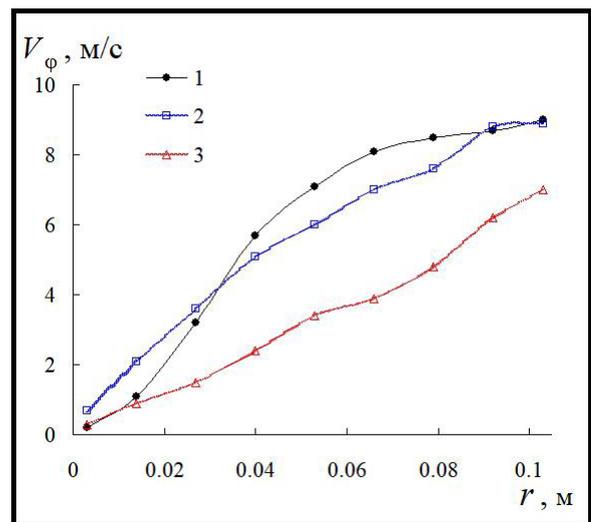


Рис. 3. Тангенциальная скорость в циклонно-слоевой топке,  $z = 0,325$  м,  $d_{out}/D = 0,5$ ,  $\varphi = 0,35$  (доля донного дутья),  $V_n = 20,4$  м/с,  $Q = 60$  м<sup>3</sup>/ч (30 0С), 2 –  $N = 1,8$ ; 3 – 4,9

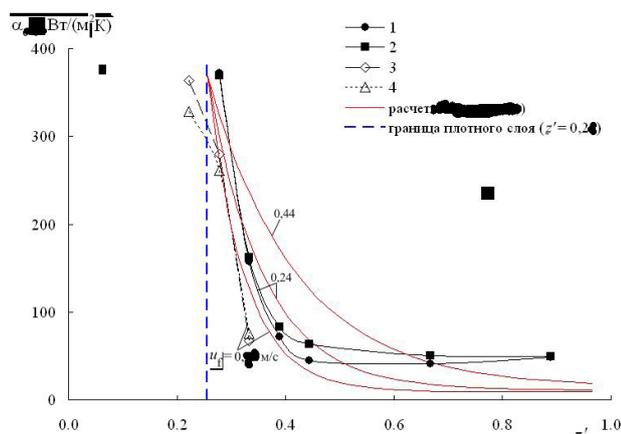
рис. 3 приведено распределение тангенциальной скорости ( $V_\varphi$ ) в горизонтальном сечении «а-а» (высота над газораспределительной решеткой = 0,325 м) для разных чисел псевдооживления. Снижение уровня тангенциальной скорости вызвано влиянием уноса частиц из кипящего слоя.

## 3. СЛОЖНЫЙ ТЕПЛОБМЕН В ЦИКЛОННО-СЛОЕВОЙ КАМЕРЕ

Особенности сложного теплообмена в циклонно-слоевой камере с КС связаны, в первую

очередь, с наличием существенной конвективно-кондуктивной составляющей коэффициента теплоотдачи, обусловленной закруткой потока и выбрасываемыми из кипящего слоя твердыми частицами. Были выполнены измерения коэффициента сложного теплообмена в циклонно-слоевой камере методом регулярного теплового режима при холодной продувке («холодный» режим) и в режиме сжигания пеллетного древесного топлива («горячий» режим). На рис. 4 показано распределение конвективно – кондуктивной составляющей коэффициента теплоотдачи ( $\alpha_{с-с}$ ) вдоль оси циклонно-слоевой камеры в «холодном» режиме на радиусе с  $r' = 0$  и  $0,89$  при различной доле донного дутья. На этом же рисунке показаны расчетные графики коэффициента теплоотдачи в надслоевом пространстве кипящего слоя без закрутки потока, определенные по зависимости, приведенной в [4]:

$$\frac{\alpha_{с-с} - \alpha_{conv}}{\alpha_b - \alpha_{conv}} = \exp\left(-0,8 \frac{z - h_b}{h_b} Fr^{-1/3}\right) \quad (1)$$



1, 3-  $r' = 0$ ; 2, 4 -  $r' = 0,89$

Рис. 4. Распределение коэффициента теплоотдачи в циклонно-слоевой камере с кипящим слоем вдоль вертикальной координаты:  $d_{out}/D = 0,4$ ,  $f_n = 0,00106 \text{ м}^2$  – площадь выходного сечения сопел,  $Q = 40 \text{ м}^3/\text{ч}$  (1 – 4),  $\varphi = 0,55$  (1, 2),  $0,35$  (3, 4),  $N = 5,1$  (1, 2),  $3,3$  (3, 4)

Из этого рисунка видно, что коэффициент теплоотдачи в надслоевом пространстве камеры с закруткой потока заметно превышает этот коэффициент для камеры без закрутки начиная с высоты  $z' = 0,45$  и  $0,55$  соответственно. Это связано с более высоким коэффициентом конвективной теплоотдачи при закрутке потока. Установлено, что в «холодном» режиме коэффициент тепло-

отдачи слабо зависит от безразмерного диаметра пережима для реализованных в эксперименте значений  $d_{out}/D = 0,4 - 0,7$ , а в области выше зоны всплесков практически не зависит от доли донного дутья в исследованном диапазоне  $\varphi = 0,35 - 0,55$ . В наибольшей степени коэффициент теплоотдачи зависит от расхода воздуха через камеру. В «горячем» режиме при горении топлива доля кондуктивно-конвективной составляющей в суммарном коэффициенте теплоотдачи к шаровому зонду в зависимости от его радиального положения оценивается в  $40 - 70\%$ .

#### 4. ИССЛЕДОВАНИЕ СЖИГАНИЯ ТВЕРДЫХ БИОТОПЛИВ В ЦИКЛОННО-СЛОЕВЫХ ТОПКАХ РАЗЛИЧНОГО МАСШТАБА

##### 4.1 Экспериментальные исследования температуры и концентрации газов в модельной топке установки БИ-1М ( $d_{out}/D = 0,5$ ).

В циклонно-слоевой топке этой установки сжигались древесные пеллеты с рабочей влажностью  $W_p = 10\%$  и низкой теплотой сгорания  $Q_p = 16,7 \text{ МДж/кг}$ . Тепловыделение в топке составляло  $N_{ch} = 25 \text{ кВт}$ , расход топлива  $B = 5,3 \text{ кг/ч}$ , коэффициент избытка воздуха  $\alpha = 1,25$ , общий расход воздуха на горение  $Q = 31 \text{ м}^3/\text{ч}$  ( $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ), доля донного дутья  $\varphi = 0,35$ . Тепловое напряжение объема циклонно-слоевой топки составляло  $q_v = 0,52 \text{ МВт/м}^3$ , камеры сгорания  $q_{v1} = 2,3 \text{ кВт/м}^3$  и зеркала горения  $q_F = 0,98 \text{ МВт/м}^2$ . В качестве инертного наполнителя кипящего слоя использовался кварцевый песок размером  $d_s = 0,2 - 0,28 \text{ мм}$ . Высота слоя песка в неподвижном состоянии была  $h_b = 0,11 \text{ м}$ . Температура кипящего слоя составляла  $T_b = 850 - 890 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Были выполнены измерения температуры и концентраций газовых компонент ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ) с помощью газоанализатора MRU «SYNGAS» в двух горизонтальных сечениях камеры сгорания топки - «а-а» ( $z = 0,325 \text{ м}$ ) и «б-б» ( $z = 0,44 \text{ м}$ ). Графики распределения рассматриваемых параметров приведены на рис. 5, 6. На этих же графиках показаны температура и концентрация газов (сухие газы), полученные при численном моделировании (постановку задачи см. ниже).

Из рис. 5 видно, что температура в горизонтальном сечении камеры сгорания неравномерна. На периферии камеры температура газов более низкая и имеет значения  $540 - 680 \text{ }^\circ\text{C}$ . В центральной области температура достигает значений  $890 - 950 \text{ }^\circ\text{C}$ . Концентрации газовых компонент

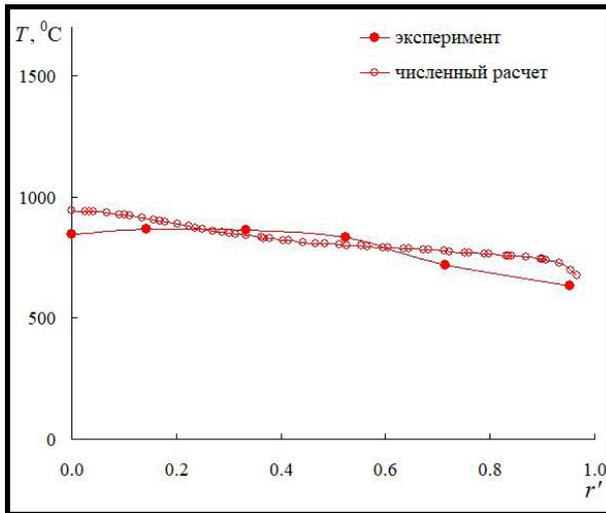


Рис. 5. Температура в камере сгорания циклонно-слоевой топке экспериментальной установки БИ-1М в верхнем горизонтальном сечении «б-б» ( $z = 0,44$  м, отсчет от газораспределителя)

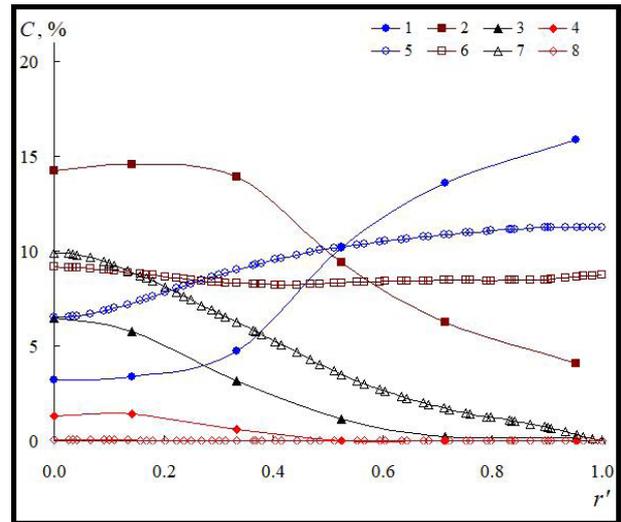


Рис. 6. Объемная концентрация газов в камере сгорания циклонно-слоевой топке экспериментальной установки БИ-1М ( $z = 0,44$  м): 1, 5 –  $O_2$ ; 2, 6 –  $CO_2$ ; 3, 7 –  $CO$ ; 4, 8 –  $CH_4$  (1 – 4) – эксперимент, (5 – 8) – численный расчет

(рис. 6) также имеет неравномерный характер в радиальном направлении. На периферии камеры концентрация кислорода ( $O_2$ ) имеет максимальные значения (13 – 17%), а в центральной области снижается до минимума 3 – 5%. Концентрация горючих газовых компонент ( $CO$ ,  $CH_4$ ) наоборот, в центральной области имеет максимальные значения, а на периферии значения близкие к нулю.

#### 4.2 Численное моделирование сжигания твердого биотоплива в топке экспериментальной установки БИ-1М.

Геометрическая модель расчетной области топки и сетка элементов показаны на рис. 7. Задача решалась в осесимметричной постановке с использованием программного комплекса «Fluent». Расчетная сетка содержала около 17 тыс. треугольных элементов. На стенках, ограничивающих расчетную область задавалась шероховатость – 0,1 мм, температура стенок на основании данных измерений принималась – 400 °С их степень черноты  $\epsilon_w = 0,85$ . В выходном отверстии камеры задавалась избыточное статическое давление равное нулю ( $P_{st,out} = 0$ ). На стенках, образующих пережим, тепловой поток принимался равным нулю ( $q_w = 0$ ). На границе, соответствующей расположению сопел ввода воздуха тангенциального дутья задавался массовый расход воздуха –  $G_2 = 0,00656$  кг/с ( $T_2 = 30$  °С) и эквивалентная тангенциальная скорость –  $V_{\phi,eqv}$ .

На нижней границе области, являющейся поверхностью кипящего слоя задавался массовый

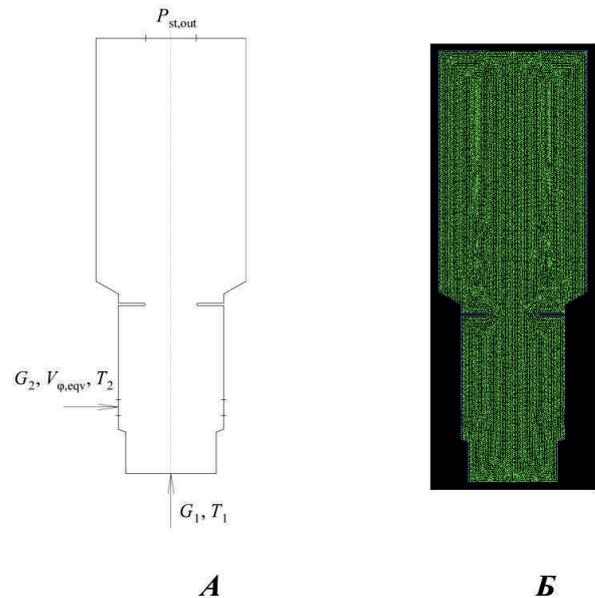


Рис. 7. Геометрическая модель (а) и расчетная сетка (б) топочного объема установки БИ-1М

расход продуктов газификации  $G_1$ . Состав продуктов газификации на выходе из кипящего слоя определялся в соответствии с равновесной стехиометрической моделью газификации топлива в КС [5], в которой учитывалось байпасирование части воздуха донного дутья (20 – 35%) с пузырями. В кипящем слое рассматривалось реагирование 7-и газовых компонент –  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $H_2O$ ,  $CH_4$ ,  $N_2$ ,  $O_2$ . В результате расчета получен

массовый расход продуктов газификации, объемный состав и их температура на выходе слоя:  $G_1 = 0,00496$  кг/с,  $\text{CO} - 17,8\%$ ,  $\text{CO}_2 - 8,8\%$ ,  $\text{H}_2 - 14,6\%$ ,  $\text{H}_2\text{O} - 7,7\%$ ,  $\text{CH}_4 - 1,2\%$ ,  $\text{N}_2 - 47,8\%$ ,  $\text{O}_2 - 2,1\%$ ,  $T_b = 835$  °С. В объеме циклонно-слоевой топке принимались следующие реакции горения:  $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$ ;  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$

+  $\text{CO}_2$ . Использовалась стандартная «к-ε» модель турбулентности. Для расчета скорости реагирования принималась модель Магнуссена - «Eddy Dissipation Model» [6].

Распределение температуры и концентрации монооксида углерода (CO) в топочном объеме, полученное в результате численного моделирования показано на рис. 8. Как и в эксперименте, температура и концентрация газов в горизонтальных сечениях камеры сгорания в основном имеет неравномерный характер.

На рис. 8, б и в сравнивается концентрация (CO) в объеме топке при наличии пережима (б) и без пережима (в). Видно, что в топке с пережимом процесс выгорания CO завершается раньше, чем без пережима. В результате расчета получена температура на выходе топке – 716 °С близкая к экспериментальным значениям – 700–740 °С.

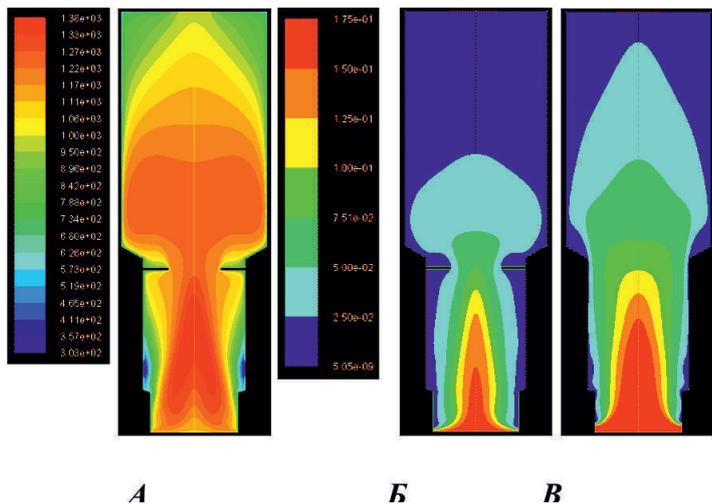


Рис. 8. Распределение температуры (K) (а) и объемная концентрация монооксида углерода (CO) в топке экспериментальной установки:  
а, б –  $d_{out}/D = 0,5$ , в –  $1,0$

**4.3 Экспериментальные и численные исследования сжигания твердого биотоплива в циклонно-слоевой топке котла мощностью 2 МВт (рис. 9)**

В топке опытного образца промышленного котла номинальной мощностью 2 МВт сжигались влажные и высокозольные древесных отходы (древесина, собранная при уборке городской территории,  $W_p = 44\%$ ,  $A_p = 11\%$ ,  $Q_n^p = 7,5$  МДж/кг). Измерения температуры и концентрации газов проводилось в четырех горизонтальных сечениях камеры сгорания и камеры догорания – «а, б, в, г» (рис. 9). Сечения располагались на расстоянии  $z = 0,95$  м; 1,4; 1,9; 2,8 над верхней частью газораспределительной решетки, соответственно. В процессе измерений тепловыделение в топке составляло  $N_{ch} = 1,8$  МВт (76% от номинальной мощности). В этом режиме тепловое напряжение объема топке было  $q_V = 0,5$  МВт/м<sup>3</sup>, камеры сгорания  $q_{V1} = 1,4$  МВт/м<sup>3</sup> и зеркала горения  $q_F = 1,7$  МВт/м<sup>3</sup>. Результаты измерений приведены на рис. 10–12.

Распределение температуры и концентрации газов в камере сгорания топке с КС промышленного котла 2 МВт, как и для циклонно-слоевой топке малого масштаба ( $D = 0,21$  м) имеет

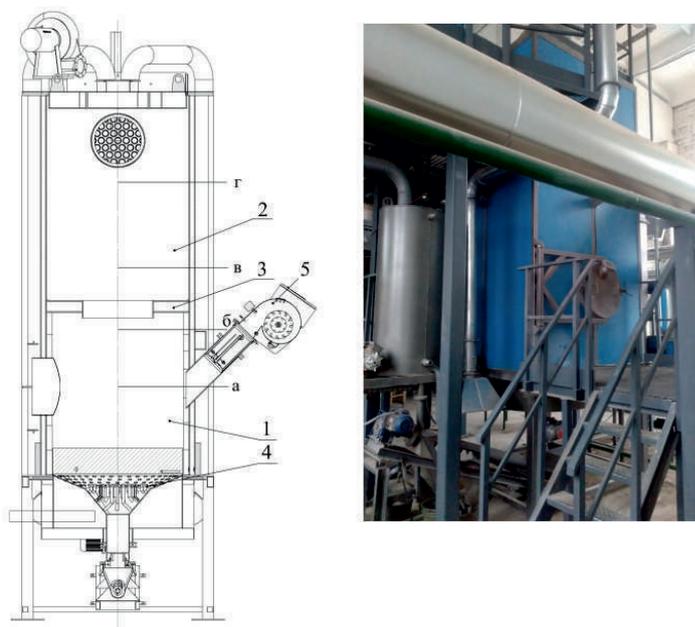


Рис. 9. Циклонно-слоевая топка котла мощностью 2 МВт ( $d_{out}/D = 0,55$ ):

1 – камера сгорания, 2 – камера догорания, 3 – пережим, 4 – газораспределитель, 5 – растопочная горелка

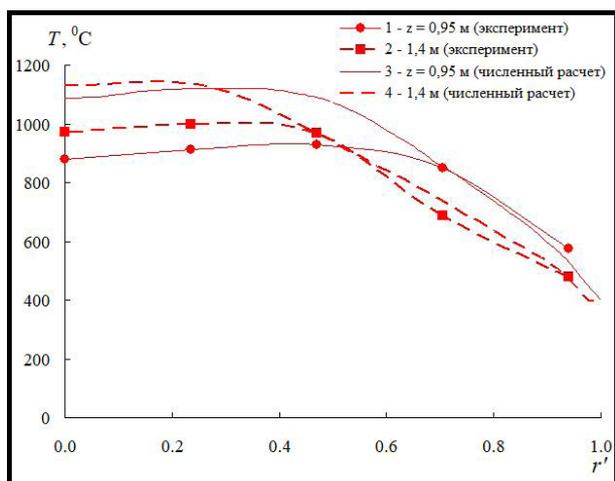


Рис. 10. Температура в камере сгорания циклонно-слоевой топке котла мощностью 2 МВт  
1, 5 –  $O_2$ ; 2, 6 –  $CO_2$ ; 3, 7 –  $CO$ ; 4, 8 –  $CH_4$  (1 – 4) – эксперимент, (5 – 8) – численный расчет

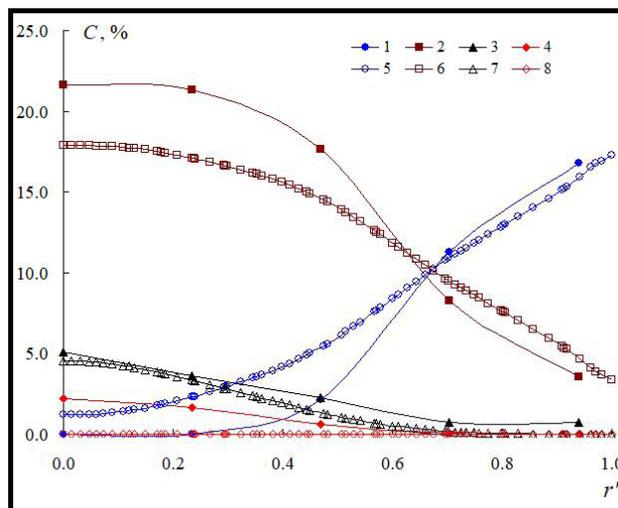


Рис. 11. Объемная концентрация газов в камере сгорания циклонно-слоевой топке котла мощностью 2 МВт (сечение  $z = 0,95$  м)

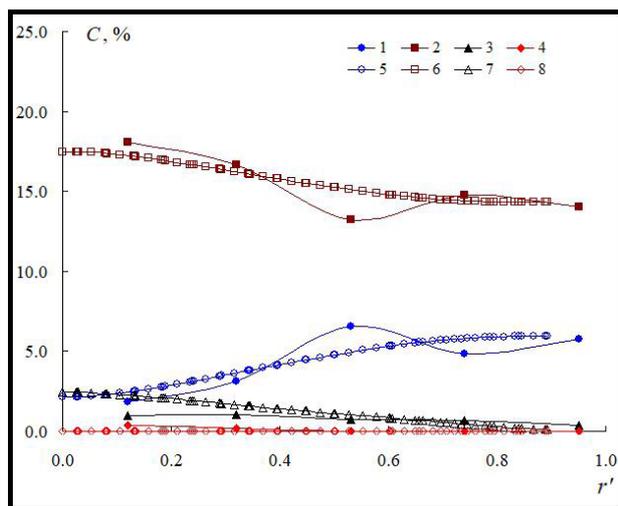


Рис. 12. Объемная концентрация газов в камере догорания циклонно-слоевой топке котла мощностью 2 МВт (сечение  $z = 1,9$  м, обозначения такие же, как на рис. 11)

неравномерный характер (рис. 10, 11). Профили распределения температуры и газовых компонент аналогичны топке малого масштаба (рис. 6). Наибольшие значения концентрации горючих газов ( $CO$ ,  $CH_4$ ) наблюдаются в центральной области  $CCO = 5\%$ ,  $CCH_4 = 2,3\%$ , а наименьшие на периферии камеры (рис. 11). Концентрация кислорода имеет максимальные значения на периферии, которые достигают  $CO_2 = 15 - 17\%$ , а наименьшие в приосевой области камеры сгорания. В камере догорания концентрации газов быстро выравниваются и происходит выгорание

горючих газов. Уже в начале камеры догорания, в ее нижнем сечении ( $z = 1,9$  м) концентрация монооксида углерода ( $CO$ ) не превышает 1,5%, а концентрация метана ( $CH_4$ ) 0,5%. В верхнем сечении этой камеры ( $z = 2,8$  м) концентрация газов практически постоянна, а концентрация горючих газов ( $CO$ ,  $CH_4$ ) близка к нулю (рис. 12). Быстрое выравнивание профилей температур и концентраций газов во второй камере обусловлено интенсивными массообменными процессами на входе в эту камеру, благодаря формированию рециркуляционных течений.

При численном моделировании сжигания топлива в топке этого котла использовался подход аналогичный вышеизложенному для экспериментальной установки БИ-1М. Получено, что расчетная температура и концентрация газов в объеме топке неплохо соответствуют экспериментальным данным. На выходе топке расчетная температура газов составила  $847^\circ C$ , а ее экспериментальные значения –  $800 - 830^\circ C$ .

## 5. Заключение

1. Экспериментально установлены особенности распределений температуры и концентрации газов в циклонно-слоевых топках с КС различного масштаба, реализующих активные гидродинамические режимы сжигания топлива. В горизонтальных сечениях камеры сгорания температура и концентрация газовых компонент в камере сгорания имеет неравномерный характер. В камере догорания профиль температур и концентраций в горизонтальных сечениях быстро выравнивается

благодаря наличию на ее входе рециркуляционных зон и интенсивному массопереносу.

2. Получено хорошее соответствие результатов численного моделирования экспериментальным данным. Расчетная температура на выходе циклонно-слоевых топок различного масштаба отличается не более чем на 40 °С от экспериментальных значений.

**Список обозначений**

$C$  – объемная концентрация газов;  
 $D$  – диаметр камеры сгорания (догорания), м;  
 $F_r = (u_f - u_{mf})^2 / g h_b$  – число Фруда;  
 $G$  – массовый расход воздуха (продуктов газификации), кг/с;  
 $H = 0,45$  м – высота камеры сгорания;  
 $N = u_f / u_{mf}$  – число псевдооживления;  
 $Q$  – объемный расход воздуха, м<sup>3</sup>/час;

$R = D / 2$  – радиус камеры сгорания (камеры догорания), м;

$r$  – радиальная координата, м;  
 $r' = r / R$  – безразмерная радиальная координата ;  
 $T$  – температура, °С (К);  
 $u_f$  – скорость фильтрации газа в кипящем слое, м/с;  
 $u_{mf}$  – скорость начала псевдооживления, м/с;  
 $V_n$  – скорость воздуха на выходе из сопел, м/с;  
 $z$  – вертикальная координата, м;  
 $z' = z / H$  – безразмерная вертикальная координата, м;

$\alpha_b, \alpha_c, \alpha_{conv}$  – коэффициент теплоотдачи: в слое, конвективно-кондуктивный, конвективный, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

**Индексы:**  
 $f$  – газ;  $n$  – сопло;  $out$  – выход камеры сгорания (топки);  $\varphi$  – тангенциальный.

**Список литературы**

1. Баскаков А.П., Мацнев В.В., Распопов И.В. Котлы и топки с кипящим слоем. Москва. Энергоатомиздат. 1995.
2. Кунии Д., Левеншпиль О. Промышленное псевдооживление. Москва. Химия. 1976.
3. Пицуха, Е.А. Сжигание твердых биотоплив в циклонно – слоевой топочной камере / Пицуха Е.А., Теплицкий Ю.С., Бородуля В.А. // , Теплоэнергетика. – 2014 - №7. – С. 18 – 24.
4. Пальченко Г.И., Аббас Фалих Хассан. Распределение твердой фазы в надслоевом объеме аппаратов с кипящим и циркулирующим слоем. Минск: АНК ИТМО им. А.В. Лыкова АН БССР. – С.142-154, 1991.
5. Basu P. Biomass gasification and pyrolysis: Practical design and theory. Elsevier, 2010. 364 p.
6. Magnussen B.F., and Hjertager V.H. On Mathematical Modelling of Turbulent Combustion with Special Emphasis on Soot Formation and Combustion, Sixteenth Symposium (International) on Combustion, pp. 719-729, 1976.

## О ТАНКАХ И ИГРЕ WORLD OF TANKS

*Александр Грек*

*Можно я про танки? Тем более что не так давно был День танкиста, и мой дед во Вторую мировую командовал взводом легких танков.*

Из всей военной техники меня больше всего завораживают именно танки, особенно тяжелые. Сколько раз, стоя рядом с ними в Бронетанковом музее в Кубинке, я не мог поверить, что вот эта монументальная конструкция когда-то могла двигаться. И только сев за рычаги газотурбинного Т-80, я поразился этой метаморфозе, когда неподвижная бронированная машина вдруг оживает, превращаясь в невероятно мощного и свирепого зверя, послушного твоим рукам.

Там же, в Кубинке, я с удивлением узнал, что большая часть экспонатов давно потеряла способность самостоятельно двигаться — а ведь это самая большая в мире бронетанковая коллекция. Директор музея, стоя рядом с одним из семи уцелевших легендарных немецких «Тигров», грустно жаловался на «Мосфильм», который взял танк для съемок да и запорол двигатель, превратив экспонат в неподвижную грудку металла. И казалось, что дальше все будет только хуже.

Однако в последние годы ситуация начинает стремительно меняться, в основном за счет частных компаний, которым небезразлична история. По всей стране они находят хоть как-то сохранившиеся машины и возвращают им жизнь. Об истории легендарного танка КВ-1 с «Невского пяточка» рассказывается в октябрьском номере. Это первый в стране восстановленный КВ-1 на ходу. Его восстановленный брат есть в Белоруссии: этот танк в движении можно было увидеть в День танкиста в 2016-м в историко-культурном комплексе «Линия Сталина» под Минском. Этот проект состоялся благодаря мощной поддержке компании Wargaming, известной всемирным хитом — игрой World of Tanks. Продолжается



*Танк Т-34-76, который выпускался советской промышленностью с 1940 по 1944 год. Оснащен 76-миллиметровым орудием*



еще более амбициозный проект, стартовавший четыре года назад: Wargaming совместно с Бронетанковым музеем в Кубинке собирается восстановить и поставить на ход единственный в мире сверхтяжелый танк Panzerkampfwagen VIII «Maus», которому принадлежит абсолютный рекорд по массе среди всех танков, когда-либо воплощенных в металле. И, как говорят участники проекта, это уже не игра. Это история.

## ВОЗДУШНЫЙ ГИГАНТ: КАКИМ СТАНЕТ НОВЫЙ РОССИЙСКО-КИТАЙСКИЙ АВИАЛАЙНЕР

Олег Макаров

*Если все пойдет по плану, в середине следующего десятилетия в воздух поднимется большой красивый самолет. Он сможет взять на борт более 280 пассажиров и летать на дальность до 12 тыс. км. Эта широкофюзеляжная машина воплотит в себе самые актуальные ноу-хау в гражданском авиастроении. И, что очень важно, лайнер станет символом активно развивающегося сотрудничества России и Китая в сфере высоких технологий.*

Прежде чем перейти к подробностям проекта, немного вводной информации. Широкофюзеляжные лайнеры можно назвать, пожалуй, наивысшим, королевским уровнем гражданской авиации. Эти огромные суда, берущие на борт сотни человек, способны преодолевать трансконтинентальные расстояния между крупными аэропортами-хабами, откуда пассажиры смогут продолжать свои путешествия самолетами местных линий. Впрочем, в таких густонаселенных странах, как Китай или Япония, широкофюзеляжники порой используются в качестве среднемагистральных и даже региональных самолетов.

### Новый игрок

За всю историю гражданского авиастроения в мире существовало лишь пять производителей авиатехники такого типа. Это всем известные компании Boeing (модели 747, 767, 777, 787) и Airbus (модели A300, A310, A330, A340, A350, A380), образующие на мировом рынке своего рода доминирующую дуополию. Широкофюзеляжные лайнеры производили еще две американские компании — McDonnell Douglas (модели DC-10, MD-11) и Lockheed (модель L-1011 TriStar). TriStar не получил дальнейшего развития и по-



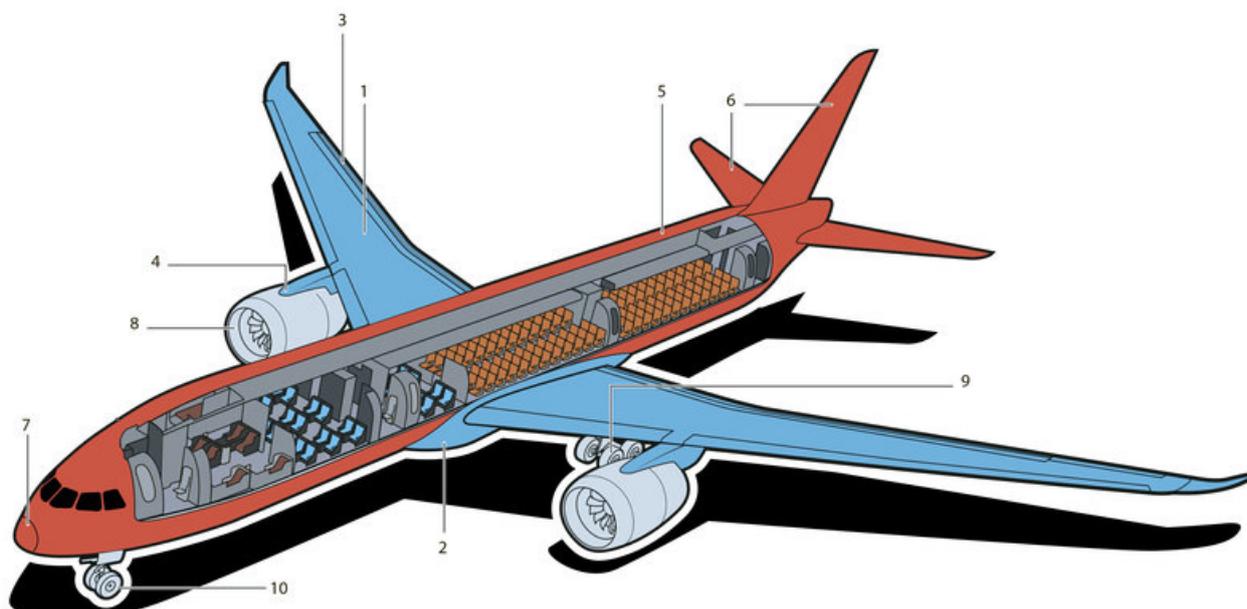
степенно сошел со сцены, а после поглощения McDonnell Douglas фирмой Boeing ушли в небытие и DC-10 с MD-11. Пятым производителем лайнеров с двумя проходами между кресел (еще одно популярное обозначение воздушных судов этого класса) стал советский авиапром. В 1970-х в КБ Ильюшина был разработан «аэробус» Ил-86. Лайнер мог вместить до 350 пассажиров, но радиус действия его был весьма скромным даже по сравнению с современными среднемагистральными самолетами — всего 3800 км. В конце 1980-х на базе 86-го разработали дальнемагистральную версию — Ил-96. Однако довести лайнер до конкурентоспособного уровня помешали политика и открытие отечественного рынка для подержанных самолетов западных производителей. Правда, недавно правительство выделило 1,3 млрд руб. на модернизацию производства Ил-96, однако речь пока идет о строительстве

ограниченного количества лайнеров для государственных нужд.

CR929 — проект перспективного российско-китайского широкофюзеляжного дальнемагистрального самолета. Разрабатывается российской Объединенной авиастроительной корпорацией (ПАО «ОАК») и Китайской корпорацией гражданского авиастроения (COMAC).

Шестым в истории производителем широкофюзеляжных самолетов должна стать китайско-российская компания CRAIC (China-Russia Commercial Aircraft International Corp. Ltd.), созданная на паритетных началах российской Объединенной авиа-

строительной корпорацией (ОАК) и китайской корпорацией гражданского авиастроения (COMAC). До определенного времени Россия и Китай шли в области гражданского авиастроения параллельными путями: обе страны создавали на собственной производственной базе современные гражданские воздушные суда. В России построили региональный Superjet 100, в Китае — ARJ21 в том же классе. Китай испытывает новый среднемагистральный лайнер C919, у нас продолжаются тестовые полеты MC-21. Но широкофюзеляжный самолет CR929 задумали делать совместно, и это решение было принято на уровне глав государств.



Предварительное разделение работ по конструкции планера зафиксировано в протоколе по итогам работы объединенной инженерной команды от февраля 2017 года.

**Россия:**

1. Консоли крыла; 2. Центроплан; 3. Механизация крыла; 4. Пилон навески двигателя.

**Китай:**

5. Фюзеляж; 6. Горизонтальное и вертикальное оперение; 7. Носовой обтекатель.

**Системы\*:**

8. Двигатель; 9. Основная опора шасси; 10. Передняя опора шасси.

\*Для разработки этих систем будут привлечены мировые поставщики. Процедура отбора завершится до конца 2019 года.

**Технологии**

*Ездить на велосипеде зимой: 5 простых правил на личном опыте*

**Технологии**

*Анонсирован концепт нового плацкартного вагона РЖД*

**А почему Китай?**

Политическое решение в данном случае должно привести к взаимной выгоде. Разработка современного гражданского самолета — дело дорогостоящее, и окупить эти затраты можно в том случае, если машина будет производиться крупной серией. По оценке ПАО «ОАК», объем спроса на широкофюзеляжники в России не превысит 120 самолетов до 2036 года, этого недостаточно для окупаемости программы. Наибольший спрос ожидается на рынках Азии — более 3200 ВС до 2036 года, из них 1200 ВС приходится на Китай. Участие в проекте CR929 дает нашему авиапрому уникальный шанс — выйти со своей

продукцией (в виде 50%-ного участия) на один из крупнейших в мире рынков авиатехники — китайский. В настоящее время над проектом работают две команды: российская под руководством главного конструктора Максима Литвинова и китайская, которую возглавляет Чен Инчунь. Ежегодно команды проводят 4–5 трехнедельных сессий (поочередно в Москве и Шанхае) для обсуждения хода работ по созданию лайнера. «ПМ» встретила с Максимом Литвиновым и попросила его рассказать о технических деталях проекта.

ПАО «ОАК» и COMAC решили, что на первом этапе в программе CRJ929 будет использован двигатель иностранного производства. В настоящий момент совместное предприятие стран-партнеров — CRAIC — проводит работы по выбору поставщика этой системы. В числе потенциальных поставщиков — GE, Rolls-Royce. На втором этапе будет рассматриваться использование двигателя российского или китайского производства.

## Ближе к Москве или ближе к Шанхаю?

«Несмотря на то что команд две, мы предпочитаем всеми вопросами заниматься совместно, — говорит Максим Литвинов. — Сейчас мы приближаемся к третьему контрольному рубежу (гейту), иначе говоря, находимся в фазе эскизного проекта. В начале июня на совместной с COMAC сессии мы согласовали общий вид самолета. Идет активная работа с потенциальными поставщиками комплектующих (двигателей, авионики, других систем). Но в принципе уже принято решение, что российская сторона будет отвечать за разработку, проектирование и изготовление центроплана и консолей крыла. Китайская сторона займется фюзеляжем и хвостовым опере-



нием. Окончательная сборка будет производиться на индустриальной площадке в Шанхае».

При такого рода кооперации неизбежно поднимается вопрос логистики. Крыло и центроплан — детали тяжелые и габаритные. Как доставить их с российского завода в Шанхай? Компаниям Boeing и Airbus, строящим свои самолеты в широком сотрудничестве, пришлось даже создать специальные грузовые самолеты для перевозки крупногабаритных деталей — соответственно Dreamlifter и Beluga. «Этот вопрос сейчас обсуждается, — рассказывает Максим Литвинов, — так как от этого зависит, где именно будет располагаться российский завод — в европейской части или на Дальнем Востоке. Пути доставки только два — по морю или по воздуху. Построить завод в окрестностях Владивостока



очень удобно: и Владивосток, и Шанхай — портовые города, так что с доставкой крыла и центроплана к месту сборки проблем не будет. Но в этом случае предприятие окажется слишком удалено от проектно-конструкторских и испытательных центров. Возить детали по воде из европейской части очень далеко, да и судоходство у нас сезонное. Значит, будет необходим специальный самолет, и сейчас мы обсуждаем, на базе какой машины его можно разработать».

Китайский среднемагистральный узкофюзеляжный лайнер Comac C919.

## Металл не в моде

Если говорить о ближайшем аналоге проектируемого самолета, то им будет, пожалуй, Boeing 787–9. Самолет именно с такими параметрами интересует китайских и российских перевозчиков. Но Boeing 787, как и другой флагман мирового авиапрома — A350, построен с использованием большого количества композитных деталей. Идем ли и мы с китайцами тем же путем? «Да, предполагается широчайшее использование композитов, — рассказывает Максим Литвинов. — И крыло, и центроплан, и хвостовое оперение, и фюзеляж будут композитными, за исключением, возможно, носовой части. Все-таки с абразивным износом и попаданием посторонних предметов металл справляется лучше. Мы внимательно следили за развитием программы Boeing 787 и знаем, с какими трудностями пришлось столкнуться американским инженерам, когда возникла необходимость соединять друг с другом цельнотканые секции фюзеляжа. Поэтому от данной

технологии мы решили отказаться и сделали выбор в пользу формирования фюзеляжа из отдельных углепластиковых панелей. Опыт создания композитных деталей для самолета в России нарабатывается: как известно, испытываемый сейчас лайнер MC-21 оснащен композитным крылом. В конструкции MC-21 для создания углепластиковых деталей применяется метод вакуумной инфузии вместо автоклавного формования. Инфузия, хоть и имеет свои недостатки, позволяет удешевить производство. Летные испытания показывают, что применение этой технологии себя оправдывает, и мы ожидаем окончания тестовых полетов MC-21, чтобы оценить, как повели себя композитные элементы. Технологию вакуумной инфузии мы также планируем применить для создания деталей CRJ929. Что касается исходных материалов для композитных деталей, они будут выбираться по процедуре конкурентной закупки, в том числе с привлечением мировых производителей».

Новый лайнер должен продемонстрировать более высокие экологические и экономические показатели по сравнению с аналогами-конкурентами. Использование композитов лишь один из способов уменьшить массу пустого снаряженного самолета.



Максим Литвинов, главный конструктор CRJ929 с российской стороны

*(По материалам журнала «Популярная механика»)*

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПЕРСОНАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

*Коробейник Евгений Игоревич - специалист по маркетингу*

*Янкевич Степан Николаевич - начальник научно-исследовательского отдела*

*Прокопеня Александр Николаевич - научный сотрудник*

Современные тенденции развития транспортных средств на электрической тяге и уменьшения производства двигателей внутреннего сгорания, в особенности на тяжелых видах топлива, становятся все более актуальными направлениями, ведь рост плотности населения в городах, промышленного производства и количества автомобилей внесли свою лепту в ухудшение не только условий жизни, но и нанесли ощутимый удар по всей экосистеме в целом. На смену чистому здоровому воздуху, особенно в больших городах-мегаполисах, приходит фотохимический смог.

Фотохимический смог – это смог, основной причиной возникновения которого считают автомобильные выхлопы. Выбрасываемые выхлопные газы в условиях инверсии температуры вступают в химическую реакцию с солнечным излучением, разрушая озон. Помимо этого, фотохимический смог может вызвать поражение дыхательных путей, рвоту, раздражение слизистой оболочки глаз и общую вялость. В сумасшедшем городском ритме жизни мы мало обращаем на это внимание, списывая ухудшения самочувствия и хроническую усталость на бытовые проблемы, недосыпы и прочее. Однако, данная проблема остро обострилась в последние годы.

Рост сознательности и повышение уровня ответственности за собственное будущее у человечества в целом, естественным образом привели к поиску альтернативных источников энергии и росту их популярности. Помимо чистых источников электроэнергии, таких как

солнечные батареи, ветряные электростанции и гидроэлектростанций, все более актуальным становится использование в повседневной жизни экологичных транспортных средств.

Согласно данным европейских аналитических агентств, для современной городской инфраструктуры электротранспорт является оптимальным видом транспорта, в полной мере соответствующим всем нормам и требованиям экологической и энергетической безопасности. Электротранспорт появился в нашей жизни уже давно и стал для нас верным помощником. Поезда метро, троллейбусы и электробусы давно доказали свою эффективность, как надежный, экологически безопасный перевозчик.

Национальная академия наук Беларуси приступила к реализации комплекса работ по созданию отечественных образцов персональных электрических транспортных средств (ПЭТС). В рамках данного комплекса ОАО «Приборостроительный



*Фото носит иллюстративный характер*

завод Оптрон» анонсировало выпуск широкой линейки продукции на базе мотор-колеса. К слову, мотор-колесо является собственной разработкой предприятия.

Электровелосипед, оборудованный мотор-колесом – это транспорт «специального назначения». Его функциональные преимущества перед обычным велосипедом неоспоримы. Чем же электровелосипед так хорош?

- низкая стоимость эксплуатации (зарядка электричеством от бытовой розетки, отсутствие техосмотра, пошлины на дороги, страховки ТС);

- надежность и простота конструкции, как следствие почти полное отсутствие необходимости в ремонте и обслуживании;

- возможность быстро передвигаться в условиях большого города и сельской местности благодаря высоким скоростным характеристикам, малому габариту и высокой маневренности;

- возможность использования не только как прогулочный транспорт, но и специальный. Будет полезен для врачей, почтальонов, работников коммунальных служб, природоохранных организаций, курьеров как в маленькой деревне, так и в большом городе. Это идеальный транспорт, позволяющий передвигаться с постоянно высокой скоростью людям с различными физическими данными;

- экологичен и бесшумен. Эти положительные качества по достоинству оценят в природоохран-

ных зонах и в силовых структурах, где отсутствие вредных выбросов и шума ценятся превыше всего.

Насегоднешний день ОАО «Приборостроительный завод Оптрон» рассматривает несколько направлений развития организации производства. Первым из них является организация производства комплектов для переоборудования обычных велосипедов в современные электровелосипеды. Данные комплекты будут состоять из мотор-колеса, батареи, контроллера и блока управления. Простота конструкции предлагаемого комплекта позволит произвести установку не только в производственных условиях, но и самостоятельно, рядовому пользователю с минимальным набором инструмента.

Вторым направлением развития будущих электровелосипедов является организация их полноценного производства. Здесь нужно рассмотреть два варианта. В первом случае рама и комплектующие велосипеда будут заимствованы у конкретного производителя («AIST», «Stels» или «Forward») после детального изучения и тщательного отбора специалистами предприятия, т.к. мотор-колесо создает серьезную нагрузку на детали конструкции велосипеда, что предполагает ответственный и серьезный подход к выбору базы для будущего электровелосипеда. Во втором случае рассматривается вариант сборки на рамках собственного производства.

Не останутся в стороне и структуры нуждающиеся в специализированной технике. Общество рассматривает создание персонального электротранспорта специального назначения (медицинские, почтовые, курьерские и др.), укомплектованного дополнительным оборудованием и приспособлениями для выполнения возложенных задач. Широкое распространение данного типа электротранспорта позволит не только улучшить условия труда простого работника, но и благоприятно скажется на всем рабочем процессе в целом, что приведет к более рациональному использованию рабочего времени и снижению финансовых издержек нанимателя.

Электроскутер – это вид персонального электрического транспорта, использующий в качестве привода электродвигатель. Существуют как двух так и трехколесные исполнения.

Электроскутеры не оставляют равнодушными тех, кто хоть раз прокатился на них. Бесшумные, быстрые, эффективные – они представлялись на выставках и торжествах, в которых регулярно принимает участие ОАО «Приборостроительный завод Оптрон».



*Фото носит иллюстративный характер*



*Фото носит иллюстративный характер*

Высокая оценка качества и внешнего вида – неизменный спутник этого вида транспорта. Перспективы его использования крайне широкие. Это и сельская местность, и городские дорожки. Как перевозка пассажиров, так и полезных грузов. Использование маневренных быстрых электроскутеров – прекрасная возможность для коммерческой индустрии охватить более широкий круг потенциальных потребителей, при этом снизить финансовые затраты и сократить время нахождения в пути. Однако, на сегодняшний день, главная задача, возложенная на электроскутеры, это отработка прокатной инфраструктуры. Острая потребность в электротранспорте имеется в национальных парках и заповедниках, где в настоящее время используется транспорт с двигателями внутреннего сгорания, загрязняющий окружающую среду, что само по себе идет в разрез с понятием рекреационных зон, к которым по своей сути, и относятся заповедники и национальные парки. Для организации и запуска прокатной платформы в тестовом режиме планируется выбрать Центральный ботанический сад. Отработка системы в малом масштабе не требует больших денежных затрат на первых этапах и позволит в кратчайшие сроки сформировать аналогичную сеть проката в масштабах города, а в перспективе и всей республики. Стоит отметить, что прокат электросамокатов и электровелосипедов белорусского производства вызовет интерес и предоставит ряд новых услуг посетителям парковых зон.

Но на этом ОАО «Приборостроительный завод Оптрон» не собирается останавливаться. В перспективе создание электромотоцикла и электроквадроцикла. На первый взгляд эта идея кажется не серьезной, но на деле это техника будет востребована различными министерствами, ведомствами и силовыми структурами.

Общество прилагает огромные усилия для популяризации электротранспорта в Беларуси. Только в этом году сотрудники приняли участие в таких мероприятиях как: «День науки», «День без автомобиля», «День города Минска», «Форум. Экология. Энергосбережение – 2018» и др. На каждой из них можно было получить подробную информацию по планируемой к выпуску техники, вариантах мотор-колес и аккумуляторных батарей.



*Фото носит иллюстративный характер*

Особенно хотелось бы отметить визит в НАН Беларуси представителей стран ЕС в области электромобильности. Гости были приятно удивлены тем, что локализация белорусского производства составила 80 %. Это достаточно высокий уровень для современных условий, так как большинство производителей электротранспорта ограничиваются закупкой иностранных комплектующих даже не пытаясь развивать собственное производство.

На прошедшей конференции, в которой принимали участие представители ОАО «Приборостроительный завод Оптрон», поднимались вопросы популяризации электротранспорта, рыночной стоимости продукции, законодательной базы и электротранспортной инфраструктуры. Итогом встречи стал план развития персонального электрического транспорта для предприятия и страны в целом.

В настоящее время Обществом прорабатывается вопрос по регулированию использования ПЭТС в целях обеспечения безопасности всех участников дорожного движения. В современных реалиях можно свободно приобрести достаточно мощное мотор-колесо и самостоятельно переоборудовать велосипед, способный развить скорость до 80 км/ч. Это опасно, ведь чаще всего велосипедистов и пешеходов разделяет лишь условная разметка, а иногда и она отсутствует. Общество выступает за ограничение скоростных характери-



*Фото носит иллюстративный характер*

стик ПЭТС, приравненных к обычным велосипедам – не более 25 км/ч, а также за качественную и правильную сборку электротранспорта, ведь тут цена ошибки может быть слишком высока.

Впереди серьезная работа по созданию дополнительных дорожек, условий зарядки и хранения, обслуживания и ремонта ПЭТС. ОАО «Приборостроительный завод Оптрон» надеется на государственную заинтересованность в данной сфере и непосредственную поддержку предлагаемых инициатив, направленных на благо Белорусского общества, ведь внедрение ПЭТС – это не дань моде, а назревшая необходимость.

*По вопросам обращаться по тел. 8 (029) 209 90 11 Прокопеня Александр*

## НАГЛЯДНАЯ ИСТОРИЯ ВЕЛОСИПЕДА

*Антон Матвейчук*

Велосипед не сразу получил современное название. Карл фон Драйз называл своё изобретение *laufmaschine* (нем. «бегущая машина»). Во Франции его называли *draisine* в честь Драйза, а в Англии *hobby-horse* (анг. «игрушечная лошадка»). В России такие двухколёсные машины назывались «самокатами». Французское *velocipede* (лат. «быстрая нога»), появилось только в 1860-х, когда изобрели педали, тогда же распространилось английское название *bicycle* (анг. «двухколёска»). В конце концов, во Франции велосипед стал *bicyclette* и *velo*, а в России — велосипедом. Появление же популярнейшей безопасной модели *Rover*, похожей на современный велосипед, повлияло на языки: в польском велосипед *Rower*, в белорусском *Ровар*.



*Самокат*

### Вехи велосипеда

**1761**

Первые сведения о самокате, на котором можно было передвигаться сидя верхом и отталкиваясь ногами от земли. Изобретение каретного мастера Михаэля Касслера из Германии.

**1817**

«Дрезина», построенная Карлом фон Драйзом, с передним поворотным колесом.



*«Дрезина» конструкции К. фон Драйза  
 1817 г. (реплика 1984)*



*Parisienne Франция, 1869 г.*

*Деревянные, окованные металлом колёса, металлические рама, вилка и руль; педали на переднем колесе, подressоренное седло. Фирма Parisienne — предприятие Пьера Мишо, которому принадлежит авторство патента на машины типа «костотряс» и первенство в серийном производстве велосипедов*

**1867**

В Америке получен первый патент на конструкцию велосипеда с педальным приводом. Автором патента был француз Пьер Лалльман.

**1868**

Французский каретный мастер Пьер Мишо с сыновьями начал серийное производство педальных велосипедов в Париже.

**1868**

Фирма «Meуег & Со» выпускает велосипеды с цепным приводом на заднее колесо. Однако тогда эта конструкция оказывается не востребованной.

**1869**

Пьер Мейер получает патент на спицованное колесо.

**1869**

Клемен Адэр придумывает использовать цельные резиновые покрышки на велосипедах.



**Meyer & Cie**

*Промежуточный тип велосипеда между «костотрясом» и «пауком». Франция, 1871 г.*



*«Паук» Англия, 1882 г.*

*«Пауками» такие велосипеды звали в России из-за колеса, которое было похоже на паутину, а в Англии их называли «Пенни-Фартинг» по аналогии с размерами английских монет. Гигантское переднее колесо на таких велосипедах было призвано помочь велосипедисту развивать большую скорость с меньшими энергозатратами и повысить проходимость.*

**1870-е**

Независимо друг от друга разные фабрики начинают изготавливать первые велосипеды «Пауки» с увеличенным передним колесом, позволявшие развивать большую скорость и легче справляться с плохими дорогами.

**1876**

Фирма «Browet & Harisson» патентует колодочные тормоза.

**1885**

Англичанин Джон Старлей начинает производство велосипедов «Safety» («безопасный») под маркой Rover, которые стали прототипами всех современных велосипедов. Их отличает безопасная низкая



**Peugeot Safety. Франция, 1888 г.**

*Один из первых в мире велосипедов так называемой «безопасной» конструкции, постепенно вытеснившей к началу 1890-х годов высокие «пауки».*

посадка (колеса одного размера) и цепной привод на заднее колесо.

**1885**

Фирма «Lindley & Biggs» выпускает первый велосипед с пружинной подвеской обоих колёс.

**1888**

Ветеринар из Шотландии Джон Данлоп изобретает пневматическую велосипедную шину и воздушный вентиль для неё.

**1895**

Фирма «Cycles Aluminium» производит первые легковесные велосипеды из алюминия.

**1896**

Эдмунд Ходжкинсон патентует переключатель скоростей, который станет прототипом современных переключателей.

**1914**

Фирма «Peugeot» производит первый лежачий велосипед-лигерад.

**1975**

«Еххоп» производит первый велосипед с карбоновой рамой.

**1978**

Американский энтузиаст Джо Бриз собирает первый горный велосипед.

**1994**

Компания SRAM запускает первое массовое производство гидравлических дисковых тормозов.



**Clement Safety.** Франция, 1890 г.

*Замкнутая рама, колёса одинакового диаметра, цепной привод — эти приметы современного велосипеда можно найти уже и в этом раритете. Но для нашего современника поездка всё равно оказалась бы неприятной — на нём отсутствует свободный ход педалей и установлены литые (не пневматические) шины.*

## Велосипед и общество



**Кустарный велосипед.** Россия, 1907 г.

*Велосипед изготовлен из дерева неизвестным кустарём. Судя по конструкции, автор пытался по памяти повторить виденный им велосипед промышленного изготовления.*



**Велосипед переходного типа,** кустарного производства. Россия, 1870-е гг.



**«Россия»**

Легкодорожный велосипед. Россия (Рига), 1898 г.



**Clement Tricycle**

Трицикл. Франция, 1888 г.



**Excelsior Bevliss Thomas «Паук»**

Великобритания, 1886 г.



Детский трёхколёсный велосипед кустарного производства. Россия, 1890-е гг.



**Express**

Велосипед для фигурной езды. Германия, 1935 г.



**Raleigh**

Дамский дорожный велосипед. Великобритания, 1947 г.



**Трёхколёсный велосипед-коляска  
с ручным приводом**

Германия, ок. 1919 г.

Мастерские, производящие такие коляски, субсидировались Германским правительством после Первой мировой войны. Многие бойцы вернулись с фронта инвалидами, и государство старалось обеспечить их доступными средствами передвижения.

**Hamet. Франция, 1949 г.**

На этом велосипеде каретка оформлена отдельным агрегатом, и в нём спрятана коробка перемены передач мотоциклетного типа. Три передачи обеспечивают комфортное перемещение по любым дорогам. Также на велосипеде установлены красивые дюралюминиевые крылья со сложным рельефом.



**Vianzone Torino. Италия, 1946 г.**

Итальянская компания Vianzone была одной из немногих, которые вернулись к выпуску деревянных велосипедов в 20 веке. Эта модель почти не имеет железных деталей — такое технологическое решение было призвано сделать велосипед максимально лёгким. Из-за недолговечности дерева сейчас в мире известно только 20 экземпляров подобных велосипедов в аутентичном состоянии. Этот принадлежал бельгийскому художнику и скульптору Жану Мишелю Фолону.



**Caminaargent  
Франция, 1949 г.**



**Queen  
Дамский велосипед. США, 1897 г.**



*Тандем*  
Франция, ок. 1900 г.



*На тандеме*



*Stella*  
Складной компактный городской велосипед.  
Франция, 1962 г.

Для российских велосипедистов конца XIX века получение «Билета на право езды по городу» и номерного знака было обязательным. Каждому полагалось прийти в полицейский участок, продемонстрировать умение ездить, сдать импровизированный экзамен и, заплатив налог, получить номер. Правила, явно заботясь о наездниках больше, чем о велосипедистах, гласили: «В случае беспокойства лошадей от появления едущего на велосипеде, последний обязан остановиться, сойти с велосипеда и, по возможности, скрыть его от испуганной лошади».



**Цирковой моноцикл**  
Германия, 1910 г.

*Идея одноколёсного велосипеда родилась у американца Фредерика Майерса ещё в 1869 году. Он вряд ли предполагал, что такая конструкция приживётся только среди циркачей и экстремалов.*

Первое время в России велосипед, как, скажем, и фотоаппарат, могла себе позволить только часть населения с доходом выше среднего: аристократия, купцы и удачливые коммерсанты. Цена велосипеда в 1880-е была не менее 300-400 рублей, тогда как рабочий или городской получали всего по 20 рублей в месяц.

По иронии судьбы велосипед, будучи продуктом высоких технологий конца XIX века, дал людям возможность с лёгкостью умчаться подальше от технологий и индустрии — из шумного города на природу. Вместо воскресного чтения газет или даже походов в церковь горожане стали выбираться на природу, кататься и заводить новые знакомства по дороге. Американская газета утверждала: «Велосипед сделал больше для усиления любви к природе, чем любое другое изобретение».

Велосипед, наравне с другими новыми средствами передвижения, оказывал влияние на творчество художников, живших на стыке 19 и 20 веков. Восхищаясь техническим прогрессом общества и индустриализацией, которая сделала новые изобретения доступными, художники-модернисты воспевали и велосипед, видя в нём транспорт будущего.

Наблюдая ускорение темпа жизни, изобретение новых машин и общественные трансформации, Наталья Гончарова была одним из тех художников, которые формировали новую индустриальную эстетику 20 века. Размноженный контур фигуры велосипедиста, разбросанные по полотну уличные афиши и вывески, и «слияние» велосипеда с городом, передают ощущение движения среди суеты и шума нового города.



**ЗИС В-110 «Прогресс»**  
с мотором «Иртыш»  
СССР, 1953 г.

Великое будущее велосипеда было очевидно отнюдь не всем. Одна из нью-йоркских газет писала в 1869 году, что велосипедный бум «представляет собой наиболее безумную и нелепую одержимость, которая когда бы то ни было завладевала умами масс», а журналист другой газеты утверждал, что «машины с оседлавшими их животными» представляют опасность для окружающих.

Многим казалась крайне нелепой и идея того, что человек проделывает работу, которую раньше выполняли животные. Зачастую велосипед был объектом зависти и скепсиса одновременно — в памятке велосипедиста, изданной в России в 1895 году, сообщалось: «Помните, что пешеход, естественно, завидует велосипедисту и готов придраться к малейшей смешной черте, а ведь насмешка — страшное оружие».



**ХВЗ**

*Модификация «Белый Лебедь». СССР, 1959 г.*

*Велосипед путешественника Георгия Гончарова, на котором он за 50 лет пересёк все континенты, кроме Антарктиды, после своего 70-летия Гончаров награждён серебряной медалью ВДНХ за усовершенствование этого велосипеда для туризма.*

**Технологии и дизайн**



Основные черты велосипеда сложились уже в 1890-е годы. Именно тогда велосипед стал выглядеть примерно таким, каким мы знаем его сейчас. Но даже первые изобретатели-создатели «дрезин», «костотрясов» и «пауков» уделяли большое значение внешнему виду своей машины. Хотя дизайн первых велосипедов прежде всего определялся спецификой технологий и характеристик, которые создатели хотели воплотить в своих машинах.



*ЦКТБ Вело, «Эксперимент». СССР, 1960-е гг.*

*Такой необычный велосипед стал результатом исследований в бионике, проведённых в 50-е в СССР.*

*Исследователи предполагали, что человеку будет удобней совершать «шагательные» движения ногами, нежели крутить педали как обычно. Сложно сказать почему, но велосипед так никогда и не пошёл в серию.*



*Pierce. США, 1900 г.*

*Этот дамский велосипед интересен тем, что на нём отсутствует цепь, а вместо неё установлен вальный (карданный) привод. Такая альтернативная конструкция привода так и не сумела выиграть конкуренции с классической цепью. Прежде всего потому, что она исключала возможность появления «скоростей» на велосипеде.*

А в 1885-м шотландский ветеринар Джон Бойд Данлоп, наблюдая, как его сын трясётся на велосипеде по булыжной мостовой, решил заполнить шины велосипеда водой. Эксперимент оказался неудачным — тряска уменьшилась не сильно. Следующая идея, пришедшая в голову шотландцу, оказалась гениальной — он заполнил шину воздухом, попутно создав вентиль, позволявший накачивать шину и удерживать газ внутри неё. А в 1891 Эдуард Мишлен предложил сменную шину. Резиновые шины использовались и до 1885 года, но они были жёсткими — либо цельнолитыми, либо с полостью внутри, что значительно утяжеляло велосипед.

Веломания 1890-х привела к тому, что даже знаменитая ювелирная компания Tiffany украсила велосипед Columbia, тем самым подняв его стоимость до 3000 долларов (100 000 современных долларов). В ушках стояли «золотые бляшки в восемнадцать карат», на спицах позолоченные ниппели, муфта руля была из слоновой кости с позолоченными концами, рулевая колонка из полудрагоценных камней. Известный транжира Джим Брейди, по слухам, подарил такой велосипед актрисе Лиллиан Рассел.

Изменения в дизайне велосипеда в 20 веке происходили как в соответствии с тенденциями моды и стиля, так и с новыми техническими концепциями. Новшества касались декоративного стайлинга, например, в Америке в 1930-50 годах были очень популярны велосипеды, подражающие по форме мотоциклам, с фальш-бензобаками, широкими сиденьями и изогнутым рулём. А в Европе инженеры изменяли дизайн веломашин в связи с применением новейших достижений аэродинамики в конструировании велосипедов. Появление в 1970-х годах новых конструкционных материалов (пластмасс, углепластика, карбона и титана) оказало большое влияние на развитие велотехники, позволив по-иному взглянуть на классические формы велосипеда.

**Di Blasi**  
Италия, 1988 г.



**Hesperus Werke J-Rad.** Германия, 1924 г.

Культовая машина конструкции чешского инженера Пауля Ярая — первый серийный велосипед «лежачей» компоновки с рычажным приводом. В начале 1920-х годов эта модель произвела фурор в велосипедной технике. В 1922-24 годах было изготовлено менее 2000 таких машин, из которых сейчас в мире сохранилось около 30.



Попытки дизайнеров в создании оригинальных проектов, выходящих за рамки привычных представлений, имеют большое значение и для развития велоотрасли. Именно на экспериментальных моделях проверяют и отработывают идеи, способные уже в ближайшем будущем решительно изменить наши представления о современном и удобном велосипеде. Кажущийся сейчас недоразумением неудобный «паук» использовался, между тем, не менее двадцати лет, поэтому не исключено, что привычная нам классическая форма велосипеда — также окажется отнюдь не самой эргономичной, и нас ждут новые открытия.



**Экспериментальный велосипед неизвестного производителя. США, 1941 г.**

*Этот необычный велосипед был изготовлен в трёх экземплярах для получения патентного свидетельства. Рама имеет оригинальную S-образную форму, а колеса закреплены консольно.*



**Велосипед-Столболоз. СССР, 1982 г.**

*Этот уникальный аппарат конструкции Виталюса Гульбинаса был спроектирован и изготовлен в двух экземплярах в опытных мастерских*

*Каунасского Политехнического института. Были получены патенты на конструкцию, но до серийного выпуска дело так и не дошло. Это единственный сохранившийся велосипед-столболоз.*



## Отечественный велопром



До 1917 года в России было два крупных велосипедных производства. Московская фабрика «Дукс» была основана в 1893 году и принадлежала Ю.А. Меллеру. Кроме велосипедов фабрика со временем начала выпускать автомобили, мотоциклы и самолёты. Конкурентом «Дукса» была фабрика «Россия» в Риге, принадлежавшая А. Лейтнеру. Начав с небольшой мастерской по сборке «пауков» в 1886 году, она постепенно превратилась в крупнейшее предприятие отрасли.

В 1915 году, во время Первой мировой войны, производство «России» было эвакуировано в Харьков. Обе фабрики стали базами возобновления велопромышленности советской России.

После национализации «Дукс» был переименован в «Государственный авиационный завод №1», где производили велосипеды до 1925 года. А рижская фабрика «Россия» трансформировалась в Харьковский велосипедный завод имени Г.И. Петровского (ХВЗ).

Финансирование постройки велосипедной промышленности молодой Советской республики шло несколькими путями. Львиную долю предоставляло государство, но средства привлекались и путём выпуска ценных бумаг. В 1930 году «Машобъединение» выпустило так называемые «Велосипедные обязательства» на общую сумму 56 млн. рублей.

Владелец обязательства выплачивал стоимость велосипеда ежемесячными или ежеквартальными взносами. А когда приходил оговоренный срок — получал новенький велосипед. Одним из главных принципов займов было добровольное участие, но народ не спешил вкладывать свои накопления, поэтому советские поэты вели активную агитацию словом.

Завод им. В.П. Чкалова. Авиационный завод № 153 в Новосибирске, в годы войны производивший самолёты Ла-5 и Ла-7, в 1946 году начал производство велосипедов. Это был первый серийный отечественный туристический велосипед ЗиЧ-1, оборудованный трёхпозиционным механизмом переключения передач. Это был, возможно, самый качественный и красивый советский велосипед послевоенного времени.



*Россия №12. Россия (Рига), 1914 г.*



*Дукс «Специальный — BSA». Россия, 1909 г.  
Лёгкий дорожный велосипед с необычной конструкцией педального тормоза. Изготовлен фабрикой «Дукс» с использованием комплектующих английской фирмы BSA.*





**LV3, Мотовелосипед В-902. СССР (Львов), 1958 г.**  
Такие мопеды начали производить на Львовском велозаводе в 1950-е годы. Двигатель имел мощность в 1 лошадиную силу, но зато потреблял только 1 литр бензина на 100 километров, развивая скорость до 40 километров в час.



**XV3 B-22. СССР (Харьков), 1952 г.**  
Классический дамский дорожный велосипед — первая женская модель Харьковского велозавода. Изящный и красиво декорированный велосипед. Сеточка на заднем крыле — не украшение бывшей владелицы, сеточка была частью заводской комплектации и была призвана защищать подол платья от попадания в спицы колеса.



**ГАЗ «Прогресс» В-110. СССР, 1954 г.**  
Один из самых массовых дорожных велосипедов СССР. К велосипеду прикреплена боковая коляска, в которой можно было перевозить детей.



**MV3 B-16. СССР (Минск), 1949 г.**  
Классический дорожный велосипед — первая модель велосипеда, сошедшая с конвейера Минского велозавода.

## Дети и велосипед



Ещё в 1830-е годы, когда велосипед был беспедальной дрезиной, стали появляться первые модели для детей. Например, американец Э.У. Бушнелл в 1835 году представил вниманию покупателей «маленькие коляски для удовольствия детей». Такие трёхколёсники служили исключительно для развлечения, и проехать мало-мальски серьёзное расстояние на таком велосипеде было сложно. Тем не менее, многие состоятельные родители баловали своих детей такими подарками.

К началу 20 века, когда велосипед стал доступен многим, он уже был для детей не только развлечением, но и инструментом первого заработка. Например, в Америке такие компании, как Western Union, продавали подросткам велосипеды по заниженной цене в обмен на обещание работать курьером.



Слева велосипед «Дружок», СССР, 1962 г.  
Справа велосипед «Мишка», СССР, 1978 г.



Подростковый велосипед для мальчиков «Орлёнок»  
СССР, г. Шауляй, 1953 г.



Автомобиль педальный «Москвич». СССР, 1978 г.



Подростковый велосипед для девочек «Ласточка»  
СССР, г. Шауляй, 1954 г.



Слева самокат с разгонной педалью. Франция, 1920-е гг.  
 Детский самокат с механической системой разгона. Он снабжён рычагом, при нажатии которого тяга с рейкой передаёт вращение заднему колесу. Такому нестандартному решению почти нет аналогов.  
 Справа детский самокат «Запорожсталь» СССР, 1960-е гг.



**Crescent Bambino.** Швеция, 1962 г.  
 На раме этого детского велосипеда имеется фальшив-бензобак, а руль поднят как на чоппере. В Америке и Европе 1960-х велосипеды, подражающие мотоциклетному дизайну, были очень популярны.

Несмотря на внушительные масштабы велопроста СССР, далеко не все родители могли подарить своему чаду велосипед, особенно детский (из которого ребёнок быстро вырастет). Те, кто вырос в 1940-70-е, скорее всего, скажут, что им приходилось кататься на взрослых велосипедах ЗИЛ или ХВЗ. Счастливые обладатели велосипедов, пытались разнообразить минималистский советский дизайн, тюнинговали свои велики как могли — устанавливали трещотки, чтобы велики звучали как мотоцикл; обматывали спицы проволокой, а руль и раму разноцветной изолентой; навешивали брызговики, катафоты и бахрому.

В начале XX века в Америке детский велосипед довольно скоро стал превращаться из игрушки в «рабочую лошадку». Приобретение двухколёсника не только позволяло детям быстро добираться до школы, но и давало возможность подрабатывать посыльными и разносчиками, доставляя телеграммы, или товары в аптеки и на рынки, и зарабатывая свои первые собственные деньги.

В первой половине XX века развитие велосипеда пошло разными путями в Новом и Старом Свете. В Америке, с появлением мотоциклов и автомобилей, велосипед стал почти исключительно детским транспортом, тогда как в Европе 95% велосипедов принадлежали взрослым работающим людям, а для ребенка велосипед считался почти непоколебимой роскошью.

С появлением модели Safety (Безопасный) в 1890-е годы родителям стало совсем не так страшно сажать своих детей на велосипеды. Более того, цены на них значительно снизились, и в отличие от предыдущих детских моделей, доступных только мальчикам из привилегированных семей, эти честно служили всем. Даже родители со средним достатком могли купить сыну или дочери нечто похожее на взрослый велосипед.

Во второй половине XIX века, когда появлялись велосипеды «костотрясы» и «пауки», многие компании занялись производством уменьшенных копий взрослых велосипедов, производя «костотрясики» и «паучки» для детей. Так они могли присоединяться к велопрогулкам своих родителей. Из-за жёстких гендерных ролей, принятых в то время, детские велосипеды производились в основном для мальчиков, однако были и трёхколёсные модели для девочек со скамеечками вместо сидел.



**Конь педальный.** СССР, 1960-е гг.



Трёхколёсный детский велосипед