

## ИСТОРИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ И РАЗВИТИЯ АГРЕГАТОВ НАДДУВА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

© 2009 О. В. Батурин, Н. В. Батурин, В. Н. Матвеев

Самарский государственный аэрокосмический университет

Рассматривается история создания и развития агрегатов наддува ДВС. Раскрыты основные этапы и направления их развития, показаны основные предпосылки и ограничения, которые переопределили путь развития агрегатов наддува.

*Механический наддув, турбонаддув, форсирование двигателей внутреннего сгорания, турбоагрегат, поршневой двигатель, силовая установка*

История изобретения и развития двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и транспортных средств, их использующих, достаточно широко известна и описана во многих источниках. Складывается мнение, что она не имеет белых пятен. Однако это не так. Например, в русскоязычной литературе практически отсутствует информация об изобретении и развитии наддува – наиболее распространенного и эффективного способа повышения мощности ДВС. Авторы на основе анализа информации большого числа российских и зарубежных источников впервые в России наиболее полно изложили и систематизировали историю изобретения и развития агрегатов наддува ДВС.

Наддув ДВС имеет долгую и интересную историю. Уже первые конструкторы ДВС пришли к выводу, что предварительное сжатие рабочей смеси до поступления ее в цилиндры позволило бы получить прибавку мощности при сохранении габаритов машины.

У истоков наддува стоял Готлиб Даймлер. Он в 1885 году получил патент *DRP 34926* на систему наддува двигателя с принудительным зажиганием. Попытки Даймлера использовать наддув оказались неэффективными: прирост мощности был небольшим, а техническое исполнение – чрезмерно сложным.

К идее применения предварительного сжатия воздуха на входе в двигатель пришел также и Рудольф Дизель. Он опробовал его уже на втором опытном экземпляре своего двигателя в 1896 г. Двигатель показал заметное повышение эффективной мощности, но коэффи-

циент полезного действия был ниже, чем у дизеля без наддува. Аналогичные результаты имели и другие изобретатели. Практически до начала Первой мировой войны развитие наддува шло очень осторожно. Это происходило из-за того, что инженеры слабо представляли себе, как должен осуществляться наддув и какая его конструктивная схема является наилучшей. В результате возникло огромное разнообразие устройств, применяемых для предварительного сжатия воздуха на входе в ДВС, и схем организации наддува.

В 1905 году Альфред Бюши (рис. 1) (*Alfred J. Buchi*) получил патент на «машину, состоящую из последовательно расположенных компрессора, поршневого двигателя и турбины (рис. 2)». Она имела многоступенчатый осевой компрессор со степенью сжатия около четырех, который приводился в движение многоступенчатой осевой турбиной, использовавшей в качестве рабочего тела выхлопные газы поршневого двигателя. Это изобретение заложило основы турбонаддува.



Рис. 1. Альфред Бюши

В дальнейшем Бюши получил еще несколько патентов в этой области. В частности, изобретатель для улучшения коэффициента полезного действия предусмотрел охладитель наддувочного воздуха, наличие которого у турбодвигателей сегодня стало уже стандартом.

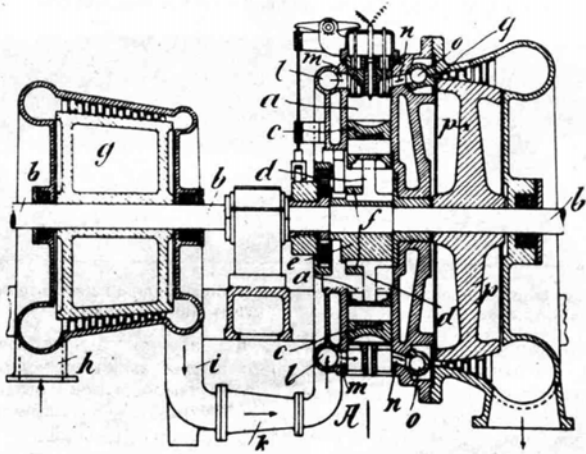


Рис. 2. Турбокомпрессор, разработанный Альфредом Бюши

Первое известное практическое применение турбокомпрессора относится к 1910 году, когда экспериментами с газовым наддувом занялась американская фирма *General Electric*. Первый коммерческий турбонагнетатель был изготовлен в Швейцарии на фирме *BBC (Brown Boveri and Cie.)* в 1923 году и имел двухступенчатый центробежный компрессор и одноступенчатую осевую турбину (рис. 3) [8,12].

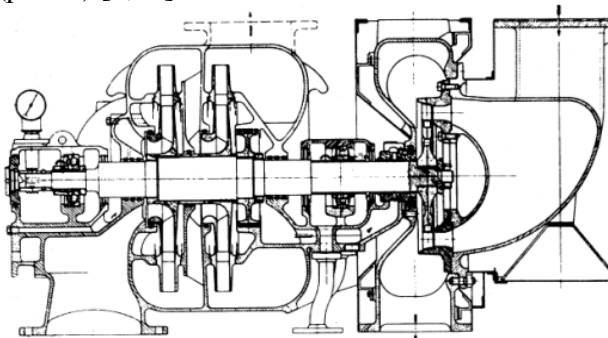


Рис. 3. Первый коммерческий турбокомпрессор производства фирмы *Brown Boveri and Cie* (1923)

Несмотря на явные преимущества турбонаддува как в отношении мощности, так и в экономичности, его путь от изобретения до широкого применения был долгим и занял более половины столетия. Дело в том, что частота вращения турбокомпрессора составляет несколько десятков или даже сотен ты-

ся оборотов в минуту, а температура газов на выходе из двигателя достигает  $1000^{\circ}\text{C}$ . Обеспечение работоспособности узла в таких условиях достаточно дорого и технически сложно даже в наше время, а в начале двадцатого века существовавший тогда уровень технологий делал решение этой задачи практически нереальным.

Наибольший толчок в развитии наддува дало развитие авиации, усиленное Первой мировой войной. Она отчетливо показала, что аэроплан является грозным и эффективным оружием. Это в свою очередь повлекло за собой быстрое развитие и совершенствование самолетов и их двигателей. При создании авиационных моторов сразу же встала следующая проблема. С набором высоты плотность атмосферного воздуха снижается и, как следствие, - теряется мощность поршневого двигателя. При высоте порядка 5400м над уровнем моря из-за пониженного массового наполнения воздушным зарядом цилиндров двигателя, его мощность снижается почти на 50%. Наддув оказался тем средством, которое помогло решить проблему высотности самолетов. И если на земле он развивался медленно и со значительными техническими сложностями, то в воздухе наддув быстро занял свое место, поскольку из-за низких температур в воздухе ослаблялась проблема детонационного горения и охлаждения цилиндров. Кроме того, в авиации применялись более качественные сорта топлив.

Первым авиационным двигателем с механическим наддувом считается двухтактный ротативный двигатель Мюррея - Вильяма, в котором в 1910 году благодаря наддуву при подъеме на высоту до 5200м над уровнем моря сохранялись условия наполнения, зарядки и продувки цилиндра, соответствовавшие условиям работы на уровне моря. Газотурбинный наддув впервые на авиационном двигателе был применен французом Августом Рато в 1917 г. Его опыты были неудачными по ряду причин, основной из которых были ограничения технологий того времени.

Производители авиационных двигателей в те времена, как правило, являлись и производителями автомобильных двигателей. Поэтому разработки, направленные на

повышение высотности самолетов, нашли применение и в наземных двигателях для повышения их мощности. Период с двадцатых годов 20 века до конца Второй мировой войны стал расцветом механического наддува.

На двигатели гоночных автомобилей "Фиат" и "Мерседес" с 1923 года стали устанавливаться компрессоры с утапливаемыми лопатками конструкции Уиттинга. Автомобиль «Mercedes 10/40» (1923) (рис. 4) стал первым серийным легковым автомобилем, двигатель которого был оснащен механическим наддувом. Это позволило поднять его мощность с 40 до 65 л.с.



Рис. 4. «Mercedes 10/40» (1923) – первый серийный легковой автомобиль, оснащенный механическим нагнетателем

Однако проблемы со смазкой и низкая долговечность компрессоров Уиттинга привели к тому, что они были вскоре вытеснены компрессорами типа "Рут" (рис. 5). Их достоинством является то, что роторы в корпусе и друг относительно друга работают с зазорами. Благодаря этому снижаются шумность работы, износ, не требуется смазка роторов. Компрессоры «Рут» применялись лишь кратковременно: на высоких скоростях движения автомобиля и при подъемах, а для снижения опасности детонации - лишь при полных частотах вращения коленвала двигателя.

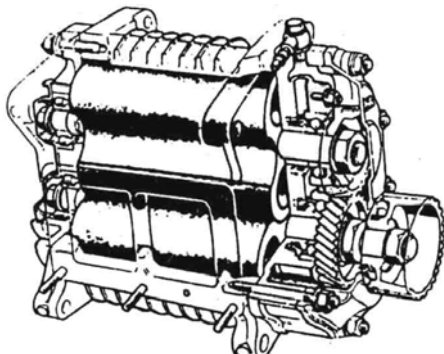


Рис. 5. Компрессор типа «Рут»

Механический наддув легко реализовать на практике, но он имеет существенный недостаток - для собственного привода ему нужна была внешняя мощность, которую он должен был отнять у пригревшего его на себе двигателя. Этот факт не способствовал росту экономичности. Поэтому, несмотря на определенные сложности, совершенствование турбонаддува также не стояло на месте.

Турбонагнетатели в первую очередь разрабатывались для мощных двигателей, установленных на кораблях и стационарных силовых установках. К тому же уровень технологий того времени не позволял создать компактный агрегат для применения на транспортных средствах. Впервые дизельные двигатели с турбонаддувом были применены в качестве силовых установок в 1923 г. на германских теплоходах «Danzig» и «Preussen» (рис. 6). Мощность десятицилиндровых моторов за счет этого удалось поднять с 1750 до 2500 л.с.

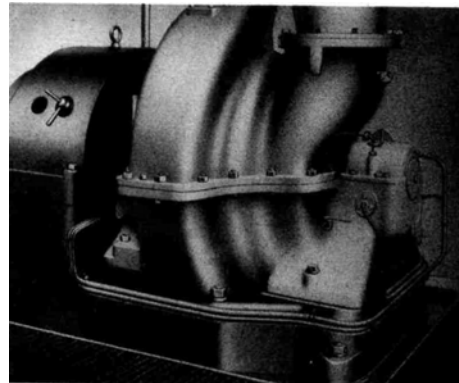


Рис. 6. Турбонагнетатель корабля «Preussen», разработанный фирмой MAN

На советских подводных лодках С-1 и С-2 в 1940 году были установлены немецкие дизели М6V49/48 мощностью 2000 л.с. производства фирмы MAN с механическим наддувом. На других подводных лодках серии С стояли уже отечественные дизели 1Д с турбонаддувом. Турбонагнетатели применялись и на лодках других стран, в частности - на немецких.

Вскоре турбонаддув пришел на железную дорогу. В 1927 году система Бюши была установлена на тепловозах, выпускавшихся на швейцарском локомотивостроительном заводе в Винтертуре совместно с фирмой *Brown Boveri and Cie*. С 1935 года немецкая железная дорога стала оснащать 1400 - сильным дизелями с наддувом свои первые локо-

мотивы. В нашей стране тепловозы с турбонаддувом появились в конце Великой Отечественной войны, когда в рамках ленд-лиза нам были поставлены локомотивы фирмы *ALCO* (у нас их называли «тепловозы серии *D<sup>a</sup>*»). На отечественных тепловозах наддув стал применяться, начиная с 1948 года (на локомотивах *TЭ-1*) [11].

Швейцарский машиностроительный завод *Sauer* стал первой компанией, которая занялась разработками и испытаниями турбонагнетателей для двигателей грузовых автомобилей, и в 1938 году они появились на первых серийных автомобилях.

Основной областью применения турбонаддува в середине XX века стала авиация. В США к началу 40-х годов турбокомпрессорами фирмы *General Electric* оснащались двигатели серийных бомбардировщиков *B-17 (Flying Fortress)*, *B-24 (Liberator)*, истребителей *P-47 (Thunderbolt)*, *P-38 (Lightning)* и ряда других. Однако сложности с обеспечением работоспособности турбокомпрессора при работе от горячих выхлопных газов привели к разработке довольно оригинальных компоновочных решений. У указанных самолетов турбокомпрессор находился относительно далеко от двигателя: у бомбардировщиков - в задней части мотогондолы, у *P-38* - в средней части фюзеляжа, а на *P-47* - в хвосте. Горячие выхлопные газы сначала проходили через теплообменник и охлаждались воздухом от нагнетателя (очевидно, что это решение снижало эффект от наддува, но позволяло обеспечить работоспособность турбины), а затем дополнительно остывали в длинных подводных каналах, перед тем, как попасть в турбину. Для усиления охлаждающего эффекта на *B-17* газовый трубопровод к турбине проходил снаружи мотогондолы.

В СССР проблему высотности самолётов пытались решить другим оригинальным путем. В начале 40-х годов был создан дальний бомбардировщик Пе-8. Самолет имел пять дизелей с высоким наддувом, причем четыре двигателя работали на винты, а один - в качестве привода дополнительного компрессора, который включался в работу лишь при высотах порядка 5000 м над уровнем моря.

В период между 1940 и 1945 годами в США было произведено турбонагнетателей и двигателей с турбинами больше, чем во всем остальном мире. К концу сороковых годов фирма *General Electric* выпускала несколько моделей турбокомпрессоров мощностью 20...90 л.с. (15...67 кВт). На фирме были сделаны существенные наработки в области литья жаропрочных сплавов, аэродинамики радиальных турбин и центробежных компрессоров, уплотнения и смазки высокоскоростных подшипников. К 1952 году в США использовалось более 20 000 двигателей, оснащенных турбокомпрессорами.

После Второй мировой войны история начала века повторилась. Технологии наддува, отработанные в авиации, спустились на землю. В 50-х годах американская компания *Caterpillar* сумела приспособить турбонаддув к своим тракторам, а инженеры из фирмы *Cummins* применили турбодизели для своих грузовиков.

После войны в гоночном спорте царствовал механический наддув. Однако из-за больших потерь теплоты с выхлопными газами топливная экономичность таких двигателей была невысока. Поскольку дальнейшее повышение мощности механического наддува не соответствовало тенденциям гармоничного развития, Международная федерация автоспорта ввела классификацию, поощрявшую развитие двигателей без наддува, а в 1961 г. использование надуваемых двигателей в автоспорте было вообще запрещено. Это привело к совершенствованию рабочего процесса и конструкции атмосферных двигателей. В 1966 г. в классе «Формула 1» наддув был вновь разрешен. Однако вернулся он на машины уже в виде турбонаддува [4,5].

На легковых автомобилях турбонаддув впервые появился в 1963 г. Автомобильный концерн *General Motors* поставил на рынок сразу две модели, оснащенные турбонагнетателем: *Chevrolet Corvair Monza* и *Oldsmobile Jetfire* (рис. 7 и 8). Однако машины не имели успеха, и менее чем через год были сняты с производства. Причины этого крылись в плохом характере срабатывания, слабой кривой крутящего момента, большом расходе топлива и низком уровне надёжности при эксплуатации.



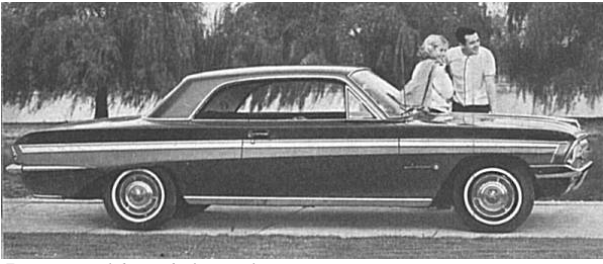


Рис. 7. Oldsmobile Jetfire - первый серийный легковой автомобиль, оснащенный турбонаддувом

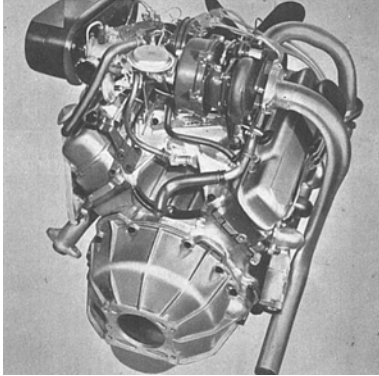


Рис. 8. Двигатель автомобиля Oldsmobile Jetfire

В 1977 году на одном из этапов гонок «Формула 1» победил болид *Renault* с турбодвигателем (рис. 9). С тех пор в этом классе гоночных машин турбокомпрессоры стали ставиться практически на всех моделях. Здесь турбодвигатель достиг своей наилучшей формы, так как позволял достичь невиданную ранее мощность. Наибольшего успеха здесь достигла фирма *BMW*, которая создала сверхмощный турбодвигатель, который в категории до 1,5 литров рабочего объема развивал мощность свыше 1000 л.с. Это привело к тому, что машины *BMW* были чемпионами «Формулы 1» с 1983 по 1989 годы. Однако расцвет наддува в «Формуле 1» длился недолго: в 1989 году регламент соревнований был изменен. Согласно новым изменениям теперь к гонкам допускались только двигатели без наддува.



Рис. 9. Renault RS1 – первый автомобиль класса «Формула 1», оснащенный двигателем с турбонаддувом

Успешное апробирование в гоночном спорте многих технических решений привело к накоплению важных знаний, которые были важны для использования наддува в

легковых машинах, а также способствовали росту популярности турбонаддува. В 70...80 годы почти все производители автомобилей предлагали как минимум одну модель с бензиновым турбодвигателем. Фирма *Porsche* была первой фирмой, успешно перенесшей гоночный опыт на серийные машины семейства *911 Turbo*. За ней далее последовали другие автопроизводители, такие как *SAAB*, *Audi*, *BMW* и др.

Долгое время развитие турботехнологии задерживалось необходимостью больших капиталовложений в развитие технологии, а также низкой стоимостью топлива. Однако нефтяной кризис 1973 года подтолкнул исследования в области применения турбокомпрессоров на коммерческих двигателях. В конце 80-х годов ужесточение экологических требований ещё больше ужесточило этот процесс.

Уже в 1973 на Международной автомобильной выставке во Франкфурте были представлены сразу несколько автомобилей с турбонаддувом. *BMW* выпустил первый немецкий серийный автомобиль с газотурбонаддувом, *2002 Turbo* (рис. 10 и 11). На этой машине установка турбонагнетателя позволила увеличить мощность на 30%: с 130 до 170 л.с. Однако коммерческому успеху машины помешали два фактора. Во-первых, в то время разразился энергетический кризис, во-вторых, двигатель не был надёжным. *Porsche* представил свой первый прототип *911 Turbo*, шестицилиндровый оппозитный двигатель которого при рабочем объеме 2,7 л развивал мощность свыше 240 л.с. Эта машина в дальнейшем имела большой коммерческий успех.



Рис. 10. Автомобиль BMW 2002 Turbo

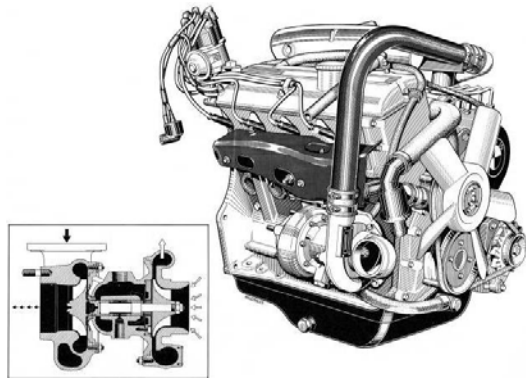


Рис. 11. Двигатель автомобиля BMW 2002 Turbo. Отдельно показана конструкция турбоагнетателя

Коренной перелом в развитии турбокомпрессоров произошел в 1977...1978 годах. В 1977 году увидел свет автомобиль *Saab 99 Turbo*, в котором впервые удалось добиться надёжной работы турбонаддува. В 1978 г. был выпущен *Mercedes – Benz 300 SD* (рис. 12 и 13), первый легковой автомобиль, оснащенный дизельным турбодвигателем. В 1981 г. за ним появился *Volkswagen Turbodiesel*.



Рис. 12. Mercedes – Benz 300 SD - первый серийный дизельный легковой автомобиль с турбонаддувом



Рис. 13. Турбокомпрессор двигателя автомобиля Mercedes – Benz 300 SD

Позже за немцами последовали традиционно сильные в области дизелей французские фирмы *Peugeot* и *Citroen*. При помощи турбокомпрессора производителям удалось увеличить эффективность работы дизельного двигателя до уровня бензинового, сохра-

нив при этом значительно более низкий уровень выброса в атмосферу выхлопных газов.

В настоящий момент уровень развития технологий таков, что сегодня турбонаддувом оснащаются практически все дизельные моторы. Появилось множество вариаций турбокомпрессоров: с двумя входными отверстиями на одну крыльчатку турбины (*twin-scroll*); с двумя турбокомпрессорами (первое применение — *Porsche 959*, 1987 г.); с турбинами переменной геометрии, в которых специальными подвижными сопловыми лопатками регулируется скорость и направление натекания газа на лопатки ротора, из-за чего двигатели становятся более отзывчивыми и тяговооруженными на малых оборотах.

Турбодизели широко используются для того, чтобы снизить удельный расход топлива и повысить экологические характеристики. Атмосферные дизели выпускаются в основном только для удешевления моделей.

В СССР первые серийные дизели с наддувом *ЯМЗ-238НБ* были выпущены в 1963 году на Ярославском моторном заводе для тракторов *К-700* (рис. 14 и 15). Вскоре стали выпускаться 12 цилиндровые дизели с наддувом *ЯМЗ 240М* для *БелАЗ* и *ЯМЗ 238Н(П)(Ф)* для автомобилей *МАЗ* и *КрАЗ* [6].



Рис.14. К-700 – первые отечественные тракторы с турбонаддувом

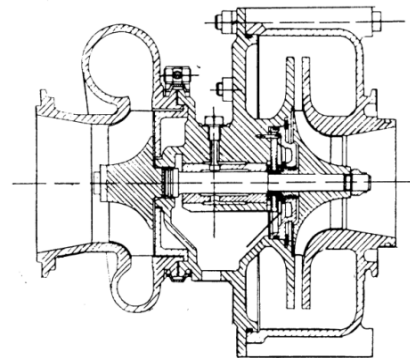


Рис.15. Турбокомпрессор ТКР-9, устанавливающийся на автомобилях БелАЗ, КрАЗ и тракторах К-700



По мере развития наддува и повышения его уровня, двигатели становились всё меньше при той же мощности, хотя насыщенность силовой установки вспомогательным оборудованием возрастала. В настоящее время конструкторы научились компактно располагать в подкапотном пространстве дизели с агрегатами наддува, регулирования, теплообмена.

На сегодняшний день установка турбокомпрессора на бензиновый двигатель рассматривается с точки зрения сокращения потребления топлива и, таким образом, на уменьшение уровня выброса  $CO_2$  и других вредных веществ. Таким образом, турбодвигатели служат способом уменьшения расхода энергоносителей и уменьшения выбросов в окружающую среду.

Анализируя сказанное выше, можно установить следующий факт. Тенденции развития ДВС показали, что наддув прочно занял свое место на двигателе. Растущая потребность в мощных компактных двигателях позволяет говорить о том, что это место занято им прочно и надолго. Сегодня турбокомпрессоры применяются на земле, на море и в воздухе. Они заставляют самолеты с поршневыми двигателями лететь выше, насосы качать большее количество воды, а генераторы вырабатывать большее количество энергии. Они позволяют грузовикам перевозить более тяжелые грузы, кораблям, поездам и автомобилям преодолевать большие расстояния с меньшими затратами топлива. На сегодняшний день наддув ДВС применяется в судовых и локомотивных силовых установках, двигателях легковых и грузовых автомобилей, специальной дорожной и сельскохозяйственной, военной технике, энергетических установках. У ряда фирм доля двигателей с наддувом в объеме производства достигает 50...100%.

Для удовлетворения нужд всех перечисленных областей хозяйства разными фирмами выпускаются сотни моделей агрегатов наддува с размерами от 25 до 950 мм. Их частота вращения находится в диапазоне от 10000 до 250000 об/мин. Самый большой турбокомпрессор спроектирован и изготовлен фирмой *ABB turbocharger* для самого мощного дизеля в мире (108920 л.с.). На данном двигателе устанавливается четыре агрегата наддува длиной 4200мм, диаметром 2400мм и весом 14,5 тонн [8].

### Библиографический список

1. Патархальцев, Н.Н. Наддув двигателей внутреннего сгорания: Учеб. пособие. / Н.Н. Патархальцев. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 319с.
2. Белоусов, А.Н. Теория и расчет авиационных лопаточных машин / А.Н. Белоусов, Н.Ф. Мусаткин, В.М. Радько. - Самара: Изд-во «Самарский дом печати», 2003. – 336 с.
3. Двигатели внутреннего сгорания: учебник для вузов. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов: / В.Н. Луканин, К.А. Морозов, А.С. Хачинян и [др.]; под ред. В.Н. Луканина и М.Г. Шатрова. – 3-е изд., перераб. и испр. – М.: Высшая школа, 2007. – 479с.
4. Лангкабель, Г.Х. Турбодвигатели и компрессоры: Справочное пособие / Г.Х. Лангкабель – М.: АСТ: Астрель, 2008. – 350с.
5. Бекман, В.В. Гоночные автомобили / В.В. Бекман. – Л.: Машиностроение. Ленинград. отд., 1980. – 320с.
6. Савельев, Г.М. Опыт доводки и производства турбокомпрессоров автомобильных дизелей: учебное пособие для институтов повышения квалификации / Г.М.Савельев, Б.Ф. Лямцев, Э.В. Аболтин. - М: 1985. - 94с.
7. Turbochargers.ru.
8. [www.abb.com/turbochargers](http://www.abb.com/turbochargers).
9. Раков, В.А. Локомотивы отечественных железных дорог (1842-1955) / В.А. Раков. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1995. – 564с.
10. Ховаха, М.С. Автомобильные двигатели / М.С. Ховаха. – М.: Машиностроение, 1977. – 591с.
11. Дробинский, В.А. Как устроен и работает тепловоз / В.А. Дробинский, П.М. Егунов. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1980. – 367с.
12. Материалы сети Интернет

### References

1. Patarhalcev N.N. Charger internal combustion engines: Textbook./ Patarhalcev N.N. – Moscow.: RUDN, 2003. – 319p.
2. Belousov A.N., Musatkin N.F. Radko V.M. Theory and calculation of aircraft turbomachine. - Samara: "Samara Publishing House Print", 2003. – 336p.
3. Internal combustion engines: a textbook for high schools. V 3 kn. Kn. 1. Theory

workflows: / VN Lukanin, KA Morozov, AS Hachinyan and [others], ed. VN Lukanina and MG Shatrova. - 3rd ed., Rev and Corr. - M.: Higher School, 2007. - 479p.

4. Langkabel, GH Turbo and compressors: A Reference Guide. / GH Langkabel - Moscow: AST: Astrel, 2008. - 350p.

5. Beckman V. Racing cars / VV Beckman - L.: Mechanical Engineering. Leningrad. ot-dnie, 1980. - 320p.

6. Savel'ev, GM Experience in refining and production of automobile turbochargers STVA diesels: a manual for training institutes / GM Saveliev, BF Lyamtsev, EV Aboltina. M: 1985. - 94s.

7. Turbochargers.ru.

8. [www.abb.com/turbochargers](http://www.abb.com/turbochargers).

9. Rakov V.A. Locomotives domestic railways (1842-1955)/ Rakov V.A.. 2 nd ed., Re-servant. and add. - Moscow: Transport. 1995 - 564p.

10. Hovaha M.S. Car engines / Hovaha M.S. - Moscow: Mechanical Engineering. 1977. - 591p.

11. Drobinsky V.A. How is constructed and operates locomotive. 3 nd ed., Re-servant. and add. - Moscow: Transport, 1980. - 367p.

12. Internet

## THE STORY OF INVENTION AND DEVELOPMENT OF SUPERCHARGE UNITS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

© 2009 O. V. Baturin, N. V. Baturin, V. N. Matveev

Samara State Aerospace University

The paper examines the story of creation and development of supercharge sets of internal combustion engines. The main stages and directions of their development are disclosed in the paper, the main preconditions and limitations, which predetermined the way of development of supercharge sets.

*Mechanical supercharge, turbocharge, forcing of internal combustion engines, turbosupercharger, reciprocating engine, power plant*

### Информация об авторах

**Батурин Олег Витальевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры теории двигателей летательных аппаратов Самарского государственного аэрокосмического университета. E-mail: [udet@mail.ru](mailto:udet@mail.ru). Область научных интересов: рабочие процессы в лопаточных машинах, вычислительная газовая динамика, агрегаты наддува ДВС.

**Батурин Николай Витальевич**, аспирант кафедры теории двигателей летательных аппаратов Самарского государственного аэрокосмического университета. E-mail: [nik-o-las@mail.ru](mailto:nik-o-las@mail.ru). Область научных интересов: рабочие процессы в лопаточных машинах, вычислительная газовая динамика.

**Матвеев Валерий Николаевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теории двигателей летательных аппаратов Самарского государственного аэрокосмического университета. E-mail: [tdla@ssau.ru](mailto:tdla@ssau.ru). Область научных интересов: рабочие процессы в лопаточных машинах, микротурбины.

**Baturin Oleg Vitalyevich**, Candidate of Technical Science, associate Professor of Engine Theory Department of Samara State Aerospace University. E-mail: [udet@mail.ru](mailto:udet@mail.ru). Area of research: workflow of turbocharger, turbomachines, CFD.

**Baturin Nikolas Vitalyevich**, postgraduate of Engine Theory Department of Samara State Aerospace University. E-mail: [nik-o-las@mail.ru](mailto:nik-o-las@mail.ru). Area of research: workflow of turbocharger, turbomachines, CFD.

**Matveev Valery Nicolaevich**, Doctor of Technical Science, professor of Engine Theory Department of Samara State Aerospace University. E-mail: [tdla@ssau.ru](mailto:tdla@ssau.ru). Area of research: workflow of turbomachines.