

ПРИКЛАДНАЯ НАУКА И ПРОИЗВОДСТВО: НАМИ И ВТЗ

APPLIED SCIENCE AND MANUFACTURING: NAMI AND VTZ

Ю.Г. ГРУДСКИЙ, к.т.н.

ГНЦ РФ ФГУП НАМИ, Москва, Россия, gyg05@rambler.ru

YU.G. GRUDSKIY, PhD in Engineering

Central research and development automobile and engine institute NAMI, Moscow, Russia, gyg05@rambler.ru

Начиная с 60 годов XX столетия, в двигателестроении проявился ряд острых проблем при переходе на дизели нового поколения – с непосредственным впрыском топлива в камеру в поршне. Малое время, отводимое в цикле на смесеобразование и сгорание, особенно у быстроходных дизелей, заставляет подходить к этому крайне скрупулезно, чтобы получать высокие и стабильные технико-экономические показатели. Одна из многих проблем – организация эффективного и однообразного по экземплярам газообмена для уменьшения разброса конечных показателей при массовом производстве. В статье рассматривается именно эта проблема, конкретно – в случае кокильного литья индивидуальных головок на Владимирском тракторном заводе с использованием составных стержней впускных и выпускных каналов. Для изучения применена разработанная в НАМИ методика статической продувки впускных каналов с количественной оценкой при этом сопротивления и вихреобразования в цилиндре. У получивших индивидуальные номера головок в статистически значимой выборке заготовок на одном стенде несколько раз, последовательно по стадиям процесса обработки, проверялись газодинамические показатели (ГП). Схематически показано, как по ходу обработки и последующей сборки головок менялись эти параметры. Важно, что получена высокая «наследственная» корреляция между ГП заготовок и полностью обработанных и собранных головок цилиндров. Себестоимость последних несоизмеримо выше отливок. Поэтому по результатам работы для уменьшения себестоимости изделий и повышения уровня и стабильности качества было принято важное решение о ранней дефектоскопии ГП (после литья) с последующей переплавкой тех заготовок, которые с большой вероятностью «генетически, наследственно» не обеспечат заявленные технико-экономические показатели в собранном изделии. Подобные подходы могут быть использованы при организации производства и других товаров с высокой добавочной стоимостью технологических операций, необходимых после заготовки для обеспечения качества конечных изделий.

Ключевые слова: двигателестроение, дизельные двигатели, качество смесеобразования, газодинамические показатели, ранняя дефектоскопия головок цилиндров.

Для цитирования: Грудский Ю.Г. Прикладная наука и производство: НАМИ и ВТЗ // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2021. № 2. С. 6–15. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-2-6-15.

Starting from the 1960s, a number of acute problems appeared in the engine building during the transition to diesel engines of a new generation, the engines with direct fuel injection into the chamber in the piston. The short time allotted in the cycle for mixture formation and combustion, especially for high-speed diesel engines, makes it extremely scrupulous to approach this in order to obtain high and stable technical and economic indicators. One of the many problems is the organization of efficient and uniform gas exchange across the samples to reduce the spread of final indicators during mass production. The article deals with this very problem, specifically – in the case of chill casting of individual heads at the Vladimir Tractor Plant (VTZ) using composite rods of inlet and outlet channels. The method of static blowing of inlet channels developed at Central research and development automobile and engine institute NAMI with a quantitative assessment of the resistance and vortex formation in the cylinder was applied. The gas-dynamic parameters (GP) were checked for the heads that received individual numbers in a statistically significant sample of billets on one test bench several times, sequentially according to the stages of the processing. It is shown schematically how these parameters changed during processing and assembly of the heads. It is important that a high “hereditary” correlation is obtained between the GP of the billets and fully machined and assembled cylinder heads. The manufacturing cost of the latter is incommensurably higher than the castings cost. Therefore, according to the results of the work, in order to reduce the cost of products and increase the level and stability of quality, an important decision was made on the early flaw detection of the GP (after casting) with the subsequent remelting of those blanks that are most likely “genetically, hereditarily” will not provide the declared technical and economic indicators in assembled product. Similar approaches can be used in the organization of production and other goods with high added value of technological operations required after procurement to ensure the quality of final products.

Keywords: engine building, diesel engines, quality of mixture formation, gas-dynamic indicators, early flaw detection of cylinder heads.

Cite as: Grudskiy YU.G. Applied science and manufacturing: NAMI and VTZ. Traktory i sel'khoz mashiny. 2021. No 2, pp. 6–15 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2021-2-6-15.

Начав работать в НАМИ в 1958 г. после окончания МАМИ, я связал свою рабочую жизнь с ДВС – специальностью по диплому. Мой рассказ – об одной из существенных линий жизни, в которую вложено много сил, нервов и, надеюсь, умения.

С главным конструктором Владимирского тракторного завода (ВТЗ) Виктором Валентиновичем Эфросом мы познакомились в НАМИ. Он в начале 1960-х гг., практически уже кандидат технических наук, приехал для консультации по вопросам рабочего процесса дизелей с непосредственным впрыском. Этот процесс только-только стал медленно, но верно вытеснять на быстроходных дизелях пред- и вихрекамерный способы смесеобразования. И Виктору Валентиновичу, выпускнику-двигателю МВТУ им. Н.Э. Баумана, заслуженный профессор кафедры ДВС Д.Н. Вырубков посоветовал встретиться со мной, его аспирантом по данному направлению. Старше меня на несколько лет по возрасту и уже намного – по статусу, будучи загруженным «текучкой» повседневности производства, В.В. Эфрос удивил жесткостью в специфические проблемы, желанием по каждому из обсуждаемых вопросов прийти до сути. К моменту первой встречи у нас в НАМИ стали создаваться и использоваться ряд оригинальных методик, средств и материалов по анализу процессов; в частности, по доводке дизелей ЯМЗ в вариантах «мексиканская шляпа» (до сих пор в массовом производстве на ЯМЗ в двигателях ЯМЗ-236, 238 и 240), по импортным образцам [1] – по так называемому М-процессу доктора З. Мейрера (центральная шаровая камера), в двигателях MAN и его патентно независимой вариации D-процесса доктора А. Пишингера для двигателей Deutz. Достаточно сказать, что в результате анализа этих двух крайних и других, промежуточных (от объемного до пленочного), способов смесеобразования мы получили четкое понимание динамики параметров, необходимых для их оптимальной организации. В лаборатории сгорания (затем – рабочих процессов дизелей) и лаборатории малоразмерных дизелей проводились индицирование, термометрирование и анализ теплового баланса реальных образцов или одноцилиндровых установок, анализ топливной аппаратуры, включая изучение качества распыла и законов впрыска топлива. Понимая важность другой компоненты смесеобразования – от воздуха,

мы развернули широкий фронт работ по созданию методов и показателей как оценки, так и оптимизации параметров воздушного заряда [2]. На этом надо остановиться отдельно, ибо в сегодняшней реальности работы по процессу, к сожалению, в стране практически не востребованы и могут невосполнимо потеряться. Итак, о некоторых основах.

Процесс смесеобразования эндотермичен, т.е. энергозатратен, в отличие от сгорания – экзотермического явления. Для оптимальности последнего требуется удачное сочетание как минимум трех составляющих: геометрии и теплового состояния конструкции (1) с соответствующими параметрами топлива (2) и воздуха (3). Конструкция и тепловое состояние камеры определяют внешние условия для испарения топлива и смешения его с воздухом. Впрыскиваемое топливо может нести большую или меньшую долю энергии для смесеобразования. Остальную необходимую долю энергии должен внести воздух. Чаще всего той турбулентности в воздушном заряде, которая возникает при сжатии, недостаточно для качественного смесеобразования. Поэтому, кроме наполнения воздухом, впускные системы стали обеспечивать на такте всасывания направленное движение заряда в цилиндре, сохраняющееся в камере сгорания при смесеобразовании и сгорании. В мире практически не было «культуры» осознанного создания, оценки и оптимизации вихреобразования воздуха в цилиндре. Ненамного понятнее, что там творится (а открылось невообразимое!), но яснее стало после проведения нами следующих опытов по прокрутке при трассировании заряда в цилиндре (после нанесения на днище поршня капелек масла с алюминиевой краской (рис. 1). Хотя и была затем создана методика, переведшая такой способ оценки из «качественного» в «количественный», этого было явно недостаточно. Анализируя результаты опытов, на совещании в НАМИ с участием таких корифеев, как Н.С. Ханин, С.Б. Чистозвонов, И.И. Гершман, А.П. Лебединский и других, самым понятным мне стало выражение «да, дело ясное, что дело темное». Нужны были более строгие и однозначные методы оценки. И мы начали искать.

Одним из наиболее передовых и быстро развивавшихся в мире методов оценки потоков в 1950–60-х гг. стало термоанемометрирование. Новаторское решение ВЭИ им. Ленина [3]

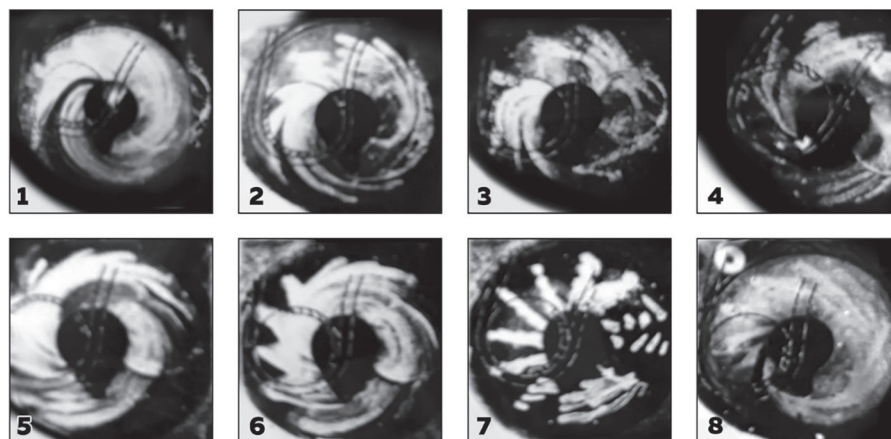


Рис. 1. Картина изменения интенсивности направленного движения заряда в цилиндре при прокрутке ($n = 1600 \text{ мин}^{-1}$), $D/S = 130-140$ при 8 различных разворотах (последовательно на 45° в плане) заширленного впускного клапана

Fig. 1. The picture of the change in the intensity of the directional movement of the charge in the cylinder when scrolling ($n = 1600 \text{ min}^{-1}$), $D/S = 130-140$ with 8 different turns (successively by 45° in the plan) of the widened intake valve

(П. Чебышев) с использованием термокомпенсированной пары тонких (до 23 мк) вольфрамовых нитей в качестве полумоста в датчике позволяло, установив их в цилиндр, оценивать после обработки осциллограммы (рис. 2) скорость газа (абсолютную и турбулентную составляющие) в определенной точке цилиндра. Понятно, что для оценки всей картины необходимо было совсем нереальное количество высокотратных опытов, трудоемкие обработка и интерпретация. Поэтому, затратив огромные ресурсы на освоение этого метода, поняв порядок скоростей и турбулентности (лишь

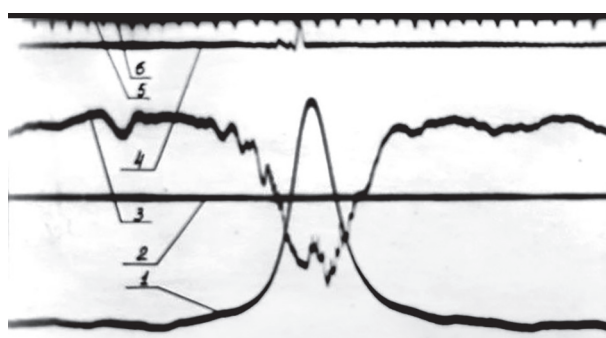


Рис. 2. Осциллограмма давления в цилиндре (1), произведения давления на скорость в точке замера (3), нулевой линии (5) и тарировочной кривой (2) частоты (6) меток 15° до ВМТ и ВМТ (4)

Fig. 2. Oscillogram of pressure in the cylinder (1), product of pressure and speed at the point of measurement (3), zero line (5) and calibration curve (2) frequency (6) marks 15° to outer dead center and inner dead center (4)

по одной линии установок датчика в камере М-процесса), создав методику определения вектора скорости, мы все же оставили это направление [3]. Его тупиковость для нас тогда еще дополнялась неготовностью матаппарата и ЭВМ к решению задач по смесеобразованию и сгоранию в нестационарных условиях циклических процессов. Даже современные методы и средств расчетов слабы для правдоподобного математического описания этих процессов. Но требовались методы, практически значимые в условиях массового производства двигателей. И эта часть задачи по организации рабочего процесса была далее нами выведена почти «с нуля» на определенный уровень методически и инструментально, а впоследствии внедрена в практику многих дизелестроительных предприятий.

Сначала была разработана (совместно с сотрудниками лаборатории наддува НАМИ) установка по статической продувке каналов в головках цилиндров (рис. 3). Затем мы предложили на ее основе использовать систему количественной оценки параметров каналов. Были введены три интегральных за процесс впуска параметра, характеризующих впускную систему, получаемых после обработки результатов статической продувки:

1) T – коэффициент трансформации потока входящего в цилиндр воздуха во вращающийся заряд. Его увеличение требуется при все большей роли энергии воздушного заряда в процессе смесеобразования;

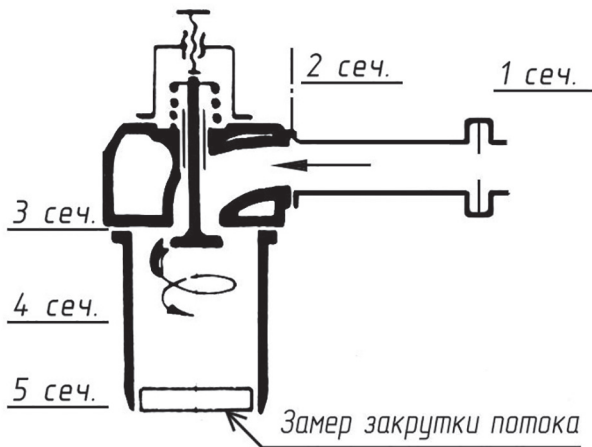


Рис. 3. Схема статической продувки каналов головки цилиндров

Fig. 3. Diagram of static purging of cylinder head channels

2) C – коэффициент гидравлического сопротивления канала;

3) $K = C/T$ – коэффициент качества канала, показывающий «цену» по сопротивлению, которую платит данная конструкция за создание «единицы» трансформации потока.

Установка для статической продувки головок с цилиндром и вставленной в него затормо-

женной от вращения спрямляющей решеткой, на которой замеряется воспринимаемый ею $M_{кр}$ при ряде фиксированных подъемов клапана и перепадов давления, достаточно проста для любого предприятия, имеющего систему сжатого воздуха. Далее, по отлаженной программе на компьютере получают эти три точечных параметра, C , T и K , интегрально характеризующих уровень сопротивления, вихреобразования и качества канала. Понятно, что, чем выше требуемое процессом вихреобразование в цилиндре, тем больше на это затраты энергии при впуске. Эффективность разных способов вихреобразования с помощью впускных каналов разных типов тоже неодинакова. На рис. 4 показаны четыре наклонных прямые, условно отображающие зависимости $C = f(T)$ для принципиально разных способов организации закрутки в цилиндре с помощью впускных каналов. $K_1 \div K_4$ – граничные линии параметров грамотно выполненных (в определенных технологических условиях) семейств каналов: винтового, тангенциального, механически обработанного и с заширленным клапаном или его седлом. При этом конкретно выполненной конструкции соответствует на линии одна точка,

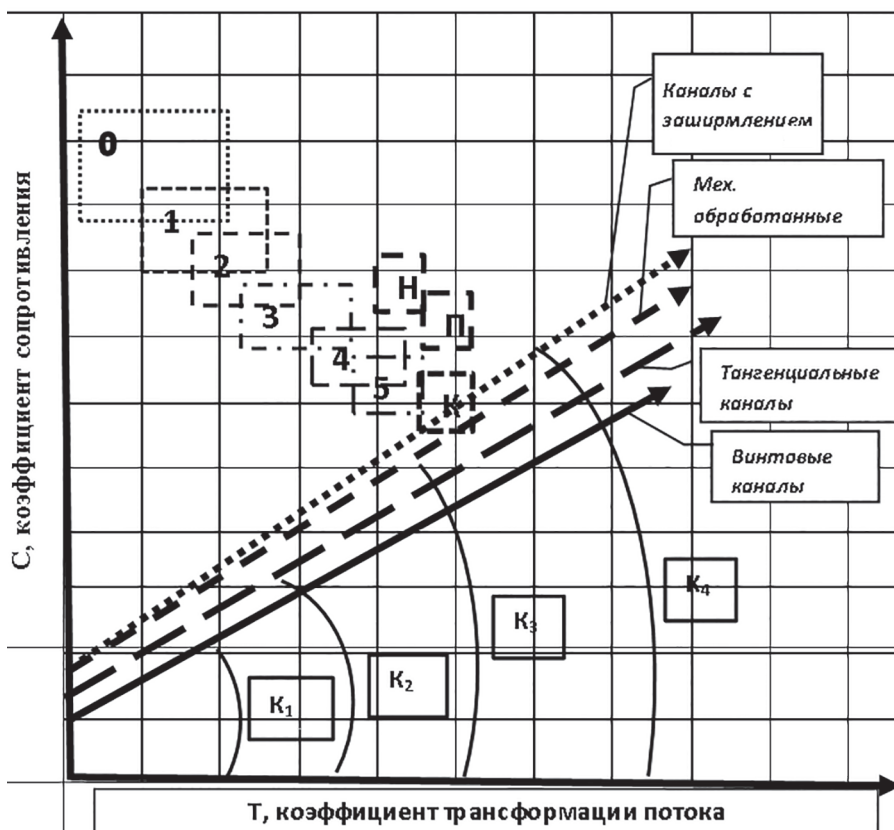


Рис. 4. Оценка газодинамических параметров (ГП) впускных каналов

Fig. 4. Evaluation of gas-dynamic parameters (GP) of inlet channels

например, у тангенциального канала отмеченная № К. Менее удачное исполнение (№ П), скажем, с большим сопротивлением, но подходящей характеристикой вихря, в рабочих условиях отразится на уровне наполнения и насосных потерь двигателя. Вариант № Н ухудшит смесеобразование, что дополнительно снизит возможную форсировку двигателя по α . Естественно, в массовом производстве есть разбег параметров Т, С и К, т.е. они статистически укладываются в некоторое поле, ограниченное прямоугольником высотой и шириной в статистический размах параметров.

Нестационарный и неоднородный поток газа при впуске сложен для изучения вообще и до сих пор не описан. Следовало хотя бы в первом приближении, используя стационарную модель, при ряде дискретных подъемов клапана впервые понять, как он формируется при использовании различных конструктивных приемов для минимизации сопротивления и заданной закрутки его в цилиндре. Понять это позволили другие разработанные нами методика и аппаратура – определения эпюры скоростей истечения воздуха. Для этого был создан механизм, изготовлены, доведены и протарированы очень чувствительные пневмодатчики с острием в форме пирамиды (из четырех спаянных медицинских игл наружным диаметром 0,6 мм). Механизм перемещения датчика позволял выставлять его на полный вектор скоростного напора в исследуемой точке клапанной щели. Так были исследованы потоки на малом, среднем и максимальном подъемах клапана. Выявлялись зоны более или менее рациональной организации течения и обратных токов при разных конструктивных решениях системы впуска. Не углубляясь в подробности, отмечу, что мы получили возможность замерять векторы скоростей истечения воздуха из клапанной щели на нескольких уровнях.

Фактически мы пришли [4] к пониманию следующего.

1. При всех прочих равных условиях необходимая для хорошего смесеобразования интенсивность вихреобразования в цилиндре (Т) может быть достигнута практически при любом из существующих способов закрутки потока на впуске.

2. При этом насосные потери и наполнение будут различны для разных типов каналов, а для некоторых – вообще неприемлемы. Искусство разработчика здесь заключается в по-

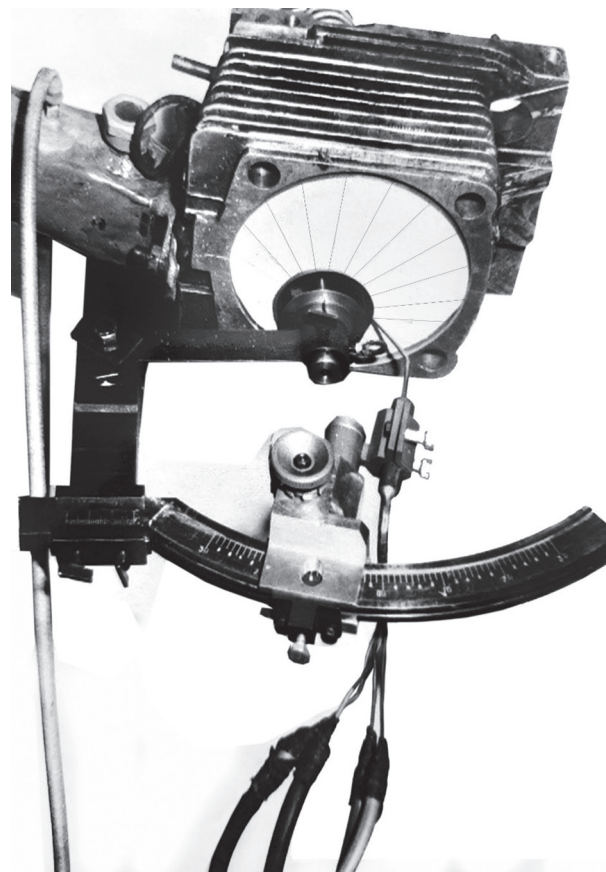


Рис. 5. Зонд-угломер на головке дизеля ВТЗ

Fig. 5. Probe-goniometer on the VTZ diesel engine head

лучении оптимального по многим требованиям отношения \dot{h}_v/α , т.е. необходимо, обеспечив хорошее смесеобразование с лучшими энергетическими и экологическими показателями, не потерять в наполнении и достижении высокой энергоотдачи.

3. Есть некие статистически определенные граничные (снизу) показатели качества (К) впускных систем разных типов, к которым следует приближаться (что возможно) в реальных условиях сверху, а в идеале – и улучшать.

4. Неизбежная индивидуальность каналов по цилиндрам, особенно при недостаточной конструктивно – технологической проработке, вносит весьма ощутимый вклад в разбег рабочих показателей (РП) двигателя.

Анализ по этим методикам впускных каналов лучших импортных образцов и советских дизелей в сочетании со скицированием схемы рабочего процесса и расчет законов профилирования каналов по их резиновым слепкам позволили нам выйти на отечественный и зарубежные рынки интеллектуальных услуг по оценке и совершенствованию систем газообмена и про-

цесса в целом. Специалисты Советского Союза и стран СЭВ во время командировок в Москву часто заглядывали к нам в лабораторию, где на одной из стен была развернута единственная в мире коллекция координатно-размеченных резиновых слепков с впускных и выпускных каналов лучших мировых образцов и опытных советских вариантов дизелей. Многие годы мы не нуждались в бюджетном финансировании, достаточно зарабатывая по хозяйственным договорам. И одним из первых предприятий, на котором я встретил понимание возможностей взаимодействия, был ВТЗ [5].

...В кабинете В.В. Эфроса мы сразу вспомнили нашу первую встречу в НАМИ, что во многом помогло найти надолго общий настрой и вектор совместной работы.

Однако, все по порядку. Как все начиналось и развивалось.

...Великая Отечественная война. Жестокое и кровавое противоборство «или – или» между цивилизацией и фашизмом. Мрачные перспективы последнего вырисовывались уже к концу 1941 – началу 1942 г. К третьему году войны, в конце февраля 1943 г., правительство СССР приняло Постановление о развитии тракторостроения, включавшее создание завода во Владимире. Строительство ВТЗ в суровое, голодное военное время стало трудовым народным подвигом. Возводили всю инфраструктуру: завод, жилье, готовили кадры, прокладывали новые энергомагистрали и пути сообщения. На завод направлялись выпускники институтов и техникумов, а из армии демобилизовывались опытные инженеры. Уже в июле 1944 г. по технической документации Кировского завода были собраны первые тракторы «Универсал У-2»,

к весне 1945 г. – уже 500 штук. На митинге 24 апреля 1945 г. было решено считать эту дату днем рождения ВТЗ. Первые десять лет это – основная продукция: на металлических колесах со «шпорами», с керосиновым карбюраторным двигателем (рис. 6, а). Тогда это были первоклассные помощники в сельских работах из-за дешевизны и простоты в обслуживании.

В первой половине 1958 г. началось массовое производство новой машины – Т-28 «Владимирец». В 1959 г. завод освоил производство двигателей Д-30 с воздушным охлаждением. Достоинства трактора подтвердили первая премия и Большая золотая медаль Всемирной выставки в Брюсселе. Всего было выпущено более 250 тысяч таких тракторов.

Постепенно под руководством В.В. Эфроса на заводе складывался творческий коллектив ученых и инженеров, специализирующихся в области создания дизелей с воздушным охлаждением и тракторов. Разрабатывались решения, обеспечивающие качественное улучшение их показателей, развивалась современная научно-экспериментальная база. Практическая реализация этих решений, заключавшаяся в научном, методическом и организационном руководстве всем комплексом работ – от проектных исследований до отработки конструкций семейства дизелей с воздушным охлаждением и организации их массового производства – осуществлялась при непосредственном участии Виктора Валентиновича (с 1964 г. – кандидат технических наук, с 1974 г. – доктор технических наук) и таких конструкторов и экспериментаторов, как Вадим Станиславович Туницын, Петр Иванович Чирик, Александр Николаевич Салов, Борис Васильевич



Рис. 6. Тракторы ВТЗ производства 1940-х (а) и 1990-х (б) годов

Fig. 6. VTZ tractors manufactured in the 1940s (a) and 1990s (b)

Ильин, Владимир Абрамович Лундин, Борис Николаевич Винокуров, Шалдин, Тихомиров, а также многих других, на кого можно было опираться в совместной работе. Это наиболее яркие фигуры, энтузиасты завода, разделявшие все трудности и радости общей работы.

Во второй половине 1960-х гг. стало понятно, что, имея солидный багаж знаний и опыта, мы можем удачно взаимодействовать практически со всеми дизелестроительными предприятиями СССР и СЭВ. Действительно, трудно было назвать предприятие, выпускавшее дизели, с которым у нас не было бы плодотворного сотрудничества, – по объемам поставок двигателей Владимирский тракторный завод занимал второе место в стране (после Ярославского моторного завода).

30 мая 1977 г. с конвейера сошел двухмиллионный двигатель, 18 февраля 1983 г. – трехмиллионный, а в 1988 г. – уже четырехмиллионик. Расширяя объемы и номенклатуру производства, завод в 1980-е гг. стал одним из крупнейших в мире производителей дизельных двигателей с воздушным охлаждением. Каждый пятый трактор, выпускавшийся в СССР, имел дизель ВТЗ. Система воздушного охлаждения обеспечивала большую компактность моторной установки, исключала потребность в охлаждающей жидкости, радиаторе, соединительных патрубках и других дополнительных устройствах, которые необходимы двигателям. Они были просты по конструкции, ремонтпригодны, надежны и безопасны в эксплуатации, включая экстремальные условия как холодной, так и тропической климатических зон. Высокие технико-экономические показатели этих двигателей сочетались с надежностью, доступностью по ценам, наличием широкой дилерской сети и сервисных центров. Дизельные 2-, 3- и 4-цилиндровые двигатели ВТЗ мощностью от 25 до 75 л.с. применялись во многих областях сельского и коммунального хозяйств, строительства, в более чем ста машинах различного назначения: в автономных электростанциях, сварочных генераторах, автобетоновозах, автопогрузчиках, дорожных катках, компрессорных установках, насосных станциях и других машинах и механизмах производственного и хозяйственного назначения. 40% выпускаемой продукции завод экспортировал более чем в 60 стран. Производственные филиалы строили в Молдове, Узбекистане, Мексике, Индии и других странах.

На базе тракторов ВТЗ индусы выпускали строительно-дорожную технику. В.С. Туницын рассказывал о забавном эпизоде при встрече на аэродроме делегации ВТЗ индийскими специалистами. В.С., порадовавшись значительными объемами продаж индусами советско-индийской техники, удивился, почему при этом не наращивается производство машин. Они ответили, что есть узкое место – мало спецколес (с низким давлением на почву). Находчивый В.С. тут же отреагировал экспромтом, показав на шасси стоящих самолетов: «Вот же ваши возможности. Это на самолетах они меняются принудительно на ранней стадии износа, а на земле проработают еще много км!» «За сколько Вы продадите свою идею?» – спросил неожиданно посерьезневший один из встречавших нашу делегацию. Улыбающийся и растерянный Туницын пытался отделаться шуткой: мол, это наш подарок. Тогда настойчивый индус уточнил вопрос: «Так вы дарите нам эту идею?» В ответ – кивок. На следующий день все дети советского консульства в городе были щедро одарены игрушками – джентльмены не имеют права на безответное добро. В итоге продажи в Индию возросли.

...Итак. Командировочное удостоверение, материалы по анализу процесса при шаровой камере в поршне на английском аналоге вкупе с нашими методами анализа газодинамики... и вот я впервые на ВТЗ. Инженерный корпус, кабинет В.В. Эфроса. Радужный прием и быстрое определение круга вопросов. Секретарь обзванивает службы, предлагая прийти на совещание выбранным Эфросом специалистам. 30–40 минут информационно емкого обсуждения, и мы с В.С. Туницыным и П.И. Чириком готовим хоздоговор. Как всегда, обсуждение с экономистами денежных вопросов, но технари – на моей стороне. Печатают проект договора, а я в это время начинаю знакомиться с производством. Один – не хочу, чтобы мне мешали и окрашивали впечатление своим мнением. Эта привычка – со студенческих практик на ЗИЛе и последующих знакомств с производствами. Иду по циклу изготовления индивидуальных головок цилиндров, начиная с алюминиевого литья. Замечаю наведенный марафет перед официальной сдачей литейного производства: по периметру здания свежая и аккуратная асфальтовая отмостка. Аккуратно захожу в цех, любясь импортным (к сожалению), оборудо-

ванием для литья головок цилиндров. Рабочих почти не видно. Автоматизированная система включает металлическую кокильную оснастку из нескольких сходящихся металлических элементов, повторяющих в сборе внешние контуры головки. В эту систему с будущей боковой плоскости подсоединения впускного и выпускного коллекторов и нижней плоскости головки вводятся стержни – «полуканалы». Встречаясь и фиксируясь попарно, они определяют профили этих каналов в будущей отливке. После застывания и охлаждения залитого алюминиевого сплава стержни отводятся, кокиль раскрывается, и механическая рука извлекает из него заготовку головки. Затем кокиль можно повторно использовать для отливки такой же детали. Основные операции и процессы: очистка кокиля от старой облицовки, прогрев его до 200–300 °С, покрытие рабочей полости новым слоем облицовки, простановка стержней, закрывание частей кокиля, заливка металла, охлаждение и удаление полученной отливки. Подробно останавливаясь на этом процессе, ставшем «центром тяжести» наших забот, поисков решений, достижений и неудач.

Первоначально мы обнаружили, что при стендовых продувках можно облагородить всю систему впуска – выпуска. Это касалось изменения конфигурации клапанной щели, включая седло, грибок клапана и направленную фрезеровку головки на выходе потока. Была несколько перепрофилирована верхняя, входная, часть стержня. Условно это отображено на рис. 4 и уже описано выше. Здесь показано, что изначально впускной канал (индекс Н), имел значительный потенциал доводки. Не затрагивая стержней, мы добились только промежуточного результата (индекс П). Убедив технологов затронуть форму стержня, мы в совместной работе пришли к конечному варианту (К). Реально лучшее, но худшее, чем предполагаемо «идеальное» для тангенциальных каналов качество (К_э) – это цена относительной дешевизны безусловно правильно выбранной технологии производства головок. Однако полученное в рамках возможного улучшение газообмена позволило серьезно поднять к началу 1970-х гг. технико-экономические показатели и снизить дымность выхлопа, на которую начали уже обращать внимание, особенно на экспортных партиях техники.

Другой головной болью заводов был неприемлемый разбег нормируемых номинальных

рабочих показателей (РП) двигателей, фиксируемых при выходе изделия с конвейера. Вспоминаю рассказ В.В. Эфроса. ...Семидесятые годы. ВТЗ успешно наращивает производство и становится заметным игроком на мировом рынке сельхозтехники. Руководство завода принимает делегацию из США. На линии сборки тракторов гости обращают внимание на редкие таблички «На экспорт». Хозяева обходительно отвечают, что это – желание отдавать партнерам самое лучшее. Американцы отвечают, что они так не делают. Главный конструктор предприятия Виктор Валентинович Эфрос понимает «айсбергность» и недосказанность этого диалога. На самом деле совокупная статистическая неточность исполнения многих элементов двигателя приводит к разбросу РП – большему, чем предусмотрено в ТУ. Это ведет к необходимости селекции элементов конструкции при сборке и к избирательности при поставках.

Один из источников этого разброса – неидентичность исполнения систем впуска – выпуска. С согласия загоревшегося идеей разобраться в этом В.В. Эфроса оговорили солидный договор, увезли в НАМИ несколько десятков головок (благо они на один цилиндр и алюминиевые). Провели их отбор с опытным заводчанином, инженером П.И. Чириком, – как после литья, так и после мехобработки и полной сборки. Придали головкам индивидуальные номера и подвергли статической продувке каналы. И подтвердились наши предположения: амплитуда разбега (подчиняющегося законам статистики) газодинамических показателей (ГП) каналов в головках составляет порядка $\pm 30\%$ от среднего значения параметра для готовых и до $\pm 50\%$ – для отливок головок. Отвезли обратно во Владимир годные к горячим испытаниям головки, отсортированные по уровню ГП, и добрали еще несколько десятков отливок для корректной статистики. Прошло время, и по волнению голоса Петра Чирика в телефонной трубке понимаю важность его сообщения: на 2-цилиндровом двигателе Д-21А в боксе при перестановке головок с разными ГП получена впечатляющая разница в РП! Для части головок достижение параметров ТУ невыполнимо, и они должны быть заменены на «более кондиционные» по ГП.

К этому времени завод организовал свой газодинамический бокс и, теперь, уже по общей методике, газодинамически обследовал выбор-

ку головок последовательно по технологическому циклу их изготовления. Обнаружилась закономерная связь ГП головок начальных (в литье, ГП_л) и конечных (после мехобработки, ГП_к). Схематично, «от куколки до бабочки», это отражено на рис. 4 в динамике прямоугольников от «0» до «К»: по мере обработки (условно 0–1–2–3–4–5–К) снижается сопротивление и его разброс; усиливается вихреобразование (тоже с уменьшением амплитуды). По договоренности с заведующим кафедрой ДВС МАДИ профессором М.С. Ховахом к работе подключился его аспирант с солидным матаппаратом В.И. Шайкин. Математически выявили, что существует значительная вероятностная «генетическая» связь ГП_л ↔ ГП_к. Таким образом, была подтверждена высокая корреляция ГП_л ↔ ГП_к ↔ РП. А это значит, что не все отливки головок после мехобработки будут иметь ГП_к, обеспечивающие РП в рамках ТУ [6]. Таких заготовок оказалось порядка 12%. Если учесть, что продолжительность и стоимость всех операций, начиная от обработки головок до переборки двигателя в случае фиксации его неудовлетворительных РП, многократно выше, чем проверка ГП на стадии отливок, было сформулировано решение, которого следует придерживаться не только владимирцам: для уменьшения разбега РП двигателей, ощутимого снижения цены и трудоемкости их изготовления необходима организация системы ранней дефектоскопии ГП_л путем введения автоматизированной системы газодинамической отбраковки отливок. И конструкторы «продавливали» технологов на подготовку к реализации системы.

Дальше мы с конструкторскими службами завода провели модернизацию выпускной системы и улучшили фиксацию и стыковку «полустержней» каналов, что снизило разбег ГП_л. Работы шли полным ходом, но у нас уже не хватало времени – страна шла к экономическому кризису, и заводу, как и всему советскому обществу, стало не до новаций.

1980-е. На этот раз делегация машиностроителей СССР в США на тракторном заводе вдруг обнаруживает аналогичные таблички. И снова диалог – уже на американском сборочном конвейере. Воспрявший В.В. Эфрос ехидно отмечает этот факт. Оторопевший хозяин вызывает соответствующего клерка, который вместе с ним серьезно, по принесенной

документации, поясняет: некоторые образцы не доходят до уровня качества основной массы продукции и не могут быть проданы на американском рынке. Но они вполне соответствуют требованиям зарубежных стандартов. Очевидно, они проводили уже аналогичные работы, и не только по головкам, а по многим элементам двигателя.

Будем надеяться, что на новом витке развития промышленности в нашей стране это будет учтено, и такое направление работ, как ранняя дефектоскопия критических составляющих, станет востребованным.

Подведу итоги проделанной работы для всех ее участников.

1. Для ВТЗ – улучшение рабочих параметров, перспективы дальнейшего улучшения двигателей, увеличения их продаж, повышение культуры производства, развитие исследовательских служб.

2. Для нашего отдела двигателей НАМИ – интересная и имиджевая работа, серьезные премии, финансовые возможности реализовать другие перспективные задумки.

3. Для меня – медаль ВДНХ и премия НТО Машпром «За лучшие научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы по повышению технического уровня и долговечности автомобилей, двигателей и их агрегатов», пополнение портфеля заказов от предприятий.

4. Для других участников – повышение уровня компетенций, успешная защита диссертаций В.И. Шайкиным и в дальнейшем – П.И. Чириком, ведущими исполнителями по теме.

5. Для всех неравнодушных, озабоченных созданием качественных изделий, – возможность осмыслить наш опыт и подходы к оценке и повышению устойчивости конструкторско-технологических решений при многоступенчатых процессах изготовления сложных товаров высокого качества.

Литература

1. Гершман И.И., Грудский Ю.Г. и др. Автомобильные многотопливные двигатели с М-процессом. ЦИНТИ АМ, 1964.
2. Грудский Ю.Г. Влияние движения воздушного заряда и параметров топливного факела на показатели работы дизеля: дис. ... канд. техн. наук. М., 1966.
3. Чебышев П.В. Электротермоанемометры // Вестник электропромышленности. 1952. № 1.

4. Вихерт М.М., Грудский Ю.Г. Конструирование впускных систем быстроходных дизелей. М.: Машиностроение, 1982.
5. Грудский Ю.Г., Чирик П.И. Влияние аэродинамики заряда на показатели рабочего процесса двигателя Д-37ДМ // Труды 5-й н.-т. конференции молодых специалистов. М.: ОНТИ НАМИ, 1967. Вып. 2.
6. Ховах М.С., Шайкин В.И., Вихерт М.М., Грудский Ю.Г., Чирик П.И. Влияние газодинамических характеристик каналов на показатели дизеля // Известия вузов. Машиностроение. Издание МВТУ им. Н.Э. Баумана. 1976. № 3.

References

1. Gershman I.I., Grudskiy YU.G. i dr. Avtomobil'nyye mnogotoplivnyye dvigateli s M-protsessom [Automotive multi-fuel M-process engines]. TSINTI AM Publ., 1964.
2. Grudskiy YU.G. Vliyaniye dvizheniya vozdushnogo zaryada i parametrov toplivnogo fakela na pokazateli raboty dizelya: dis. ... kand. tekhn. nauk [Influence of the movement of the air charge and the parameters of the fuel flame on the performance of the diesel engine: Dissertation for Degree of PhD in Engineering]. Moscow, 1966.
3. Chebyshev P.V. Electrothermoanemometers. Vestnik elektropromyshlennosti. 1952. No 1. (In Russ.).
4. Vikhert M.M., Grudskiy YU.G. Konstruirovaniye vpusknykh sistem bystrokhodnykh dizeley [Design of intake systems for high-speed diesel engines]. Moscow: Mashinostroyeniye Publ., 1982.
5. Grudskiy YU.G., Chirik P.I. Influence of charge aerodynamics on the performance of the D-37DM engine. Trudy 5-y n.-t. konferentsii molodykh spetsialistov [Proceedings of the 5th scientific and technical conference for young professionals]. Moscow: ONTI NAMI Publ., 1967. Vyp. 2.
6. Khovakh M.S., Shaykin V.I., Vikhert M.M., Grudskiy YU.G., Chirik P.I. Influence of gas-dynamic characteristics of channels on diesel performance. Izvestiya vuzov. Mashinostroyeniye. Izdaniye MVTU im. N.E. Baumana. 1976. No 3. (In Russ.).