

# ВНЕДРЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТЬ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ И НАУКОЕМКИХ РАКЕТНЫХ РАЗРАБОТОК

**Валерий Игнатьевич Гуров**, д.т.н., ГНЦ РФ ЦИАМ  
**Юрий Васильевич Демьяненко**, д.т.н., АО КБХА  
**Юрий Иванович Каналин**, НПО Энергомаш  
**Евгений Николаевич Ромасенко**, к.т.н. НПО Энергомаш

*Представлены достижения России в разработке ключевого агрегата мощных жидкостных ракетных двигателей: турбонасосного агрегата (ТНА). Показаны перспективы дальнейшего совершенствования ТНА с повышением его конверсионных возможностей, в частности, по перекачке различных криогенных жидкостей, включая сжиженный природный газ и водород.*

*Russia's achievements in the development of a key unit of powerful liquid propellant rocket engines-the turbo-pump unit (TPA) are presented. The prospects for further improvement of TPA with increasing its conversion capabilities, in particular, for pumping various cryogenic liquids, including liquefied natural gas and hydrogen, are shown*

**Ключевые слова:** мощные жидкостные ракетные двигатели, ЖРД, высокие технологии, наукоемкие технологии, перспективы совершенствования, конверсионные возможности.  
**Keywords:** powerful liquid rocket engines, liquid propellant rocket engines, rocket jet engines, high technologies, knowledge-based technologies, prospects for improvement, conversion capabilities.

Россия является одним из мировых лидеров в создании мощных жидкостных ракетных двигателей (ЖРД). На американских ракетоносителях "Атлас-5" и "Антарес" применяются российские двигатели РД-180 и РД-181 соответственно тягой 400 и 200 тонн производства АО НПО Энергомаш им. академика В.П.Глушко (далее "НПО Энергомаш").

Ключевым агрегатом [1] ЖРД большой тяги является турбонасосный агрегат (ТНА). По высказыванию академика РАН Б.И. Каторгина на разработку, создание и доводку ключевого агрегата ЖРД затрачиваются основные усилия (до 80%) конструкторов и испытателей [2]. Создать надежно функционирующий ТНА - значит создать двигатель [2]. Важным показателем характеристик турбонасосных агрегатов ЖРД является его удельная масса, т.е. масса ТНА, отнесенная к мощности. Масса ТНА может составлять 25-35% от массы ЖРД [3-4]. Основные направления снижения указанной массы реализуются совершенствованием схемных решений [3] и повышением [4] быстроходности роторов ТНА. Известно, что с повышением мощности ТНА снижается число оборотов ротора [4] при неизменном уровне параметра В, который характеризует напряженность работы ротора. Параметр В является произведением мощности агрегата на квадрат оборотов и впервые обоснован в работе [1]. Достижения науки и техники позволяют повышать по годам уровень параметра В. Однако чрезмерное повышение числа оборотов ротора ТНА ограничено возникновением кавитации в насосах данного агрегата. Для исключения отрицательного влияния кавитации на работу насосов ТНА вся система подачи топлива выполняется с предвключенными бустерными турбонасосными агрегатами (БТНА).

Улучшение технических показателей БТНА проводится в тесной интеграции ряда предприятий, в том числе и в направлении совершенствования методов расчета и проектирования проточной части оседагональных предвключенных насосов в этих агрегатах. В настоящее время разработан и эксплуатируется целый ряд быстроходных насосов БТНА ЖРД с высокими массовыми и антикавитационными показателями для работы на различных криогенных жидкостях, включая сжиженный природный газ (СПГ). Сравнение различных инновационных разработок осуществляется в рамках выполнения требований к показателям массы, надежности и эффективности работы БТНА с учетом их коммерческой привлекательности.

## Перспективность схемы совмещения оседагонального колеса насоса с колесом приводной турбины

Традиционно БТНА конструируются с приводной турбиной, механически связанной с колесом насоса консольно по валу, что приводит к повышению массы конструкции по сравнению со схемой технического решения [3]. Схема предполагает объединение конструкции колеса насоса с рабочим колесом приводной турбины (РКТ).

В работе [4] раскрыта необходимость использования БТНА и изменения конструктивных их схем по истории создания, начиная с конца 50-х годов прошлого века и до нашего времени. В частности,

по патенту [3] показано, что приводная турбина, объединенная конструктивно с оседагональным колесом на его бандаже, работает на окислительном газе с температурой вблизи 800К. Этот газ, отбираемый из выходной полости силовой турбины ТНА кислородно-керосинового ЖРД и поступающий после прохождения через турбину БТНА в выходную полость насоса. В работе [5] обстоятельно исследованы особенности схемы патента [3] по сравнению с иными вариантами выполнения БТНА. Представленная конструктивная схема позволяет заметно уменьшить массу агрегата путем сокращения его осевого габарита, а надежность ее работы подтверждена успешным использованием в России и в США современных ЖРД (РД-170, РД-180, РД-181, РД-191 и др.) производства НПО Энергомаш.

В ГНЦ РФ ЦИАМ совместно с НПО Энергомаш разработан соосный трехкаскадный кислородный насос нового поколения (КНП) [6] для применения в ЖРД большой тяги. При этом первые два каскада КНП выполнены по схеме совмещения колеса насоса с расположением на бандаже РКТ приводной турбины. Это существенно упрощает конструкцию БТНА с одновременным уменьшением массы агрегата. Третий каскад насоса, связанный по валу с основной турбиной, имеет одинаковый с ТНА, например, двигателя РД-191 уровень напряженности параметра В ротора. Проведенные конструктивные проработки указанного КНП (рис. 1) показали необходимость автономного расположения первых двух каскадов насоса. Кроме того, выявлены возможности широкого наземного применения первого каскада КНП при перекачке различных криогенных жидкостей, в том числе сжиженного природного газа (СПГ).

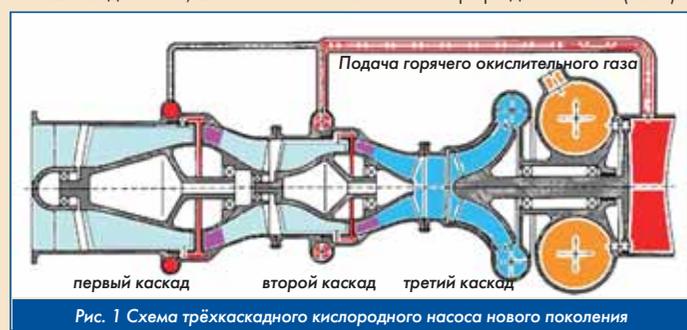


Рис. 1 Схема трёхкаскадного кислородного насоса нового поколения

Главной конструктивной особенностью КНП является (по аналогии с 3-х валным воздушно-реактивным двигателем) механическая разобщенность каскадов по валам с разными числами оборотов: связь между ступенями насосов - гидродинамическая, что позволяет повысить число оборотов 3-ого каскада, связанного по валу с основной турбиной ТНА. В результате средне интегральное по ротору КНП число оборотов  $n_{ср}$  повышается: оно определяется дробью от деления на суммарную мощность КНП суммы слагаемых произведений мощности на число оборотов каждого каскада. Надежность насоса КНП заметно повышается за счет обеспечения при входе в третий каскад давления потока на 10%, превышающего критическое давление кислорода, равное 5,09МПа, что снижает вероятность быстротечного (5-10 мс) разгара металла конструк-

ции [1] при касании ротора о статор.

В [7-9] представлены результаты теоретического рассмотрения массовых показателей КНП применительно к ЖРД РД-191. Показано, что среднеинтегральное число оборотов  $n_{cp}$  первых двух каскадов насоса КНП равно 10260 об/мин, что на 45% выше числа оборотов бустерного насоса двигателя РД-191, при этом минимальное давление кислорода на входе в первый каскад остается прежним, а число оборотов 3-го каскада, связанного по валу с основной газовой турбиной и керосиновым насосом, равно 263000 об/мин, что на 14,3% выше числа оборотов ротора ТНА двигателя РД-191. Указанное повышение числа оборотов на 14,3% позволяет теоретически заметно уменьшить массу ТНА.

Вместе с тем, проработки конструкции, проведенные в НПО Энергомаш, первых двух каскадов КНП показали (с учетом необходимости дополнительного ужесточения корпусов БТНА, отстройки от критических частот роторов, обеспечения надежности работы дополнительной пары подшипников и др.) увеличение до 100 кг массы 2-х каскадного БТНА по отношению к теоретическому результату, равного 61 кг. Полученное заключение стимулировало возможность разработки быстроходного однокаскадного БТНА с учетом современных достижений в расчете и проектировании проточной части оседагонального колеса. Такие проработки проведены в двух российских центрах ракетного двигателестроения - НПО Энергомаш и АО КБХА (рис.2 и рис.3) с получением следующих данных (в скобках данные АО КБХА):

1. Мощность насоса (турбины) БТНА, кВт ..... 2686 (3420).
2. Число оборотов ротора, об/мин ..... 8900 (9600).
3. Повышение давления в БТНА, МПа..... 5,3 (5,44).
4. Превышение критического давления над давлением насыщенных паров на входе в насос БТНА, МПа..... 0,24 (0,167).
5. Масса БТНА, кг.....108 (115).
6. Кавитационный коэффициент быстроходности Скр ..... 3800 (4780).

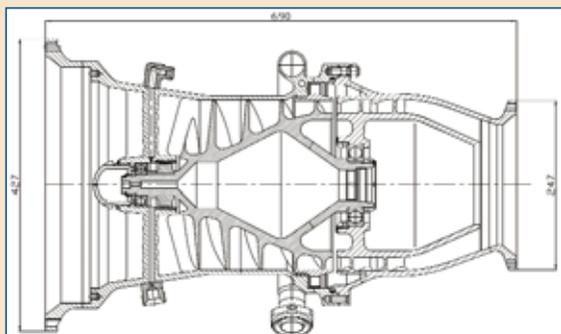


Рис. 2 Схема высоконапорного БТНА варианта НПО "Энергомаш"

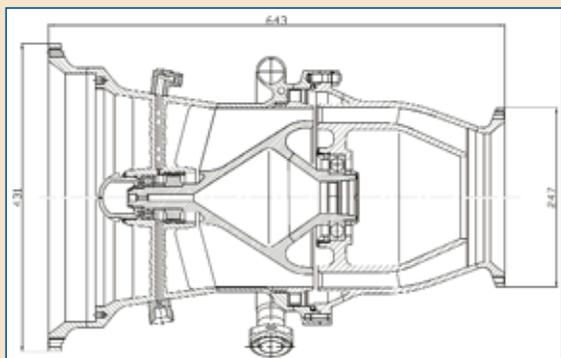


Рис. 2 Схема высоконапорного БТНА варианта АО КБХА

8-10% за счет повышения до 14,3% числа оборотов основного ротора ТНА, включающего в себя основной кислородный насос, основной керосиновый насос и основную силовую турбину. При этом обращает на себя внимание более высокие антикавитационные показатели БТНА, достигнутые в варианте АО КБХА, что заставляет подробнее рассмотреть подходы специалистов этой фирмы.

При расчете и проектировании быстроходного БТНА взамен 2-х каскадного агрегата на одинаковые параметры предъявляются

очень высокие антикавитационные и энергетические требования. Дополнительно необходима минимизация габаритных размеров и массы насоса в сочетании с обеспечением высокой надежности.

Вариантные расчеты параметров БТНА, проведенные в АО КБХА, показали, что наиболее полно вышеуказанные противоречивые требования выполняются при использовании насоса с оседагональным колесом открытого типа, имеющим постоянный наружный диаметр и профилированную втулку - диаметр втулки увеличивается от входа к выходу колеса. Коэффициент быстроходности насоса оценивается величиной ~217.

Методика по расчету параметров насосов приведена в работе [10]. Для практического применения методики разработан программный продукт на ЭВМ под наименованием "WINDIAG". Описание и технические возможности программы "WINDIAG" изложены в работе [11].

Одной из особенностей методики является применение при построении открытых лопаток оседагонального колеса линейчатых поверхностей общего вида (ЛПОВ), в которых, в общем случае прямолинейные образующие имеют наклон к диаметральной плоскости и не пересекаются с осью колеса, но пересекаются с поверхностью втулки. Такие поверхности, с одной стороны, являются технологичными, поскольку могут быть получены с требуемой точностью фрезерованием цилиндрическими или коническими фрезами на станках с пятью степенями свободы.

Посредством ЛПОВ может быть получена форма лопаток, которая по входу колеса обеспечивает предельно высокую антикавитационную устойчивость насоса, а по выходу колеса форма лопаток обеспечивает структуру потока жидкости с радиальным распределением энергии, приближающимся к закону "свободного вихря".

Следует также добавить, что криволинейная форма (в меридиональном сечении) высоких и тонких лопаток на антикавитационном участке колеса позволяет повысить жесткость и прочность этих лопаток.

Цилиндрический наружный диаметр колеса дает возможность применить достаточно малый радиальный зазор между лопатками и корпусом, что, при прочих равных условиях, положительно сказывается на экономичности насоса. Ряд параметров насоса для БТНА разработки АО КБХА приведен в табл. 1. При расчете параметров обращено внимание на достижение максимальных антикавитационных качеств насоса, что привело к некоторому снижению КПД этого насоса.

Таблица 1. Параметры оседагонального насоса

Наименование параметра	Значение параметра
Наружный радиус колеса, м	0,125
Радиус втулки на входе колеса, м	0,0375
Радиус втулки на выходе колеса, м	0,1074
Длина колеса по втулке, м	0,1615
Радиальный зазор между лопатками и статором, м	0,0015
Количество основных лопаток, шт.	3
Количество первых дополнительных лопаток, шт.	3
Количество вторых дополнительных лопаток, шт.	6
Толщина входной кромки основной лопатки, м	0,00055
Толщина лопатки на наружной поверхности колеса, м	0,0032
Угол установки лопатки на наружной поверхности на входе колеса, град.	6,82
Расход жидкости на входе в насос, кг/с	460,0
Температура жидкости на входе в насос, К	95,0
Давление насыщенных паров кислорода на входе, МПа	0,167
Давление кавитационного срыва насоса, МПа	0,337
Потребное минимальное давление на входе в насос, МПа	0,390
Повышение давления в насосе, МПа	5,44
Полный КПД насоса	0,687
Мощность насоса, кВт	3421,0
Превышение давления кавитационного срыва насоса над давлением насыщенных паров кислорода, МПа	0,170
Частота вращения ротора, об/мин	9603

Таблица 1. (продолжение)

Наименование параметра	Значение параметра
Действительный напор насоса, кДж/кг	4,8
Коэффициент быстроходности насоса	217
Объемный расход кислорода на входе в насос, м <sup>3</sup> /с	0,413
Коэффициент кавитации насоса	0,0119
Кавитационный коэффициент быстроходности	4788
Температура кислорода на выходе насоса, К	97,6
Объемный расход жидкости по средней плотности, м <sup>3</sup> /с	0,414
Угол установки лопаток отвода на входе, град.	28,0
Угол установки лопаток отвода на выходе, град.	90,0
Количество лопаток отвода, шт.	15

Рассмотренные схемы БТНА и КНП с применением прорывного технического решения [3] открывают их возможности по продвижению данного решения в общую промышленность. В частности, первый каскад КНП БТНА может успешно перекачивать различные криогенные жидкости [12] при соблюдении геометрического, кинематического и динамического подобия в соответствии с [13].

**Конверсионные возможности современной схемы кислородно-го БТНА**

Недостатком применения схемы БТНА по патенту [3], успешно реализованной в составе ЖРД НПО Энергомаш, для конверсионного применения является загрязнение кислорода на выходе из насоса продуктами сгорания керосина в кислороде, подаваемых в турбину (пары воды и двуокись углерода). Возможно применительно к наземному использованию первого каскада БТНА заменить окислительный газ с продуктами горения на газообразный кислород высокого давления и с температурой окружающей среды. В таком варианте работы криогенного турбонасоса (агрегат КРИОТЭН) расширяются возможности его использования в различных отраслях промышленности, в том числе для перекачки различных жидкостей. Перекачка криогенных жидкостей с помощью агрегата КРИОТЭН осуществляется при подаче на турбину газа однородного по химической формуле и составу с перекачиваемой жидкостью (рис.4).

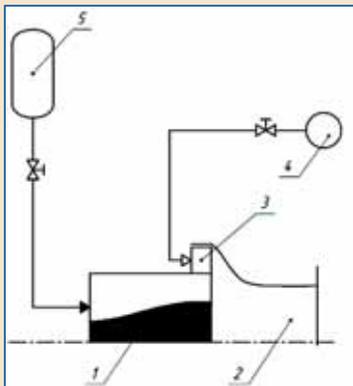


Рис. 4 Схема агрегата подачи криогенной жидкости  
 1 - шнековый насос;  
 2 - выход насоса;  
 3 - рабочее колесо турбины;  
 4 - источник газа высокого давления с температурой окружающей среды;  
 5 - емкость с криогенной жидкостью.

окружной скорости при входе в насос, а динамического подобия - относительный коэффициент напора насоса. Этот коэффициент выражается отношением напора насоса к квадрату окружной скорости на наружном диаметре.

Важное свойство агрегата КРИОТЭН заключено в возможности широкого изменения параметров рабочих тел за счет изменения его числа оборотов n. Так, например, при n= 10000 об/мин расход водорода увеличится до 47 кг/с, а перепад давления в насосе - до

0,24МПа вместо 30 кг/с и 0,1МПа соответственно (см. строку 5 табл. 2), а расход и перепад давления в насосе при работе на СПГ (см. строку 3 табл. 2) увеличится соответственно - до 275 кг/с и 1,46 МПа. Варьирование мощности и числа оборотов агрегата предполагается обеспечивать изменением давления газа перед турбиной 4 (см. рис.2).

Таблица 2

Криогенная жидкость	Расход G, кг/с	Входная температура, К	Мощность N, кВт	Перепад давления на насосе, МПа	Плотность жидкости, кг/м <sup>3</sup>
Жидкий кислород	460	95	790	1,6	1110
Сжиженный природный газ (СПГ)	176	111	310	0,6	425
Жидкий азот	335	77	575	1,2	808
Жидкий водород	30	21	50	0,1	70

Защищенный патентом агрегат КРИОТЭН обладает высоким конверсионным потенциалом. Несомненные преимущества перед известными аналогами (простота и подтвержденная надежность конструкции, малая масса и стоимость, возможность перекачивания различных криогенных жидкостей, отсутствие загрязнения перекачиваемой жидкости посторонними включениями и др.) могут привлечь внимание специалистов разных отраслей промышленности. Большие возможности по использованию агрегата КРИОТЭН открываются в области транспортировки СПГ, в частности, с помощью океанских танкеров газовозов. В целом, перекачка СПГ от завода до различных транспортных средств может осуществляться при работе турбины 4 (см. рис 4) на природном газе магистрального трубопровода, расположенного вблизи завода. Очевидны перспективы представленного технического предложения при реализации, например, проекта Ямал СПГ.

Наиболее актуальным является применение агрегата КРИОТЭН при реализации криогенного способа заправки емкостей, представленного в [14]. Применительно к водороду указанная заправка емкости объемом 10 м<sup>3</sup> может осуществляться при работе агрегата КРИОТЭН на жидком водороде в течение менее 10 секунд с параметрами по расходу и выходному давлению, равными соответственно 47 кг/с и 0,75 МПа. Источником жидкого водорода может служить модернизированный вариант транспортной цистерны ЦВТ-25/6 с запасом жидкого водорода массой 1500 кг при максимальном давлении 0,6 МПа. Расчеты показывают, что газификация жидкого водорода в изохорическом процессе за счет тепла окружающей среды с достижением давления 100 МПа при нормальной температуре происходит за 24-26 часов. Очевидно, что столь малые времена заправки выбраны по необходимости: повышение давления в результате интенсивной газификации водорода в начальный период его поступления в емкость не должно превышать давление за насосом.

Таким образом, представленный материал показывает широкие возможности конверсионного использования результатов опережающего научно-технического задела в области разработки ключевого агрегата жидкостных ракетных двигателей большой тяги. Это создает основу для замещения импортного оборудования по перекачке различных криогенных жидкостей, включая технологии применения сжиженного природного газа и жидкого водорода.

**Заключение**

1. Сравнительного анализ передовых достижений в разработке мощных российских жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) показал высокий уровень опережающего научно-технического задела в области разработки ключевого агрегата жидкостных ракетных

двигателей большой тяги - турбонасосного агрегата (ТНА) и его предвключенного бустерного турбонасосного агрегата (БТНА). В частности, прорывное техническое решение [3] позволило заметно уменьшить массу ТНА и повысить надежность его работы, что подтверждено успешными многочисленными пусками различных ракетносителей с ЖРД РД-180, РД-191 и др. Современные достижения в расчётных работах и проектировании высоконапорных БТНА позволяют дополнительно уменьшить массу ТНА на 8-10% применительно к кислородно-керосиновым ЖРД тягой 200 тонн

2. Раскрытые конверсионные возможности перспективных БТНА для широкого использования в перекачке различных криогенных жидкостей создают основу для замещения импортного оборудования, в частности, для перекачки сжиженного природного газа и жидкого водорода - перспективных энергоносителей. **П**

### Литература

1. Гуров В.И., Шестаков К.Н.// Разработка криогенных турбонасосов. М.: Информконверсия. 2000.
2. Гуров В.И., Гулиенко А.И., Семенов В.Л., Шерстянников В.А., Яновский Л.С.// Вклад ЦИАМ в создание ракетных двигателей. М.: Издание ООО "Двигатели". 2010.
3. Ромасенко Е.Н. Бустерный турбонасосный агрегат. Патент РФ № 2106534 на изобретение от 25.09.1998.
4. Ромасенко Е.Н., Толстиков Л.А. Бустерные турбонасосные агрегаты ЖРД конструкции НПО Энергомаш // Труды №22 НПО Энергомаш имени академика В.П.Глушко. 2004.
5. Каналин Ю.И., Ромасенко Е.Н. Гидравлические характеристики оседагональных бустерных насосов при их работе с турбоприводами// Труды №20 НПО Энерго-

маш имени академика В.П.Глушко. 2002.

6. Гуров В.И., Ромасенко Е.Н., Чванов В.К., Шестаков К.Н. Система подачи жидкого кислорода и способ его подачи из бака потребителю. Патент РФ на изобретение № 2547353 от 28.02.2014 г.
7. Гуров В.И., Виончек В.К., Ромасенко Е.Н., Шестаков К.Н. Кислородный насос нового поколения // Двигатель. №5. 2014.
8. Гуров В.И., Шестаков К.Н., Ромасенко Е.Н. Схемные возможности уменьшения удельной массы турбонасосов// В кн. Вклад ЦИАМ в создание ракетных двигателей (см. п.2 списка литературы).
9. Гуров В.И., Каналин Ю.И., Ромасенко Е.Н. Перспективы совершенствования турбонасосных агрегатов жидкостных ракетных двигателей большой тяги// Сб. тезисов. Научно-технический конгресс по двигателестроению (НТКД-2018). Москва, 4-6 апреля 2018.
10. Валухов С.Г., Демьяненко Ю.В., Петров В.И.// Высокооборотные лопатные оседагональные насосы. Теория, расчет характеристик, проектирование и изготовление. Изд. ВГУ. Воронеж, 1996.
11. Демьяненко Ю.В. Автоматизация расчета параметров и проектирования проточной части рабочих элементов турбонасосных агрегатов ЖРД// Научно-технический сборник. КБ химавтоматики: В 3 томах / Под ред. В.С. Рачука. - Воронеж: "Квартал", 2011, т. 2.
12. Гордин М.В., Гуров В.И., Селиванов О.Д. Унифицированный агрегат для перекачки криогенных жидкостей. Доклад 19.09.2017 года на Пленарном заседании Международной конференции СИНТ-17, Воронеж.
13. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике // М. Наука. 1977.
14. Гуров В.И. Продвижение водорода в промышленность. Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. Том 1, №2, 2015.

Связь с авторами: [gurov@ciam.ru](mailto:gurov@ciam.ru)

## НОВЫЙ ВИТОК РАЗВИТИЯ

1 октября 2018 года Клуб авиастроителей объявил о начале очередной - шестнадцатой - Международной олимпиады по истории авиации и воздухоплавания имени А.Ф. Можайского ([olymp.as-club.ru](http://olymp.as-club.ru)). Журнал "Двигатель" уже не раз писал об этой олимпиаде. И не раз организаторам был задан вопрос о том, как в дальнейшем складывается жизнь ребят - победителей этого конкурса.

По нашим подсчетам абсолютное большинство финалистов олимпиады по мере взросления поступили в высшие технические заведения страны и, по их окончании, связали свою жизнь с авиацией и смежными с ней отраслями.

А в 2016 году Клуб авиастроителей при поддержке Авиакосмофонда стал инициатором нового проекта - одному из победителей олимпиады было предложено сформировать Молодёжное конструкторское бюро (МКБ), которое начало свою работу в структуре дочернего предприятия фонда - ООО "АКФ-Консалтинг".



Прошло почти два года и теперь это уже вполне сформировавшийся слаженный коллектив молодых амбициозных студентов и выпускников московских вузов. Возглавляет коллектив главный конструктор МКБ, выпускник МАИ по специальности "Самолето- и вертолётостроение" Михаил Шмаёв. В составе коллектива его сокурсник в прошлом, а ныне инженер-конструктор Александр Литвин; студенты МАИ, в будущем конструкторы авиадвигателей Денис и Никита Данилишины; студент "Строгановки", в будущем дизайнер средств транспорта Вазген Гиловян. Возможность общаться и получать консультации у членов Клуба авиастроителей - признанных профессионалов - и работа психологов сплотили коллектив за весьма короткое время.

В МКБ уже ведутся работы по модернизации, улучшению внешнего вида серийной продукции и реинжинирингу по заказам нескольких предприятий, ведутся и перспективные разработки. Это и учебно-тренировочный самолёт, способный в условиях аэродрома превратиться в транспортный, пассажирский, сельскохозяйственный или спасательный, и универсальный блок агрегатов, и (на его основе) мини-трактор, и детский велосипед с ручным приводом. Молодые конструкторы стараются не только наилучшим образом использовать знания, которые полу-



чают в вузах и в общении со старшими, но и быть в авангарде конструкторской мысли. МКБ уже имеет один приоритет и ещё одно техническое решение готовится к патентованию. На некоторые проекты получены положительные заключения МПТУ им. Баумана, ряд работ был представлен на Международном Форуме Двигателестроения - 2018. МКБ открыто и для новых заказов. Не так уж и плохо для двухлетнего коллектива со средним возрастом сотрудников 23 года!

Сегодня молодые специалисты МКБ стараются в своей работе объединить авиационные технологии и достижения технического дизайна для решения актуальных практических задач, а глядя на них другие ребята ждут своей очереди. Ведь выход на самоокупаемость этого КБ даст возможность организовать следующее молодёжное КБ.

Успехов вам, ребята!

**П**

**Сергей Валентинович Гвоздев,**  
исполнительный вице-президент  
Клуба авиастроителей