ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Издается с мая 1930 года

Москва "Машиностроение"

УЧРЕДИТЕЛИ:
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ,
науки и технологий РФ,
ОАО "АВТОСЕЛЬХОЗМАШ-ХОЛДИНГ"

АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

№ 10 • октябрь • 2016

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 378

О ПРИНЦИПАХ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ОТРАСЛИ АВТОМОБИЛЕ- И ТРАКТОРОСТРОЕНИЯ

Д-р техн. наук **ШИПИЛЕВСКИЙ Г.Б.**
НИИЦ АТ ФГБУ 3ЦНИИ МО РФ (gbship@mail.ru)

Обсуждается состояние подготовки специалистов для автомобиле- и тракторостроения. Отмечаются недостатки действующей системы. Предлагается по проектно-конструкторскому и научно-исследовательскому направлениям подготовку специалистов высокой квалификации вести в две ступени. Первая должна быть на базе стандартного пятилетнего цикла с некоторой коррекцией программы. Вторая должна быть на базе магистратуры по отдельным программам.

Ключевые слова: *автомобиле- и тракторостроение, подготовка специалистов, двухступенчатое образование.*

Shipilevsky G.B.
ABOUT PRINCIPES OF PREPARATION OF SPECIALISTS IN THE AUTOMOBILE AND TRACTOR INDUSTRY

The state of training specialists for the automobile and tractor industry is discussed. Disadvantages of the current system are marked. Available on design and research directions of training of specialists of high qualification conducted in two stages. The first should be based on a standard five-year cycle with some corrections of the program. The second should be based on master stage by separate programs.

Keywords*: automobile and tractor industry, training of specialists, a two-stage education.*

Требования времени и ситуация в отечественной экономике заставляют пересмотреть действующую систему подготовки специалистов для отрасли. Сложившись много лет тому назад, во времена плановой экономики и принятых в СССР трудовых отношений, она так и не претерпела существенных изменений до сих пор. Единственное, что можно считать новшеством, это переход к "болонской системе", которую на практике следует рассматривать, скорее, как дорогостоящее воспроизводство недоучек, уступающее даже ныне уже уничтоженному среднему техническому образованию.

Отечественная система подготовки специалистов базировалась на представлении о необходимости дать в результате обучения достаточно широкую подготовку в рамках всего наличия имеющихся знаний по выбранной специальности. Далее действовала система принудительного распределения выпускников по предприятиям и организациям, не принимавшая во внимание никаких склонностей и предпочтений, даже если они и появлялись. Единственным исключением могло быть приглашение в аспирантуру для особо успевавших во время обучения, но и здесь никакой процедуры поиска того, что в некоторых других областях называют профессиональной пригодностью, не было.

Молодой специалист (этот термин означал статус выпускника) на три года попадал на работу в КБ, НИИ или на завод. И там его, по существу, доучивали всё это время и не могли уволить, даже если он оказывался непригоден к работе там из-за личных особенностей или предпочтений. Но нужно признать, что очень многие молодые специалисты в конце концов находили своё место в жизни и становились настоящими конструкторами, исследователями и руководителями производства. Конечно, это во многом зависело от среды, в которую они попадали (коллектив с наличием опытных и доброжелательных специалистов, решаемые задачи, уровень зарплаты и социальных условий).

Современные условия начала работы молодого специалиста радикально отличаются от описанных выше. Никакого централизованного распределения не существует, и каждый выпускник ищет работу самостоятельно. Надо отметить, что многие из них устраиваются на работу ещё до окончания учёбы, но далеко не всегда эта работа соответствует получаемой специальности, так как часто служит только для удовлетворения материальных запросов. Те же, кому удалось найти нужную для специальности работу и закрепиться на ней, могут считаться редким исключением и погоды не делают.

Прежде всего нужно отметить, что по действующему трудовому законодательству молодой специалист никаких особых прав больше не имеет. Его отношения с работодателем оформляются трудовым договором и могут быть законно прерваны по причине отсутствия у молодого специалиста необходимой квалификации, что обнаруживается в ходе испытательного срока. Никаких обязанностей по доучиванию или переучиванию молодого специалиста работодатель не имеет, и вообще он

всегда заинтересован получить от нового работника максимальную отдачу как можно быстрее. И ставить такой подход в вину всем работодателям просто бессмысленно, тем более сейчас, когда ситуация требует максимальной эффективности в подъёме технического уровня всех обрабатывающих производств страны. Нужно просто найти и реализовать такие способы повышения квалификации молодых специалистов, чтобы они как можно быстрее адаптировались к современным условиям работы без стрессов и конфликтов.

Для характеристики современного состояния с подготовкой специалистов для автомобиле- и тракторостроения обратимся к содержанию Федерального государственного образовательного стандарта по специальности 190109 "Наземные транспортно-технологические средства". Нужно сразу же указать, что его структура не получила никаких примет современного подхода, учитывающего справедливые в основном требования работодателей. В нём присутствует перечень так называемых "компетенций", которые вроде бы должен иметь выпускник высшего учебного заведения. Но пересмотрев его, можно смело утверждать, что за последние годы ни один вуз страны не выпустил человека, обладающего всеми ими в полной мере. И добавим, что никем и нигде не предложены способы или инструменты проверки того, какими компетенциями и на каком уровне выпускник обладает на самом деле (ни введённые несколько лет тому назад государственные экзамены, ни защита дипломных проектов ими не являются). А грамотные инженеры всегда помнили, что в техническое задание на любую работу не следует включать требования, выполнение которых нельзя проверить. Более того, автор после примерки на себя перечня этих компетенций обнаружил, что даже несмотря на свою более чем 50-летнюю деятельность, в которой были эксплуатация и ремонт машин, испытания сложных и ответственных изделий, разработки и исследования, административное и научно-методическое руководство, не решился бы заявить о наличии у себя всех этих компетенций.

Отметим, что стандарт даёт возможность самим вузам определять вид профессиональной деятельности, которая предполагается основной для выпускаемого специалиста. Но как это делать в его рамках и по какой процедуре, нет ни слова. И как в этом процессе должны быть задействованы потенциальные работодатели, тоже остаётся гадать. Можно только предположить, что ни одному конкретному работодателю никогда не понадобится такой невероятный универсал, который может всё на предписанном в стандарте уровне.

Далее вызывает недоумение разбивка перечня изучаемых дисциплин на базовый, обязательный к выполнению и вариативный, формируемый по усмотрению вуза. Если считать упомянутые выше компетенции обязательными, то и набор дисциплин должен быть полным и также обязательным. Иначе вуз должен заранее объявлять урезанный список этих самых компетенций и направлений профессиональной деятельности выпускников.

Есть ещё один не очень известный, но важный момент. Издание учебников для высшей школы может происходить в рамках государственного заказа. Но его ресурсы весьма ограничены, а главное — распространяются только на дисциплины базовых циклов. Вузы могут выпускать учебные пособия, но их типографская база в основном имеет очень небольшие возможности, а процедура принятия подготовленных пособий к печати усложнена и громоздка, в том числе включая процедуру одобрения учебно-методической комиссией, собирающейся очень нечасто. И с наглядными пособиями тоже просто беда.

Зато в университетах и академиях на каждом шагу можно услышать об инновационном развитии, проектном обучении, образовательных программах и других модных течениях. Широко присутствуют многочисленные дирекции и центры (конечно, с директорами и советниками, а численность профессорско-преподавательского состава сокращается). Но какой эффект в смысле повышения качества обучения они дают, пока не видно.

Перечень очевидных недостатков существующей системы можно завершить утверждением, что она не даёт никаких представлений о характере и содержании работы даже по установленным направлениям. Уже отмечалось, что перечень требуемых компетенций ориентирует на посты не ниже главных конструкторов или около того. В своё время в МАМИ несколько лет вёлся факультатив "Организация ОКР и управление ими" по написанному мной пособию, но нужно честно признать, что его содержание тоже оказалось ориентированным на уровень гораздо более высокий, чем тот, на который попадают выпускники, начавшие работать в конструкторских организациях. А про научно-исследовательский уровень даже нечего сказать, за исключением того, что даже введение дисциплины "Основы научных исследований", тем более на восьмом семестре обучения, ничего не даст в этом плане.

Переходя к позитивной части предлагаемого обзора, нужно сразу же подчеркнуть, что всё последующее имеет смысл только в определённых условиях. Прежде всего государство должно продекларировать и начать реализовывать внятную научно-техническую политику как непременную часть развития обрабатывающих, в частности, машиностроительных производств. Она должна содержать меры стимулирования собственных разработок на базе новейших достижений науки и техники как альтернативу клонированию зарубежных моделей не первой свежести. Эти меры должны быть действенными и привлекательными для владельцев и менеджмента предприятий, привыкших экономить на своих конструкторах и не понимающих необходимость поиска и создания заделов, что всегда было основной целью прикладной науки. Её восстановление после фактического уничтожения также должно являться частью этой политики.

Ведь сейчас отсутствие этой политики часто приводит к ситуации, когда вопросы научно-технического прогресса решаются очень своеобразно. Двигатели оставляют желать лучшего — будем ставить "Камминсы", "Перкинсы" и "Сису", или "Порше" попросим разработать. Кабины для КАМАЗов будем брать у "Даймлер", а коробки передач у "Цанрадфабрик". А несколько лет тому назад в одной корпоративной газете я с изумлением прочитал в статье одного из топ-

менеджеров, что проблему качества литья на одном из заводов решили очень просто: купили литейный завод в Германии (может, кто-нибудь из немолодых читателей вспомнит эпизод из романа Галины Николаевой "Битва в пути", в котором рассказывалось, как тогда решали такие задачи).

Только тогда, когда такая политика уйдёт в прошлое, появится устойчивый спрос на молодых специалистов, но не тех, которых мы пока учим всему и не можем научить почти ничему (я часто с ужасом обнаруживал, что студент при выполнении курсового проекта на девятом семестре, уже почти заканчивающий обучение, не умеет сделать рабочий чертёж детали), а тех, кто способен в кратчайшие сроки адаптации стать полноценным специалистом в избранной области.

Предлагаемые принципы подготовки таких специалистов касаются двух направлений деятельности, которые можно считать наиболее важными и показательными: проектно-конструкторского и научно-исследовательского. Ведь уже сейчас конструкторы становятся всё более востребованной категорией кадрового рынка, чего, к сожалению, про исследователей сказать пока нельзя.

Считая, что упомянутая выше среда в виде государственной научно-технической политики образована и создаёт потребность в таких специалистах, эта потребность должна получить количественное значение. Его определение может быть поручено только государственными структурам, отвечающими за развитие производств, в том числе за их кадровое обеспечение. Будем надеяться, что они будут назначены и дееспособны.

Основным принципом предлагаемого подхода нужно считать двухступенчатое обучение. Его можно организовать, придав уже существующему институту магистратуры другой смысл — не доучивание после бакалавриата, скорее напоминающее надстройку дома, возведённого без фундамента, а нечто вроде факультетов усовершенствования дипломированных инженеров, существовавших в своё время (я сам такой закончил, причём по специализации, далеко отстоявшей от моей основной профессии).

Первую ступень должен составить существующий пятилетний цикл. В нём стоит сделать лишь некоторые улучшения. Так, можно сократить объём обязательных теоретических знаний, сохранив только те, которые дают основы понимания принципов действия машин и требований качества в их работе. Изучение конструкций машин следует направить не на рассмотрение подробностей устройства тех или иных узлов или механизмов, особенно на машинах, разработанных полвека тому назад или ещё раньше, а на разъяснение принципов действия, формирующих требования к устройству, и на анализ достоинств и недостатков известных решений с указанием тенденций развития. Полезно сократить объём изучения технологий производства, оставив только то, что необходимо конструктору для понимания возможности рациональных приёмов изготовления деталей и узлов и влияния этих приёмов на принимаемые конструктивные решения. Чисто формальным и не оставляющим следов является изучение подробностей экономики производства без каких-либо акцентов на опытно-конструкторские или научно-исследовательские работы. Можно исключить такие предметы, как теория автоматического управления, которая, как показала практика, абсолютно непонятна студентам и никак дальше не используется (прошу заметить, что это утверждает человек, более 40 лет проработавший в области создания и исследования систем автоматического управления).

Взамен необходимо увеличить объёмы практик ознакомительного, производственного и проектного характера. Последнее стоило бы даже развить до уровня стажировки, причём организованной непосредственно по месту учёбы и достаточно длительной, вплоть до выполнения дипломного проекта (а предшествующий курсовой проект должен быть гораздо более насыщен конструктивными решениями, чем это практикуется сейчас).

И очень важным нужно считать изменение подхода к изучению иностранных языков. Вместо цели "читаю и перевожу со словарём", унаследованной от системы, при которой считалось необязательным и даже опасным умение объясняться на иностранном языке, изучение должно быть ориентировано именно на такую цель. Специалист, не способный общаться с зарубежным коллегой и без словаря прочитать статью в журнале или рекламный проспект, полноценным считаться не должен. От этого позорного явления нужно уходить как можно дальше и быстрее.

Можно указать и на другие дисциплины, в преподавании которых необходимы коррективы. Но главное состоит в том, что преподавание каждой должно вестись так, чтобы студенты получили ясное понимание того, зачем она может понадобиться в дальнейшем. И лучше сразу же перейти к соображениям по содержанию следующей ступени, условно обозначив её "новой магистратурой". Повторим, что её целью является подготовка специалистов, готовых практически сразу начать работу в конструкторской или научно-исследовательской организации под руководством более опытных коллег. Напомнив, что рассматриваются два направления этой подготовки — проектно-конструкторское и научно-исследовательское, укажем, что их содержание будет иметь существенные различия. Но не исключается подход, при котором магистранты будут получать знания и умения по обоим направлениям одновременно. Ведь продуктивная работа по созданию новой техники содержит и то и другое. А более конкретную специализацию можно иметь в виду к четвёртому семестру с учётом предпочтений и результатов обучения магистранта и возможного сотрудничества с тем или иным местом его будущей работы.

Не вдаваясь в подробности, можно кратко перечислить те знания и умения (как уже должно было стать понятным, термин "компетенции" мне не нравится), которыми должен обладать выпускник после двух лет обучения в "новой магистратуре". Во-первых, он должен понимать саму суть и структуру работы конструктора в машиностроении (слегка доработанный курс "Организация ОКР", упомянутый выше). Во-вторых, в развитие умения "как изображать деталь или сборочную единицу", которое он должен был получить в дисциплинах "Инженерная графика" и "Детали ма-

шин" на первой ступени обучения, он должен уметь принимать грамотные решения типа "что изображать и писать на чертеже" в полном объёме. Для этого должны быть организованы специальные занятия, учитывающие всё разнообразие реальных деталей машин и способов их изготовления (отливки, поковки, прутки, листы и т.д.). В-третьих, он должен получить твёрдые знания предмета "Допуски, посадки и технические измерения" и понимание принятых в машиностроении способов и средств контроля. В-четвёртых, он должен уметь составить патентную заявку и выполнить не формальный, а реальный патентный поиск. Можно и дальше расширять этот перечень, но лучше отметить важное пожелание.

Очень полезным было бы, чтобы, начиная со второго года обучения, "новый магистрант" был уже нацелен на работу в конкретной организации и по существу начал как бы стажировку в ней без отрыва от учёбы. Но это очень непросто организовать, имея в виду хотя бы только установление договорных отношений с организациями и их реализацию в случае нахождения вуза и организации в разных местах. Есть и ещё один деликатный момент, связанный с тем, что очень часто в таких организациях действуют чрезмерно жёсткие правила информационной безопасности, существенно усложняющие передачу вузам и студентам исходных материалов для обучения и дипломного проектирования (хотя зачастую в них нет ничего нового, требующего защиты коммерческой тайны, и часто думается, что это для того, чтобы никто не знал, каков на самом деле уровень машин их производства). Но всё это в принципе решается, и для решения стоит пойти на дополнительные затраты.

Единственный вопрос, который нужно обсудить для принятия правильного решения, заключается в том, как совместить такое обучение с требованием завершить магистратуру защитой диссертации. Не исключено, что можно будет засчитать за таковую защиту проекта, гораздо более сложного, чем дипломный проект, завершающий пятилетний цикл.

Несколько подробнее нужно описать представление о том, каким должно быть обучение по научно-исследовательскому направлению. Сначала предлагается принять за основу, что предмет "Основы научного исследования" в пятилетнем цикле должен давать общее представление о технологии научно-исследовательской работы как средства получения необходимой информации. А в "новой магистратуре" предлагается изучать практическое приложение этой технологии к проблемам машиностроения. Студент должен получить знания по организации и проведению исследования, вплоть до умения составить программу-методику, собрать и наладить комплект средств измерения и регистрации, провести опыты и обработать результаты измерений. А до этого он должен уметь составить математическую модель исследуемого явления и создать её компьютерную реализацию. Ну и, конечно, уметь сделать логичные и обоснованные выводы из полученных сведений. Какие для этого нужно преподавать дисциплины, можно не объяснять.

Но особо нужно подчеркнуть следующие обстоятельства. Практика общения со студентами и аспирантами в последние годы показывает, что подавляющее большинство из них не научены в школе и после неё связно и понятно переносить на бумагу (или на экран компьютера) полученную информацию. И борьба с этим недостатком также должна быть предусмотрена в программе обучения.

Должно быть расширено изучение математики. Магистрант должен владеть такими аспектами, как теория случайных процессов, статистические методы обработки результатов измерений, планирование эксперимента и все виды анализа (частотный, корреляционный, дисперсный, регрессионный и др.). Конечно, использование компьютерных средств при решении задач такого вида тоже должно быть освоено.

Что касается владения иностранным языком, то по большому счёту здесь должны быть указаны более сложные цели. Будущий учёный должен уметь не только как-то объясниться и без словаря понять содержание рекламного проспекта или статьи в журнале, о чем говорилось выше. Он должен быть готовым вести дискуссию с зарубежными коллегами и самолично подготовить (пусть даже с помощью программ перевода, которых полно в Интернете) текст для зарубежной публикации.

И здесь возникает вопрос стажировки с теми же сложностями. Но и его можно решить, и даже считать возможным вместо магистерской диссертации на надуманную тему с виртуальным экспериментом защищать раздел отчёта по реальной теме, в которой стажёр принимал участие (конечно, с ведома и согласия руководства соответствующей организации).

Конечно, всё предложенное ещё нужно обсуждать и уточнять, а затем тщательно готовить. Нужны также организационные и распорядительные решения, например, для того, чтобы профессорско-преподавательский состав был полным по специализации и по количеству, даже если придётся обучать по этим схемам одного-двух магистрантов. Вопрос отбора в такую магистратуру тоже требует взвешенного решения. Состав преподавателей для такой системы придётся подбирать из числа тех, кто имеет полноценный практический опыт и умеет делать то, чему учит, а не добросовестно излагает сведения, устаревшие ещё лет двадцать тому назад.

Но представляется, что в конечном итоге именно такой подход обеспечит пополнение конструкторских и научно-исследовательских организаций отрасли хорошо подготовленными молодыми специалистами. И не нужно бояться, если это производство будет штучным, а не массовым. Ведь, честно говоря, потребность в таких специалистах далеко не сотни, а возможно, даже не более пары десятков человек в год на всю страну. Поэтому будет уместно обсудить и такой вопрос, стоит ли подготовленных таким образом специалистов призывать на срочную военную службу иначе, чем направляя их в недавно созданные научные роты.

В заключение можно упомянуть, что для будущего специалиста такой высокой квалификации немаловажен общий культурный уровень. Конечно, и моральные качества тоже важны. Но, к сожалению, высшие учебные заведения мало что могут сделать в этом аспекте. И перечисление "компетенций" тоже вряд ли поможет.

УДК 629.33+338.2

МЕТОД МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИ СБАЛАНСИРОВАННОЙ СТРУКТУРЫ МАЛЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ СОЗДАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ ТРАКТОРОВ И АВТОМОБИЛЕЙ

Канд. техн. наук **ЗАГАРИН Д.А.**
Центр испытаний НАМИ (zagarin@autorc.ru)

Для преодоления негативных явлений в рамках процесса реиндустриализации необходимо использовать методы организации сетецентрических систем и структур на основе реализации ассиметричных подходов. Важное значение имеет структура продукта и принципы реализации производственной инфраструктуры. На различных примерах показано, что производители и поставщики, начиная от предложения отдельных деталей и элементов конструкции, переходят к агрегатам, узлам и подсборкам, а потом к предложениям полнокомплектных машин. Таким образом, малые промышленные предприятия, организационно и экономически создавая сетевые системы и структуры взаимодействия и управления, могут помочь в преодолении существующих кризисных явлений.

Ключевые слова: *малые промышленные предприятия, производство автомобилей и тракторов, сетецентрический принцип, теория графодинамики, математическая модель.*

Zagarin D.A.

THE METHOD OF MATHEMATICAL DESCRIPTION OF A DYNAMICALLY BALANCED STRUCTURE OF SMALL INDUSTRIAL ENTERPRISES IN THE CREATION AND PRODUCTION OF TRACTORS AND AUTOMOBILES

To overcome the negative phenomena in the framework of the re-industrialization of the process is necessary to use methods of organizing network-centric systems and structures on the basis of the implementation of asymmetric approaches. It is important that the product structure and principles of realization of industrial infrastructure. In various examples show that manufacturers and suppliers from the proposals of individual parts and design elements are transferred to units, assemblies and sub-assemblies, and then to the proposals of complete machines. Thus, small industries, organizational and economic systems and creating a network of interaction and management structure, can help to overcome the current crisis.

Keywords: *small industrial enterprises, production of transport vehicles and tractors, network-centric principle, graphic-dynamics theory, mathematical model.*

Проблема организации и функционирования малых форм хозяйствования в промышленности по сетецентрическому принципу многогранна, требует особого внимания при формировании динамически сбалансированной структуры, а также систем управления. В предыдущих работах [1—2] сформулированы общие вопросы по обоснованию принципа организации сети, а также жизнеспособности и актуальности обозначенных в наших исследованиях подходов. При этом исходили из того, что в условиях нашей страны представляется актуальным обеспечить рентабельность производства и потребления с опорой на малые формы хозяйствования в промышленности. Такой подход поможет преодолеть противоречия, когда крупные производители с недогруженными мощностями объективно не могут быть эффективными и прибыльными. В указанных выше работах приведены соответствующие доводы и названы примеры. Следует также заметить, что функционирование таких систем и управление ими связано с анализом больших систем, организованных в виде горизонтально-сетевых или вертикально-иерархических структур, изменяющихся во времени.

Однако ряд принципиально важных проблем требуют более подробного рассмотрения и математической формализации. Понятно, что, говоря о производстве, необходимо уточнить "экономическую составляющую" наших рассуждений. Например, рынок как глобальная система взаимоотношений предполагает наличие конкуренции между большим числом поставщиков продукции за привлечение внимания покупателя. Если исходить из того, что ключевым критерием в этой конструкции является "конкуренция", то именно по этому критерию следует анализировать особенности организации деятельности горизонтально-сетевых и вертикально-иерархических структур участников рынка, отличающихся той или иной степенью локальности и находящихся в непрерывном процессе поиска динамического равновесия. Однако в реальной жизни можно наблюдать более сложные явления.

Для раскрытия темы данного исследования и физического смысла изучаемых процессов рассмотрим известные методы производства автомобилей и тракторов, а именно крупноузловую ("отверточную") сборку и производство в условиях той или иной степени локализации. Здесь можно говорить о воздействии на рынок со стороны административных органов, определяющих принципы и условия организации таких видов деятельности. Кроме того, таким же путем определяется привязка к местности или, иными словами, использование инфраструктуры конкретного региона (регионов). В случае крупноузловой сборки можем говорить о вертикально-иерархической структуре организации. Такая структура характеризуется тем, что основные стоимостные показатели формируются не в процессе сборки (производства в регионе размещения), и они слабо увязаны с местными условиями. При этом стоимостные показатели определены заранее, с учетом уже заложенной условной прибыли. Иными словами, получаемый продукт не предназначен для конкурентного рынка, и более того, из-за отсутствия ключевого критерия ("конкуренции") нет и самого рынка.

С введением требования по локализации возникают горизонтально-сетевые структуры, система усложняется, однако результаты далеко не однозначны. Нет необходимости приводить в данной статье детальный анализ идущих процессов, однако следует отметить, что в этом случае реализуются принципы сетецентрической войны, разработанные в свое время на основе изучения особенностей функционирования глобальных корпораций [3—4]. Результат неизменно один: переход от конкурентных рынков к корпоративной глобализации за счёт маргинализации или устранения "коренных" производителей и их замещение путём формирования глобально манипулируемых рынков [5—9]. В условиях развивающейся экономики это приведёт к потере положительного содержания процесса локализации. Структурные взаимосвязи при этом усложняются, а степень совпадения моделированного мира с реальным нельзя признать достаточной. Следствием являются кризисы разной глубины и продолжительности.

Анализируя состояние и динамику падающих рынков готовых автомобилей и продукции сельхозмаши-

ностроения за последние два-три года, можно прийти к выводу, что наблюдаемые негативные явления во многом обусловлены недостатком ресурсов для преодоления "отсутствия рынков". Их отсутствие обусловлено невозможностью конкурировать, а причинами служат изначально неравноправные условия для хозяйствующих субъектов. Наш вывод подтверждается опытом "скрытых чемпионов" [10—13] — успешных малых и средних машиностроительных предприятий. Они развиваются в практически уникальных рыночных нишах. Как в деле организации бизнеса, так и при создании продукта, его производства и реализации.

Следовательно, для преодоления негативных явлений в рамках процесса реиндустриализации необходимо использовать методы организации сетецентрических систем и структур на основе реализации ассиметричных подходов. В этом случае важное значение имеет структура продукта и принципы реализации производственной инфраструктуры. Ранее, при непосредственном участии автора, были проведены работы в сфере создания новых автомобилей и тракторов [14—15], а малогабаритные транспортные средства сельскохозяйственного назначения под брендом "Силант" — доведены до серийного производства на ОАО "Автоспецоборудование" (позднее ООО "Новгородский автотракторный завод") [16]. Здесь же следует отметить, что в случаях недостатка усилий со стороны административных органов в деле урегулирования правил и условий функционирования малых форм в промышленном производстве возникает частная инициатива, так как потребность в доступной по цене и обладающей необходимой совокупностью потребительских качеств продукции только растет. В контексте рассматриваемой проблематики можно упомянуть случай, когда от предложения отдельных деталей и элементов конструкции производители и поставщики сначала переходят к агрегатам, узлам и подсборкам, а потом возникают и предложения полнокомплектных машин.

Рис. 1. Кабина для тракторов МТЗ производства ООО ПТК "Русстех"

Рис. 2. Вариант исполнения реставрированного гусеничного трактора ДТ-75

Рис. 3. Серийный гусеничный трактор "Агромаш 90ТГ"

Например, компания ООО ПТК "Русстех" (г. Тверь, www.russ-tractor.ru) работает на рынке оказания услуг по капитальному ремонту тракторов "Беларусь" более десяти лет. Для удовлетворения требований потребителей специалисты компании освоили производство тракторных кабин первой комплектации в различных модификациях, пригодных для продажи в виде отдельной продукции (рис. 1). Со временем возникла необходимость внедрить принцип "новый" трактор на старые документы", подразумевающий реставрацию изношенной техники, и компания расширила свою рыночную нишу. Примерно по такой же схеме в разных регионах страны можно обнаружить предложения по продаже реставрированных гусеничных тракторов ДТ-75 (рис. 2) и его давно снятых с серийного производства модификаций. Следует заметить, что концерн "Тракторные заводы" выпускает современные модели данной машины (рис. 3) и считает реставрированные тракторы контрафактом [17].

Одним из ярких примеров функционирования малых машиностроительных производств является деятельность М.Ф. Лисицы, крестьянское хозяйство которого расположено в с. Бакланово Орловского района Орловской области [18]. Он для собственных нужд из серийных агрегатов и подсборок отечественных автомобилей и тракторов создал колесный трактор классической компоновки "Бизон" (рис. 4), который оказался настолько удачным по своим характеристикам, что предприниматель стал их производить на продажу.

Таким образом, на рынке появился продукт сельхозмашиностроения, обладающий новой совокупностью потребительских качеств и доступный по цене. Приведённые примеры характеризуют деятельность машиностроителей в разных регионах страны и связаны с использованием в их работе изделий предприятий из нескольких регионов. Учитывая, что агрегаты и подсборки, со своей стороны, изготовлены в условиях более широкой кооперации, можно заключить: речь идёт о формировании сетевой структуры малых машиностроительных предприятий как субъектов рынка. Важно понимать, что такая сетевая структура по мере развития сама востребует появления новых "ячеек" и связей между ними, причём как вертикально-иерархических, так и горизонтально-сетевых. На важность такого рода процессов в условиях кризисных явлений указывает целый ряд исследований [19—20]. Наш вывод справедлив ещё и потому, что упомянутые производители действуют на рынках не один год и спрос на их продукцию растёт. Как известно, отрасли автомобильной промышленности и сельхозмашиностроения развиваются на основе роста и развития целого ряда смежных отраслей и производств. Таким образом, малые промышленные предприятия, организационно и экономически создавая сетевые системы и структуры взаимодействия и управления, могут помочь в преодолении существующих кризисных явлений, создав новую реальность в производстве и потреблении.

Процесс роста сетевых структур неразрывно связан с поиском и установлением новых системных балансов, необходимых для устойчивого и безопасного развития. Важное значение приобретает способность саморегулирования и самоорганизации. Иными словами, в процессе формирования и развития сетевая структура меняется, находясь в динамике. В связи с этим, речь может идти о динамически сбалансированных структурах больших систем.

В качестве примера можно рассмотреть спецификацию (или номенклатуру составных частей) того же трактора или автомобиля. Сюда включаются как отдельные товарные позиции, которые можно приобрести на рынке (шестерни, подшипники, шины, приводные ремни, лампочки, кронштейны, тяги, ведомый диск сцепления, полуось и т.п.), так и подсборки из этих деталей в виде узлов и сборочных единиц (коробка передач, генератор, мост, рулевой механизм и т.п.). На следующем уровне можно говорить об агрегатах и сборочных единицах первой комплектации (рама в сборе, кабина/кузов первой комплектации, силовой агрегат в сборе и т.п.), которые тоже являются приобретаемым товаром с той или иной целью. Например, как мобильные машины, так и стационарные установки, представляя разные группы товаров, могут быть изготовлены путём использования одних и тех же агрегатов. В спецификацию включаются и готовые изделия, представляющие различные товарные группы (магнитолы, акустические системы, мониторы и т.п.). Легко заметить, что позиции рассматриваемой спецификации могут меняться во времени и в зависимости от соотношения спроса и предложения в том или другом их сочетании (модели и модификации).

Рис. 4. Трактор "Бизон" М.Ф. Лисицы

Понятно, что производителями и потребителями этих товарных позиций может быть разное количество участников рынка, на поведение которых оказывают воздействие внешние факторы (состояние региональной инфраструктуры, степень износа и темпы обновления оборудования, доступность услуг финансовых институтов, уровень сервиса и др.). Для математического описания структур малых промышленных предприятий разработана теория графодинамики [21—22], которая позволяет имеющееся состояние структуры, внешние воздействия и реакции на них представить в виде графов. При этом динамика процесса описывается не как перемещение по графам, а как изменение их структуры. Вводится понятие "функции подчинения (П-функции)", описывающие графы, являющиеся деревом или состоящие из нескольких деревьев ("леса").

Тогда приведённая выше в качестве примера спецификация в данный момент времени может быть представлена ориентированным графом, вершинами которого являются детали, а ребра — включение деталей в другие узлы или агрегаты. Следует отметить, что в некоторых частных случаях (для тех или иных узлов и агрегатов) граф может быть деревом. Допустим, спецификация изменилась путём включения новых деталей, подсборок или сборочных единиц. Исходя из особенности изготовления продукции машиностроения в виде тракторов и автомобилей, можно заметить, что в случае изменения спецификации меняется не одна вершина графа, а перестраивается весь граф. Так как у производителей и поставщиков, как правило, имеется широкий спектр комплектующих, запасных частей или дополнительных устройств различного функционального назначения, получится, что такую структуру можно описать развертывающейся во времени последовательностью направленных графов.

Таким образом, можно сформулировать гипотезу, что математическое описание динамически сбалансированной структуры малых промышленных предприятий при создании и производстве тракторов и автомобилей уравнениями теории графодинамики позволит обеспечить возможность предвидеть изменения структуры. Однако важно, чтобы сами изменения были заданы локально. В этой связи для нашей темы оп-

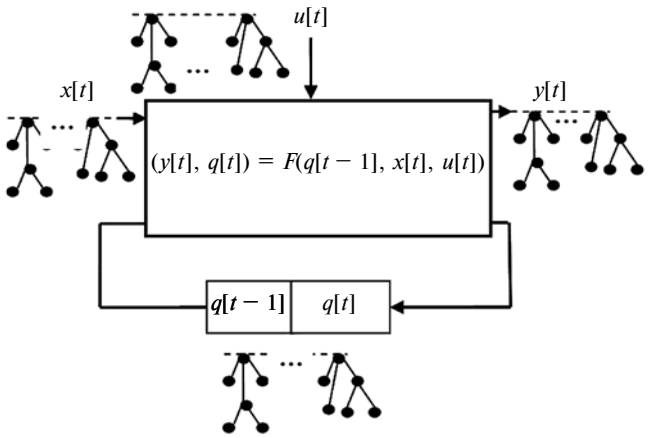


Рис. 5. Графодинамические системы

ределённый интерес представляют результаты исследований, проведённых в рамках решения задач управления большими системами методами графодинамики [23—25]. В данном случае динамику функционирования структуры предлагается выразить в виде:

$$\begin{cases} t_0 = 0 \\ q[t_0] = q_0 \\ r[t_0] = r_0 \\ d[t_0] = d_0 \\ (y_s[t_i], \nu[t_i], q[t_i], r[t_i]) = F_s(q[t_{i-1}], r[t_{i-1}], z[t_{i-1}], x_s[t_i]) \\ (y_c[t_i], z[t_i], d[t_i]) = F_c(d[t_{i-1}], \nu[t_{i-1}], x_c[t_i]) \\ i = 1, 2, \ldots , \end{cases}$$

где внешние воздействия:

$$x[t] = (x_s[t_i], x_c[t_i]) \in X_i \quad \text{и} \quad y[t] = (y_s[t_i], y_c[t_i]) \in Y_i,$$

а также внутренние состояния:

$$q[t_i] \in Q_i, \quad r[t_i] \in r_i, \quad d[t_i] \in D_i, \quad \nu[t_i] \in V_i, \quad z[t_i] \in Z_i,$$

где t_i — структурированное разномасштабное время; X_i, Y_i, Q_i, R_i, D_i, V_i и Z_i — нестационарные многоуровневые структурированные множества допустимых значений; $F_s(\bullet)$ и $F_c(\bullet)$ — интегральные информационные функции.

В рассматриваемой методологии значения переменных внешних воздействий и внутренних состояний в каждый момент времени могут быть представлены динамическими структурами, причём время t_i тоже имеет структуру, отражающую разнообразие масштабов времени взаимодействующих процессов, проистекающих в сетевой системе. Иными словами, динамическое состояние сетецентрической системы можно представить структурами общего вида, которые, со своей стороны, могут принимать значения в произвольно задаваемых множествах графов (рис. 5).

В работе [25] предложены новые подходы для "...определения перспективных сфер применения графодинамических систем с сетецентрическим управлением, а также методов и средств "бесшовного" их программирования, основанных на исчислении древовидных структур. Это математическое замкнутое компьютерное исчисление реализовано в системе программирования ПАРСЕК".

В заключение можно отметить, что сутью графодинамических методов является классификация структурно и динамически сложных систем (в том числе сетецентрических), а также построение и исследование математических моделей управления. Следовательно, с помощью данных методов можно представить математическое описание динамически сбалансированной структуры малых промышленных предприятий, занимающихся производством тракторов и автомобилей. Гипотетически такой подход позволит спрогнозировать во времени изменения сетецентрической структуры в зависимости от внешних воздействий и внутренних изменений. В результате можно говорить о возможном синтезе предпринимаемых усилий в деле реиндустриализации как машиностроения, так и других сфер хозяйствования.

Литература

1. Загарин Д.А. Организация и функционирование малых форм хозяйствования в промышленности по сетецентрическому принципу // Труды НАМИ. — 2016. — № 264. — С. 102—115.
2. Загарин Д.А. Разработка концепции промышленной площадки сетецентричекого типа регионального покрытия // Труды НАМИ. — 2016. — № 265.
3. Cebrowski, Arthur K. and John J. Garstka. Network-Centric Warfare: Its Origins and Future // USA Naval Institute Proceedings Magazine. — January 1998. — Vol. 124/1/1. — P. 139.
4. Савин Л.В. Сетецентричная и сетевая война. Введение в концепцию. — М.: Евразийское движение, 2011. — 130 с.
5. Гражданкин А.И., Кара-Мурза С.Г. Белая книга России: Строительство, перестройка и реформы: 1950—2012 гг. № 24. — М.: Либроком, 2013. — 566 с.
6. Котиев О.Б., Котиева Ю.Г. Проблемы отечественного машиностроительного комплекса в России на примере отрасли тракторного и сельскохозяйственного машиностроения и пути решения. Ч. I. Кто виноват? URL: http//www.soyuzagromash.info/publikacii/id171 (дата обращения 06.04.2015).
7. Котиев О.Б., Котиева Ю.Г. Проблемы отечественного машиностроительного комплекса в России на примере отрасли тракторного и сельскохозяйственного машиностроения и пути решения. Ч. II. Что делать? URL: http//www.soyuzagromash.info/publikacii/id177 (дата обращения: 06.04.2015).
8. Сакс Дж. Цена цивилизации / Пер. с англ. А. Калинина; под ред. В.Ю. Григорьевой. — М.: Издательство Института Гайдара, 2012. — 352 с.
9. Перкинс Дж. Исповедь экономического убийцы / Пер. с англ. М.А. Богомоловой, предисловие и науч. ред. русского издания Л.Л. Фитуни. — М.: ООО "Претекст", 2005. — 120 с.
10. Юданов А. Гении национального бизнеса. URL: http://bigc.ru/publications/other/concepts/genii%20national%20business.php (дата обращения: 20.05.2014).
11. Стори Д.Дж. Анализ влияния государственной политики поддержки на малый бизнес в развитых экономиках. В книге "Современные классики теории предпринимательства. Лауреаты Международной премии за вклад в исследования предпринимательства и малого бизнеса (1996—2010) / пер. с англ. под науч. ред. А.Ю. Чепуренко; предисл. и послесл. А.Ю. Чепуренко; Нац. иссл. ун-т "Высшая школа экономики", Науч.-учеб. лаб. исследований предпринимательства. — М.: Изд. Дом Высшей школы экономики, 2013. — 526, [2] с." — С. 53—75.
12. Симон Г. Скрытые чемпионы. Уроки 500 лучших в мире неизвестных компаний: переводное издание. — М.: Дело, 2005. — 288 с.
13. "Газели" до и после кризиса 2008—2009 гг.": Доклад журнала "Эксперт" на 2-м Всероссийском конгрессе быстрорастущих компаний среднего бизнеса, 24 мая 2011 г. URL: http://cesec.kz/pdf/Prezents/Andrey_Skirka_Gazel.pdf (дата обращения: 06.04.2015).
14. Дзоценидзе Т.Д., Козловская М.А., Загарин Д.А., Журавлев А.В., Кабанин П.А. Автомобильный транспорт для малых форм хозяйствования. Конструкция и особенности эксплуатации. Монография. — М.: ЗАО "Металлургиздат", 2011. — 288 с.

15. T.D. Dzotsenidze, D.A. Zagarin, M.A. Kozlovskaya. Use of Profiled Tubes to Create Three-Dimensional Frame-and-Panel Systems for Tractors and Automobiles // Metallurgist. November 2014, Volume 58, Issue 7—8, pp 717-723. DOI 10.1007/s11015-014-9983-2
16. Алямовский К.И. Становление и перспективы развития ОАО "Автоспецоборудование — SILANT" // Технология колесных и гусеничных машин — Technology of Wheeled and Tracked Machines. — 2012. — № 1. — С. 15—19.
17. Агромаш. Корпоративный журнал Концерна "Тракторные заводы", сентябрь 2012 года, № 3 (10). URL: http://agromh.com/journal/310.pdf (дата обращения 25.06.2016).
18. Ветров А. Знай наших! Лисица и "Бизон" // Новый аграрный журнал. — 2013. — № 2 (6). URL: http://www.newagro.info/articles/006-znaj-nashix-lisicza-i-bizon/ (дата обращения: 16.12.2015).
19. Хазин М.Л. Выход возможен только в кризис // Дружба народов. — 2009. — № 6. — С. 185—196.
20. Григорьев О.В. Эпоха роста. Лекции по неоэкономике. Расцвет и упадок мировой экономической системы. — М.: Карьера Пресс, 2014. — 448 с.
21. Айзерман М.А., Гусев Л.А., Петров С.В., Смирнова И.М. Динамический подход к анализу структур, описываемых графами (основы графодинамики). I // Автоматика и телемеханика. — 1977. — Выпуск 7. — С. 135—151.
22. Айзерман М.А., Гусев Л.А., Петров С.В., Смирнова И.М. Динамический подход к анализу структур, описываемых графами (основы графодинамики). II // Автоматика и телемеханика. — 1977. — Выпуск 9. — С. 123—136.
23. Затуливетер Ю.С. Проблемы глобализации парадигмы управления в математически однородном поле компьютерной информации. Ч. I. Кибернетизация социосистемы // Проблемы управления. — 2005. — № 1. — С. 2—10.
24. Затуливетер Ю.С. Проблемы глобализации парадигмы управления в математически однородном поле компьютерной информации. Ч. II. К единому функциональному пространству // Проблемы управления. — 2005. — № 2. — С. 12—23.
25. Затуливетер Ю.С. Компьютерный базис сетецентрического управления // Сборник трудов Второй российской конференции с международным участием "Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения (теория, методы, алгоритмы, исследования и разработки)". ИПУ РАН. — М., 2010. — С. 492—511. ISBN 978-5-91450-061-7.

АМ-факты

В Москве состоялась **XX Международная выставка запасных частей, автокомпонентов, оборудования и товаров для технического обслуживания автомобилей** (*MIMS Automechanika Moscow*). Организатором выступила компания *"ITEMF Экспо"*, созданная Группой компаний ITE и "Мессе Франкфурт".

MIMS automechanika MOSCOW

В этом году свою продукцию и услуги представили 1022 компаний-участников из 40 стран. Семь национальных павильонов объединили экспонентов из Италии, Франции, Китая, Кореи, Сингапура, Тайваня и Японии. Общая площадь экспозиции превысила 41 000 м^2. За четыре дня работы зарегистрировано 30 737 посещений специалистами из 59 стран мира и 79 российских регионов. 58 % посетителей пришли на выставку с целью поиска товаров и услуг для бизнеса, из них доля руководителей и лиц, принимающих решение о закупке, составила 48 %.

Экспоненты представили автозапчасти, автокомпоненты, услуги по ремонту и техническому обслуживанию, аксессуары и тюнинг, оборудование для автомоек и станций технического обслуживания, компоненты автоэлектрики и электроники, решения в области организации управления и информационных технологий. В рамках специального раздела "Трак компетенс" были представлены автозапчасти и решения для грузового транспорта.

В дни работы выставки состоялись встречи с азиатскими производителями автозапчастей и автокомпонентов. Японские производители, открывшие производства на территории России, организовали презентацию технологий, которые эти компании планируют закупать у российских поставщиков, провели семинары о планах по локализации и переговоры с российскими поставщиками.

Во второй день выставки с успехом прошёл **Международный Московский Автомобильный Форум** (*IMAF*), который в этом году состоялся в седьмой раз и был посвящён теме "Российский автопром: настал ли переломный момент?". Форум открылся приветственными словами генерального директора Ассоциации европейского бизнеса (АЕБ) Франка Шауффа и вице-президента "Мессе Франкфурт", бренд — менеджера "Автомеханики" Михаэля Йоханнеса.

"Автомобильная промышленность в России переживает не лучшие времена, именно поэтому организовывать автомобильные форумы сейчас просто необходимо. *IMAF* даёт прекрасную возможность участникам наладить продуктивное общение напрямую с представителями компаний", — отметил Франк Шауфф. "Форум значительно вырос за последние годы и стал главным бизнес-событием в отрасли. В это трудное время мы хотели обсудить, что нужно сделать, чтобы поменять ситуацию в автомобильной индустрии в лучшую сторону. Надеюсь, что *IMAF* смог принести много ценных деловых контактов, свежих идей и помог поддержать новые проекты", — сказал Михаэль Йоханнес.

На пленарном заседании "Взгляд на российскую автомобильную промышленность: тенденции, прогнозы, перспективы" с презентацией впервые выступил президент "АвтоВАЗа" Николя Мор. Он рассказал о дальнейшем пути развития компании и о готовящихся изменениях как в управлении, так и в модельном ряду. Генеральный директор "Рено Россия" Андрей Панков также выступил с презентацией. Он отметил, что автопром представляет огромный потенциал для развития ключевого экспорта промышленных товаров из России. "В результате проделанной работы по локализации производства мы можем экспортировать из России не только автомобили, но и запчасти, и автокомпоненты. Это направление успешно разрабатывается нами: с 2010 года — в страны ближне-

го, а с 2015 года — в страны дальнего зарубежья", — сказал Андрей Панков.

В пленарной сессии также выступили директор дивизиона "Автокомпоненты" Группы "ГАЗ" Кирилл Эпштейн, бизнес-директор "ИВЕКО Россия" Массимилиано Перри, генеральный директор "Континенталь Тайрз" Ярон Видмайер и другие авторитетные спикеры. Эксперты оценили эффективность принимаемых мер государственной поддержки автомобильной отрасли, оценили итоги первого полугодия работы отрасли в 2016 году, а также анонсировали стратегии и планы своих компаний в долгосрочной перспективе. Например, Ярон Видмайер заметил, что в связи со сложившейся экономической ситуацией наблюдается спад и на российском рынке шин. "Основной спад пришёлся на зимний сезон 2015—2016 года. Конечно, главной причиной данного снижения явилось падение продаж новых автомобилей более чем на 36 % в 2015 году. Реагируя на современные тенденции российского рынка, в этом зимнем сезоне мы выводим в продажу в среднем и бюджетных ценовых сегментах сразу три новых продукта", — добавил генеральный директор "Континенталь Тайрз".

Во второй половине дня на форуме были организованы сессии, посвящённые анализу российского рынка автокомпонентов, особенностям применения действующих мер и направлений государственной поддержки автомобильного сектора, стратегии экспорта и проектам локализации производства на территории России. Завершился форум серией прямых переговоров автопроизводителей и оптовых закупщиков с поставщиками. Таких переговоров было проведено более 70, а общее число участников форума в этом году превысило две сотни.

Следующая, 21-я выставка "МИМС Автомеханика" пройдет в московском ЦВК "Экспоцентр" 21—24 августа 2017 г.

КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

УДК 629.113

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДИЗЕЛЬНОГО АВТОМОБИЛЯ С АККУМУЛЯТОРНОЙ ТОПЛИВОПОДАЮЩЕЙ СИСТЕМОЙ

Канд. техн. наук **КРИВЦОВ С.Н.**
Иркутский ГТУ

Статья содержит описание нового методического похода к формированию так называемой быстрой динамической модели автомобиля с дизельным двигателем, оснащённым аккумуляторной топливоподающей системой. В работе представлено теоретическое обоснование предлагаемого способа, пригодного для описания режимов движения с полной и частичной нагрузкой, а также для аналитического исследования неустановившихся режимов движения автомобиля, в том числе при изменении параметров топливоподачи. Данный методический подход основан на сочетании классической теории автомобиля, дополненной зависимостями параметров топливоподачи с учётом логики работы системы управления двигателем, получаемыми на основе математического моделирования электрогидравлических форсунок, либо на основании регрессионной модели.

***Ключевые слова**: автомобиль, топливоподающая система, математическая модель.*

Krivtsov S.N.

METHODICAL APPROACH TO FORMATION OF A DYNAMIC MODEL OF VEHICLE WITH DIESEL ENGINE, EQUIPPED WITH COMMON RAIL FUEL INJECTION SYSTEM

The article contains the description of a new methodological approach to formation, so-called, fast dynamic automobile model with a diesel engine equipped with Common Rail fuel injection system. The paper presents theoretical justification of the proposed method is suitable to describe the modes of motion with a full and partial loads, and also for analytical study of transient modes of motion of the vehicle, including when changing the parameters of fuel injection. This methodological approach is based on the classical theory of the automobile, supplemented by the dependencies of the parameters of fuel injection, according to the logic of operation of the engine management system obtained on the basis of mathematical modeling of Common Rail injectors, or on the basis of the regression model

***Keywords:** automobile, Common Rail fuel injection system, mathematical model.*

Теория автомобиля, в частности раздел, касающийся определения таких его эксплуатационных свойств, как тягово-скоростные и топливно-экономические, разработана достаточно хорошо. Поэтому с построением моделей, необходимых для исследования этих свойств, особых сложностей, как правило, не возникает: исходными данными здесь служат характеристики двигателя, трансмиссии, шин, аэродинамических свойств, загрузки автомобиля, а также дорожного сопротивления. Например, внешнюю скоростную характеристику двигателя описывают уравнением С.Р. Лейдермана, а частичные режимы эмпирическими либо полуэмпирическими функциями и коэффициентами [1]. Такой подход позволяет получить так называемую быструю модель автомобиля, т.е. не связанную с длительными промежуточными вычислениями. В то же время точности расчета по С.Р. Лейдерману оказывается недостаточно для описания пере-

ходных процессов и режимов с частичной нагрузкой современного автомобиля, оснащённого турбонаддувным дизелем.

Другой подход — аппроксимация и линеаризация многопараметровой характеристики в виде зависимости удельного эффективного расхода от нагрузки и частоты вращения коленчатого вала [2]. Сложность формирования быстрой динамической модели возникает, когда эта зависимость для двигателя неизвестна и может быть получена только по результатам длительных стендовых испытаний. Указанное обстоятельство характерно в первую очередь для автомобилей с двигателями иностранного производства. Кроме прочего, со временем техническое состояние автомобиля и его систем изменяется, и традиционные методы расчёта в этом случае для аналитического исследования эксплуатационных свойств ограниченны или малопригодны.

Аккумуляторная топливоподающая система является составной частью и электронной системы управления двигателем (ЭСУД), и автомобиля. Она может быть представлена в виде совокупности гидравлических и электрогидравлических элементов, управляемых в режиме замкнутой обратной связи от блока управления двигателем. Таким образом, она содержит два контура — гидравлический и управляющий (роль последнего играет электронный блок управления).

Основная задача аккумуляторной топливной системы и ЭСУД в составе автомобиля — подать необходимое количество топлива в нужный момент в зависимости от требуемого скоростного и нагрузочного режима двигателя. В системах с топливными аккумуляторами высокого давления она достигается соблюдением ряда необходимых условий: во-первых, наличием необходимого для впрыска давления топлива, во-вторых наличием информации о текущем скоростном, нагрузочном и тепловом режимах ДВС. Информация от водителя в виде заданного положения педали управления подачей топлива β поступает в ЭБУ в массивы формирования давления и заданного крутящего момента. От двигателя входом в данные массивы служат текущая угловая скорость коленчатого вала ω_e и давление наддува на выходе из турбокомпрессора $p_к$. Последний является сигналом, лимитирующим текущую цикловую подачу, исходя из требований по ограничению дымления. Электронный блок управления выбирает минимальное значение подачи, но максимально возможное при данном давлении наддува. Выходом же подсистемы аккумуляторной топливной системы в составе автомобиля служит закон требуемой топливоподачи, количественно оцениваемый цикловой подачей (в массовых или объёмных единицах). Она зависит в первую очередь от текущего давления в топливном аккумуляторе высокого давления $p_{ак}$, и уже на основании информации о давлении блок управления формирует управляющий импульс τ_i соответствующей длительности.

Теперь рассмотрим упрощённое представление системы управления применительно к аккумуляторной топливной системе, в котором опущены алгоритмы формирования пусковой подачи, регулирование холостого хода, круиз-контроля.

Предпосылками для формирования управляющих воздействий со стороны ЭСУД служит информация о требуемом режиме работы автомобиля, задаваемом водителем с помощью педали управления подачей топлива. Режим движения автомобиля зависит от многих факторов, таких как: дорожные и природно-климатические условия, масса и вид перевозимого груза и т. п. Выразим сказанное через функцию, описываемую формулой 1 (см. таблицу), а требуемый для данных условий движения крутящий момент $M_з$ определим с учётом степени нажатия педали управления подачей топлива β [3] — формулой 2. Для линеаризации приведённой функциональной зависимости применим принцип суперпозиции, в соответствии с которым воздействия на двигатель рассматриваются независимо друг от друга, а результаты этих воздействий суммируются. Разложив зависимость 2 в ряд Тейлора и отбросив слагаемые, содержащие малые величины, получим формулу 3. Эффективный крутящий момент зависит от цикловой подачи (формула 4). Определим требуемую для данного режима цикловую подачу, преобразовав выражение 4 в формулу 5.

Для нахождения требуемой цикловой подачи из условия предотвращения дымления, выражение для вычисления текущего коэффициента избытка воздуха запишем формулу 6, а цикловое наполнение цилиндра определим по выражению 7.

Далее, с учётом уравнения состояния газа (с допущением применимости уравнений состояния идеального газа для воздуха) найдем требуемую цикловую подачу топлива из условий предотвращения дымления — формула 8.

Таким образом, цикловая подача топлива, определённая блоком управления двигателем (выражение 5), сравнивается с другой величиной — максимально возможной подачей g_α, полученной с учётом циклового наполнения воздухом. В случае если заданная подача по условиям движения не превышает максимально возможную по дымности, она и используется в дальнейших расчётах, в противном случае в качестве расчётной принимается порция топлива, ограниченная по условиям дымления.

Для определения командного импульса блоку управления двигателем необходима информация также о текущем давлении в аккумуляторе, поступающая с датчика давления. В итоге на вход электрогидравлической форсунки поступает командное воздействие со стороны электронного блока управления в виде продолжительности τ_i и количества управляющих импульсов, следующих в определённые моменты по отношению к положению коленчатого вала (формула 9).

Заданные по условиям текущего скоростного и нагрузочного режима давления представим (формула 10) в виде массива (многопараметровой характеристики, с учётом регулирования). При этом промежуточные точки массива определяются интерполяцией. (Минимально возможный шаг сетки для переменной β_i составляет 1 %.)

Текущий эффективный крутящий момент двигателя, затрачиваемый на преодоление моментов сопротивления движению, на каждом шаге интегрирования определим на основе уравнения силового баланса автомобиля (формула 11). При

Таблица 1

№	Формула	Примечания
1	$\beta = f[V_a,\ V_{зад},\ G_a,\ \psi,\ \varphi,\ q(l),\ c_x,\ S_x]$	V_a, $V_{зад}$ — соответственно текущая и заданная скорость движения автомобиля, км/ч; G_a — полный вес автомобиля, Н; ψ — коэффициент общего дорожного сопротивления. φ — коэффициент сцепления с дорогой; $q(l)$ — высота микронеровностей дороги, м; c_x — коэффициент аэродинамического сопротивления; S_x — мидель автомобиля, м^2
2	$M_з = f(\beta,\ \omega_e)$	—
3	$M_з = M_{e0} + \frac{\partial M_e}{\partial \beta}\Delta\beta + \frac{\partial M_e}{\partial \omega_e}\Delta\omega_e$	—
4	$M_{e_i} = \frac{zH_u g_{ц_i}\eta_e}{4\pi}$	η_e — эффективный КПД; z^* — число цилиндров двигателя; H_u — низшая теплотворная способность топлива, МДж/кг; $g_{ц_i}$ — цикловая подача топлива на i-м шаге счёта, мг
5	$g_з = \frac{4\pi M_з}{zH_и\eta_e} = B\frac{M_з}{\eta_e}$	$B = \frac{4\pi}{zH_и}$ — постоянная величина, не зависящая от режима работы ДВС
6	$\alpha = \frac{g_в}{l_0 g_ц}$	$g_в$ — цикловое наполнение цилиндра воздушным зарядом, мг/цикл; l_0 — стехиометрический коэффициент, кг возд./кг топл.; $g_ц$ — массовая цикловая подача топлива, мг/цикл
7	$g_в = V_h\rho_k\eta_V$	V_h — рабочий объём цилиндра, м^3; ρ_k — плотность воздуха на выходе из компрессора, кг/м^3; η_V — коэффициент наполнения
8	$g_\alpha = \frac{V_h p_k \eta_V}{\alpha_{min} l_0 R_в T_к} = \frac{p_k \eta_V}{\alpha_{min} T_к}$	p_k — соответственно давление воздуха на выходе из компрессора, Па; $T_к$ — температура воздуха на выходе из компрессора, К; α_{min} — минимально допустимый коэффициент избытка воздуха по дымлению (задается заранее для каждого режима ДВС); $R_в$ — универсальная газовая постоянная для воздуха, Дж/(кг · К); $A = V_h/l_0 R_в$ — постоянная, не зависящая от режима работы двигателя
9	$\tau_i = f(g_з \vee g_\alpha,\ p_{ak})$	—
10	$\begin{bmatrix} & \omega_1 & \omega_2 & \dots & \omega_m \\ \beta_1 & p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1m} \\ \beta_2 & p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \beta_n & p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nm} \end{bmatrix}$	β_i — текущее положение педали управления подачей топлива; ω_i — текущая угловая скорость вращения коленчатого вала двигателя, с$^{-1}$
11	$M_{ei} = M_{вм} + (F_w + F_f + F_i \pm m_{экв} j_a)\frac{r_k}{i_т \eta_т}$	$M_{вм}$ — момент, затрачиваемый на привод вспомогательных механизмов, Н · м; F_w — сила сопротивления воздуха, Н; F_f — сила сопротивления качению, Н; F_i — сила, действующая на автомобиль на уклоне дороги, Н; $m_{экв}$ — эквивалентная масса автомобиля, кг; j_a — ускорение автомобиля, м/с^2; r_k — радиус качения колеса, м; $i_т$ — передаточное число трансмиссии; $\eta_т$ — коэффициент полезного действия трансмиссии
12	$m_{экв} = m_a\delta = \frac{G}{g}\delta$	G — вес автомобиля, Н; g — ускорение свободного падения, м/с^2
13	$\delta = 1 + J_e\frac{i_т^2 g}{r_k^2 G}\eta_т + \Sigma J_k\frac{g}{r_k^2 G} = 1 + \frac{g}{r_k^2 G}(i_т^2\eta_т J_e + \Sigma J_k)$	J_e — приведенный момент инерции двигателя; J_k — момент инерции колеса в сборе с шиной
14	$j_a = \frac{g}{\delta G}\left(\frac{(M_{ei} - M_{вм})\eta_т i_т}{r_k} - Gf \pm G\sin\alpha - \frac{c_x\rho S_x V_a^2}{2 \cdot 3{,}6^2}\right)$	ρ — плотность воздуха, кг/м^3; c_x — коэффициент аэродинамического сопротивления; f — коэффициент сопротивления качению; α — уклон дороги; S_x — мидель автомобиля
15	$V_{ai} = V_{ai-1} + j_a\Delta t$	V_{ai-1} — скорость автомобиля на предыдущем шаге счёта, м/с; Δt — шаг счёта, с
16	$n_{ei} = \frac{2{,}65 V_{ai} i_т}{r_k}$	—
17	$g_ц = b_0 + p_{ak} + b_2\tau_i + b_3 p_{ak}\tau_i + b_4 p_{ak}^2 + b_5\tau_i^2$	b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 — коэффициенты модели; p_{ak} — давление топлива в аккумуляторе высокого давления; τ_i — длительность впрыска
18	$g_ц = 11{,}48 - 0{,}2018 p_{ak} - 0{,}05771\tau_i + 0{,}0008126 p_{ak}\tau_i + 4{,}567 \cdot 10^{-5}\tau_i^2$	—

этом будем считать, что буксования сцепления нет, и оно жёстко замкнуто, а автомобиль имеет эластичные шины, подверженные силовой и скоростной деформации. Подход к определению характеристик шины приведён в работе [4]. Эквивалентную массу автомобиля находим с учётом коэффициента вращающихся масс δ по выражению 12. В свою очередь, коэффициент учёта вращающихся масс определим по формуле 13. Таким образом, с учётом выражений (11—13) запишем уравнение движения автомобиля в виде формулы 14.

Скорость автомобиля на *i*-м шаге рассчитываем численными методами решения дифференциальных уравнений. В нашем случае наиболее простым можно считать метод Эйлера (формула 15). Частота вращения коленчатого вала двигателя определится исходя из текущей скорости с учётом принятых допущений по формуле 16. В итоге заданный импульс при заданном давлении в ТАВД является предпосылкой для формирования текущей фактической цикловой подачи. Для нахождения указанной функциональной зависимости можно предложить два подхода: метод математического моделирования электрогидравлических форсунок и уравнение регрессии в виде полученной расчетно или экспериментально зависимости вида $q_ц = f(p_{ak}, \tau_i)$.

В качестве объекта экспериментов выбрана электрогидравлическая форсунка 0445110376 широко распространённого двигателя "Каминз" мод. ISF 2,8 автомобилей семейства "ГАЗель". Отличительная особенность данной форсунки — баллистическая характеристика топливоподачи в широком диапазоне давлений и импульсов, т.е. монотонной зависимости $q_ц = f(p_{ak}, \tau_i)$ без перегибов, вызванных выходом плунжера-мультипликатора на гидравлический упор. Это позволило предположить возможность применения для описания топливоподачи регрессионного полинома второго порядка — формула 17.

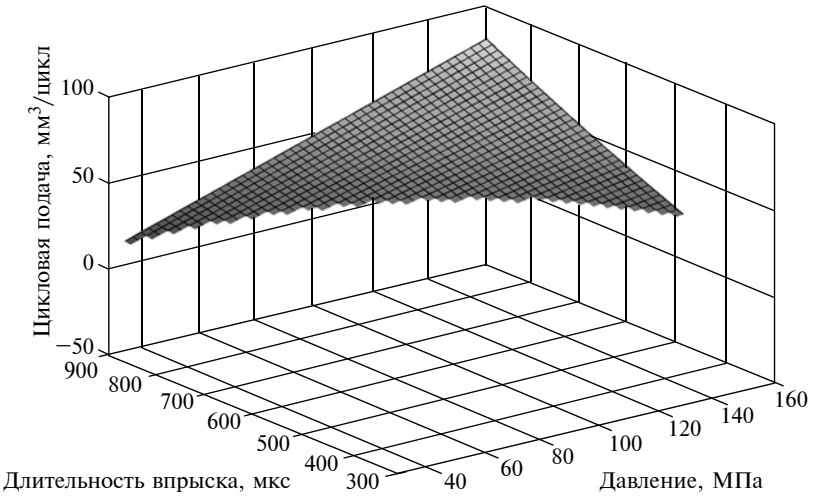


Рис. 1. Результаты расчёта процесса формирования цикловой подачи ЭГФ 0445110376 по регрессионной модели

Расчётные данные моделирования и регрессионной зависимости сравнивались с экспериментальными испытаниями электрогидравлической форсунки на безмензурочном стенде для испытания форсунок топливоподающей системы "коммон рейл" [5] (табл. 2). Сравнению подвергались объёмные цикловые подачи, тогда как массовые определялись с учётом плотности тестовой жидкости по ISO 4113 при температуре 40 °С. На рис. 1 и 2 представлены результаты расчётов по регрессионной модели (рис. 1) и на основании математического моделирования электрогидравлической форсунки (рис. 2).

Анализ полученных данных показывает, что опытные и расчётные данные хорошо коррелируются друг с другом и адекватно описывают процесс формирования топливоподачи при достоверности 95 %. Сказанное справедливо как для регрессионной, так и для математической модели.

Для объёмной цикловой подачи топлива электрогидравлической форсунки 0445110376 двигателя ISF 2.8 получено уравнение регрессии второго порядка — формула 18. При изменении технического состояния электрогидравлической форсунки аккумуляторной топливоподающей системы зависимость 18 и данные, представленные на рис. 2, видоизменятся, однако всё равно могут быть представлены в виде уравнения регрессии и в виде массива расчётных значений по математической модели. Алгоритм расчета показателей с использованием данного подхода представлен на рис. 3.

Таблица 2

Давление, МПа	Цикловая подача топлива, мм³ при длительности впрыска, мкс						
	300	400	500	600	700	800	900
30	0	0	0,9	2,1	3,8	5,5	7,7
40	0	1,2	2,8	4,8	7,6	11,1	14,3
50	0,3	2	4,4	8,1	11,8	16,6	21,4
60	0,8	2,9	6,2	10,4	16,5	21,8	28
70	1,2	3,8	8,1	13,3	19,9	26,3	33,6
80	1,3	4,3	9,8	15,9	23,6	31	39,5
90	1,7	5,2	11,4	19,4	26,9	34,9	44,6
100	2,2	7,1	14,1	21,7	30	39,6	50,2
110	2,6	9,3	16,1	25,5	34,7	45,8	56,1
120	3,7	10,9	18,4	29,3	38,2	49,6	61,9
130	3,8	12,1	20,2	30,9	40,3	52,5	65,1
140	4,2	13,7	22,4	33,3	44,1	57,3	69,9
150	4,8	15,1	24,5	36	48,6	62,1	74,7
160	5	16	26,7	39	52,8	64,7	79

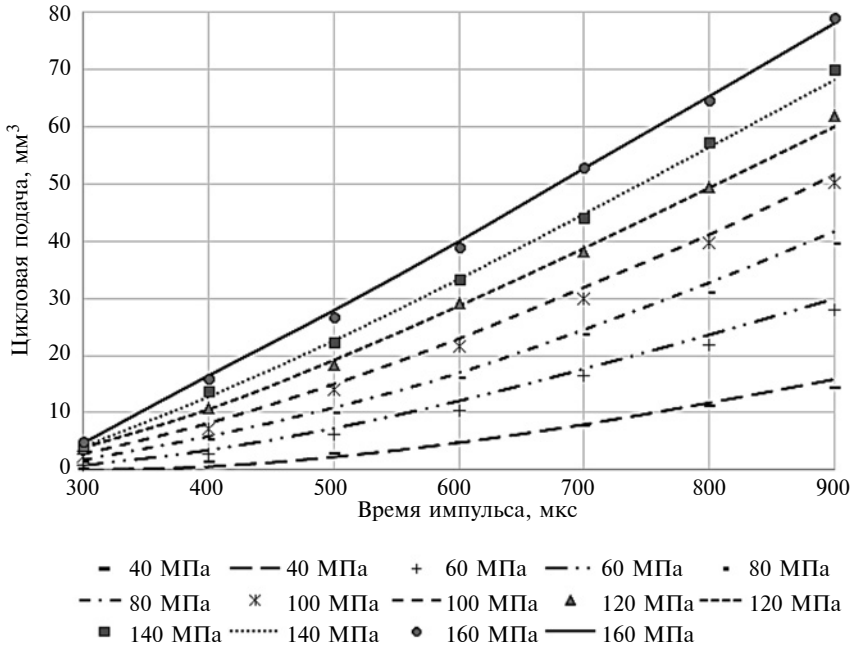


Рис. 2. Зависимость цикловой подачи топлива ЭГФ 0445110376 от длительности управляющего импульса при изменении давления топлива (линия — расчёт по математической модели, маркер — эксперимент)

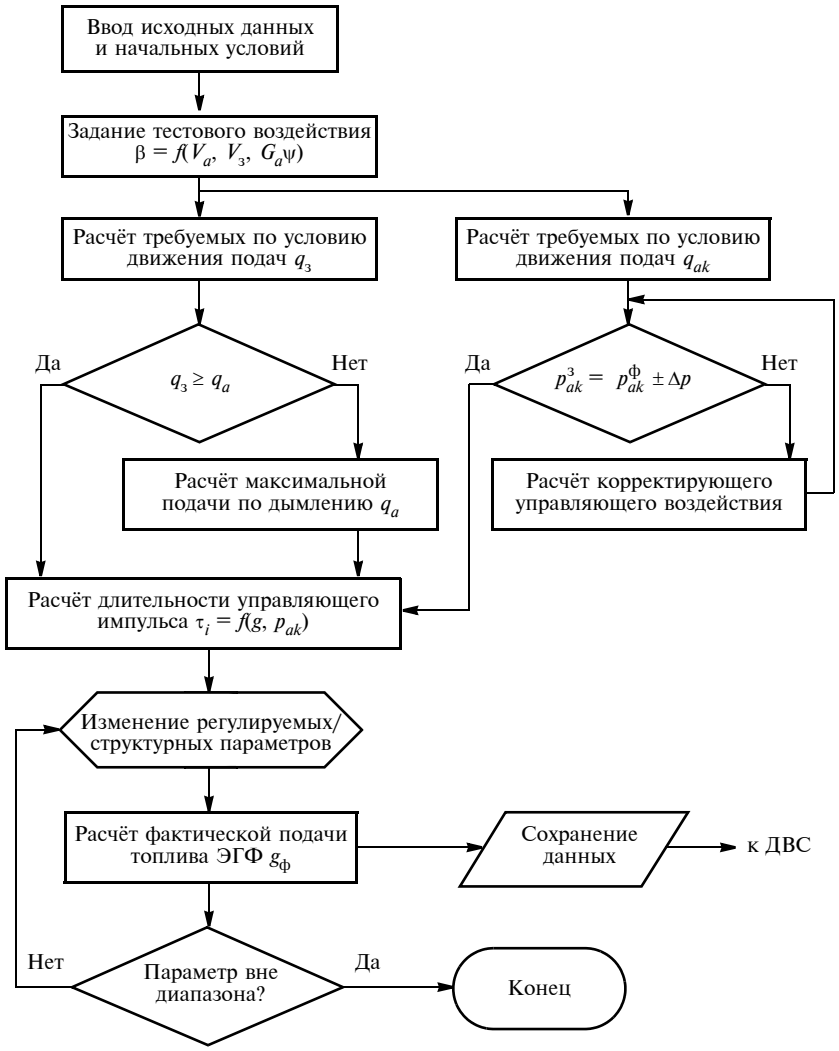


Рис. 3. Алгоритм расчёта цикловой подачи при изменении технического состояния электрогидравлических форсунок

Проведённые аналитические и экспериментальные исследования позволили сделать ряд выводов. **Во-первых**, разработан методический подход, позволяющий реализовать концепцию быстрой динамической модели современного автомобильного двигателя с аккумуляторной топливоподающей системой, основанный на сочетании классической теории автомобиля, дополненной зависимостями $q_ц = f(p_{ak}, \tau_i)$, получаемыми на основе математического моделирования ЭГФ либо на основании регрессионной модели. **Во-вторых**, приём использования регрессионной модели для расчёта параметров цикловой подачи применим в ограниченных случаях, причём модель второго порядка подходит только для форсунок с баллистической характеристикой топливоподачи, т.е. монотонной зависимости $q_ц = f(p_{ak}, t_i)$ без перегибов, вызванных выходом плунжера-мультипликатора на гидравлический упор. **В-третьих**, для номинального технического состояния электрогидравлической форсунки 0445110376 двигателя ISF 2.8 получено уравнение регрессии, значимо описывающее процесс формирования цикловой подачи, в том числе на неустановившихся режимах движения автомобиля. **В-четвёртых**, предложенный методический подход может быть использован как для моделирования автомобиля с форсунками номинального технического состояния, так и для форсунок с допустимым и предельным техническим состоянием.

Литература

1. Федотов А.И. Основы теории эксплуатационных свойств автомобиля: Учебник. Изд-во ИрГТУ, Иркутск. 2016. 288 с.
2. Городецкий К.И. Многопараметровая топливная характеристика дизеля Cummins/ Городецкий К.И., Гольнев В.С., Ершов Е.П., Раскин А.М., Прищепенко А.Н., Шуваев Д.Н // Тракторы и сельхозмашины 2012. № 2. С. 44—47.
3. Кривцов С.Н. Динамический метод диагностирования автомобильных дизельных двигателей, оснащённых аккумуляторной топливоподающей системой // Автомобильная промышленность № 9. 2015. — С. 26—30.
4. Федотов А.И. Расчёт скоростных потерь в шинах автомобиля в условиях эксплуатации / Федотов А.И., Власов В.Г., Кривцов С.Н. // Автомобильная промышленность. 2012. № 9. С. 44—45.
5. Кривцов С.Н. Модернизация стендов по регулировке ТНВД для работы с системой Common Rail. / Кривцов С.Н., Федотов А.И., Кривцова Т.И. // Автотранспортное предприятие. № 6. 2015. — С. 31—34.

УДК 621.436

ДИНАМИКА ПРОЦЕССА СГОРАНИЯ В ДИЗЕЛЕ И ГАЗОДИЗЕЛЕ

Кандидаты техн. наук **ВАЛЬЕХО-МАЛЬДОНАДО П.Р.**, **ТРИФОНОВ В.Л.**, д-р техн. наук **МАРКОВ В.А.**
Московский политехнический университет (МАМИ),
МГТУ имени Н.Э. Баумана (499.263-69-18)

Рассмотрены предпосылки адаптации двигателей внутреннего сгорания к работе на природном газе. Показаны преимущества сжигания природного газа в дизельных двигателях. Проведён анализ способов воспламенения газовоздушной смеси в газовых двигателях. Рассмотрены показатели динамики процесса сгорания дизельного и газодизельного двигателей. Предложены формулы для расчёта этих показателей. Даны рекомендации для снижения динамики процесса сгорания в газодизельном двигателе.

Ключевые слова: *дизельный двигатель, газодизельный двигатель, дизельное топливо, природный газ, динамика процесса сгорания, период задержки воспламенения.*

Valeho Maldonado P.R., Trifonov V.L., Markov V.A.
DYNAMIC INDICATORS OF THE COMBUSTION PROCESS IN A DIESEL ENGINE AND IN A GAS DIESEL ENGINE

Preconditions of internal combustion engines adaptation to work on natural gas are considered. Advantages of natural gas burning in diesel engines are shown. Analysis of methods of gas-air mixture ignition in gas engines is carried out. Parameters of dynamics of the combustion process of diesel and gas diesel engines are considered. Formulas for calculation of these parameters are suggested. Recommendations to reduce the dynamics of the combustion process in a gas diesel engine are given.

Keywords: *diesel engine, gas diesel engine, diesel fuel, natural gas, dynamics of the combustion process, the ignition delay period.*

В России и за рубежом давно уже проводятся многочисленные исследования, направленные на адаптацию ДВС к работе на альтернативных топливах [1 и др.], а некоторые из этих топлив широко применяются в автомобильных и тракторных двигателях. При этом для условий нашей страны наиболее привлекательным видом такого топлива представляется природный газ: доля России в разведанных мировых запасах природного газа составляет 25 %, а по добыче — более 18 % (для сравнения: запасы нефти — 5,3 % мировых, что соответствует лишь восьмому месту). Кроме того, у нас очень неплохо развита газопроводная сеть, особенно на европейской части страны. Наконец, наши специалисты не один десяток лет занимаются проблемой перевода ДВС, работающих на жидких нефтяных топливах, на сжатый природный газ. То есть у нас есть и знания, и опыт переоборудования серийно выпускаемых двигателей в газовые. Причём как бензиновых, так и дизелей. Более того, эти знания и опыт доказывают, что наибольший эффект такое переоборудование даёт в случае дизелей, т. е. ДВС повышенными степенями сжатия и коэффициентами избытка воздуха; при их адаптации к работе на природном газе удаётся обеспечить более высокие, чем в случае двигателей с искровым зажиганием, значения среднего индикаторного давления p_i, индикаторного (η_i) и эффективного (η_e) КПД рабочего процесса. Это хорошо видно из рис. 1, на котором приведены зависимости данных параметров от степени ε сжатия газового двигателя типа 1ГЧ 18/22. Например, при изменении ε с 6 до 15 его эффективный КПД η_e возрастает с 0,28 до 0,36, т. е. на 29 % [1]. При этом очень важно, что природный газ — высокооктановое топливо: его октановое число по моторному методу составляет 100...110 ед. То есть работа на нём при высоких степенях сжатия не вызывает детонации и позволяет улучшить топливную экономичность газового двигателя. Правда, здесь есть одна "тонкость": чем больше диаметр цилиндра двигателя, тем больше должно быть и потребное для бездетонационной работы октановое число газового топлива. Например, для двигателя диаметром цилиндра 100 мм, работающего на природном газе с октановым числом 100, степень сжатия не должна быть больше 13, а для двигателя диаметром 400 мм — не более 10 (рис. 2). Причина — менее эффективный отвод теплоты от более массивного поршня.

Что касается топливной экономичности двигателя, то важнейшим параметром, от которого она зависит, является, как известно, коэффициент α избытка воздуха. В газовом двигателе, конвертированном из дизеля, значение α без особого труда можно сохранить на очень высоком уровне, поскольку природный газ имеет более широкие (α = 0,65...1,85) пределы воспламеняемости топливовоздушной смеси, чем у бензина (α = 0,65...1,1). Что и используется: у серийных газовых двигателей (α = 1,4...1,6). Тем не менее природный газ воспламеняется всё-таки хуже топлив

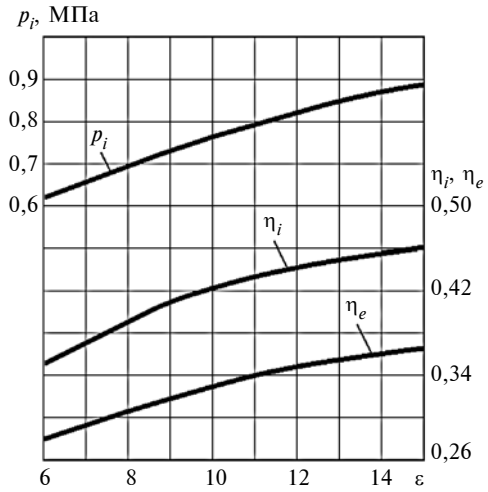


Рис. 1. Характеристики топливной экономичности газового двигателя типа 1ГЧ 18/22

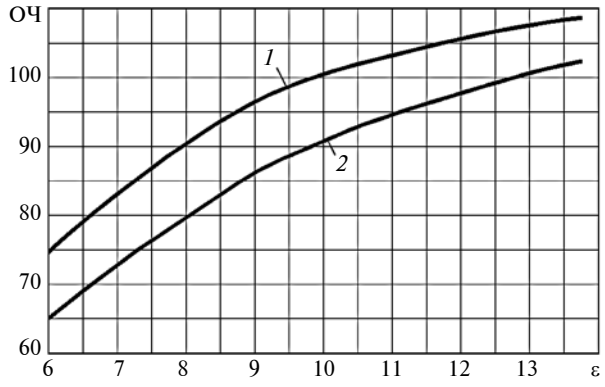


Рис. 2. Зависимость потребного октанового числа топлива от степени сжатия безнаддувного газового двигателя с различным диаметром цилиндров:
1 — D = 400 мм; *2 — D* = 100 мм

нефтяного происхождения. Так, температура самовоспламенения стандартного дизельного топлива (цетановое число 45...50 ед.) составляет 250—280 °С, а природного газа (цетановое число 35 ед.) — 500...650 °С. Поэтому в последнем случае применяют самые различные способы воспламенения газовоздушной смеси: самовоспламенение, форкамерно-факельное зажигание, воспламенение электрической искрой, воспламенение от запальной дозы дизельного топлива. Подают же природный газ либо во впускную систему двигателя, либо в цилиндры.

Создание газовых двигателей с самовоспламенением топливовоздушной смеси от теплоты сжатия — практически возможное дело, но довольно сложное. Этот способ, традиционный для обычных дизелей, в данном случае может быть реализован лишь в двигателях с высокими исходными степенями сжатия и наддувом, повышенными температурами наддувочного воздуха и деталей, образующих камеру сгорания. Но даже в этом случае, как правило, возникает проблема воспламенения смеси на режимах с неполной нагрузкой.

В двигателях с форкамерно-факельным зажиганием воздух и природный газ подаются в цилиндры двигателя, как правило, раздельно, т.е. организовано внутреннее смесеобразование. При этом воздух поступает в основную камеру сгорания через стандартную впускную систему, а газ — к форкамерам, в которых обеспечивается оптимальный состав газовоздушной смеси, воспламеняемой установленной здесь свечой зажигания. Такие двигатели получаются гораздо сложнее двигателей с внешним смесеобразованием, поэтому в настоящее время широкого применения не нашли.

Двигатели с внешним смесеобразованием, подачей воздуха и природного газа во впускную систему и воспламенением топливовоздушной смеси электрической искрой гораздо проще, а главное, в них обеспечивается надёжное воспламенение (до $\alpha = 1{,}7...1{,}8$) очень бедных газовоздушных смесей. Правда, для этого нужна более высокая, чем в случае традиционных бензиновых двигателей, энергия зажигания смеси, т. е. более мощная искра на электродах свечи зажигания.

Воспламенение газовоздушной смеси возможно и от запальной дозы дизельного топлива. В этом случае реализуется так называемый газодизельный процесс, при котором с помощью обычной топливной системы дизеля в камеру сгорания газового двигателя подается запальная доза дизельного топлива, объём которой 10...30 % общего количества топлива. При этом подача природного газа в камеру сгорания может быть осуществлена как через впускную систему дизеля, так и непосредственно в его цилиндры (через специальные газовые форсунки). Данный способ не требует серьезной доработки исходного двигателя, поэтому и пользуется популярностью в России.

Таким образом, конвертация дизелей в газовые двигатели с технологической точки зрения особой сложности не представляет. Но она рождает проблему техническую: у газового двигателя довольно большая скорость сгорания топливовоздушной смеси, а значит — жёсткости этого процесса со всеми вытекающими последствиями для ресурса двигателя. Установлено, что при $\alpha = 1{,}0$ максимальная скорость распространения пламени в бензовоздушной смеси составляет 0,12 м/с, а в смеси природный газ + воздух — 0,37 м/с. Возникает два естественных вопроса: "Почему? Как с этим бороться?"

Чтобы на них ответить, напомним параметры, характеризующие динамику процесса сгорания в обычных ДВС. Это продолжительность τ_i периода задержки воспламенения, максимальное давление p_z сгорания, максимальная $(dp/d\varphi)_{max}$ и средняя $(dp/d\varphi)_{ср}$ скорости нарастания давления при сгорании, степень повышения давления при сгорании $\lambda = p_z/p_c$, фактор динамичности цикла $\sigma_д = q_{\tau i}/q_ц$ [2].

Причем важнейший из них в нашем случае — τ_i. И это влияние особенно существенно, как видно из рис. 3, на котором приведены обобщённые зависимости показателей динамики процесса сгорания от τ_i, полученные для различных быстроходных дизелей с наддувом и без наддува, при их работе на дизельном топливе, в отношении максимальной скорости $(dp/dt)_{max}$ нарастания давления и степени λ (точнее, на p_z) повышения давления при сгорании и менее существенно в отношении средней скорости $(dp/dt)_{ср}$ нарастания давления. В частности, уменьшение τ_i с 1,6 до 1,2 мс, т. е. на 13 %, снижает максимальную скорость нарастания давления в среднем на 2...3 МПа/мс (рис. 3, *а*) и степень повышения давления при сгорании на 0,1—0,2 (рис. 3, *в*), что соответствует уменьшению p_z на 0,5...1,0 МПа.

Жёсткость сгорания топлива, как сказано выше, зависит от скорости этого сгорания и связана с перио-

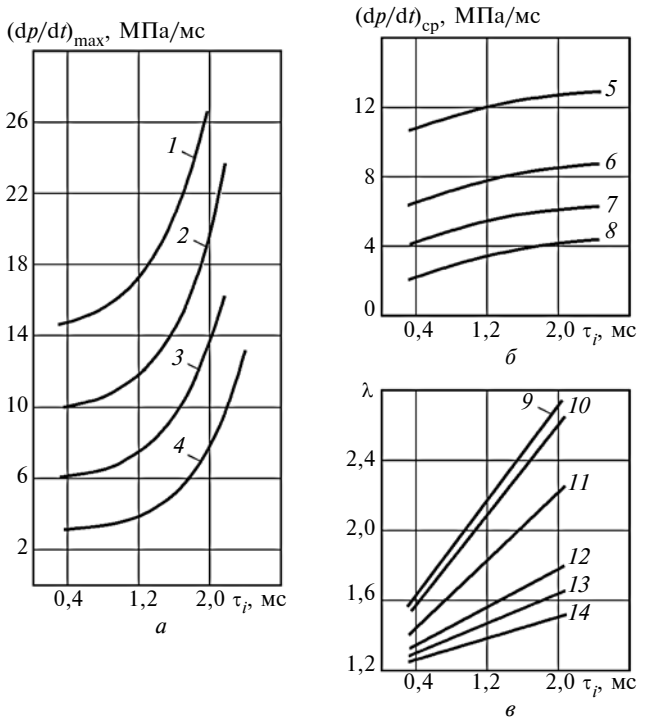


Рис. 3. Зависимость максимальной (а) и средней (б) скоростей сгорания топлива и степени повышения давления при сгорании λ (в) от периода задержки воспламенения при различных значениях фактора динамичности цикла:

1 — $\sigma_д = 0{,}93$; *2* — 0,50; *3* — 0,29; *4* — 0,20; *5* — 0,90; *6* — 0,52; *7* — 0,31; *8* — 0,21; *9* — 0,95; *10* — 0,90; *11* — 0,52; *12* — 0,31; *13* — 0,25; *14* — 0,21

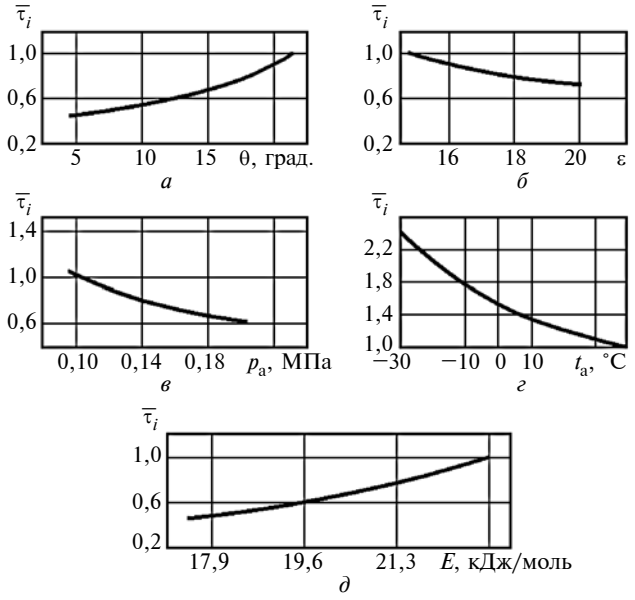


Рис. 4. Зависимость относительной продолжительности периода задержки воспламенения τ_i от УОВТ θ (а), степени сжатия ε (б), давления p_a (в) и температуры T_a (г) начала сжатия, кажущейся энергии активации топлива E (д)

дом τ_i задержки воспламенения. Это ответ на первый вопрос. Чтобы ответить на второй, рассмотрим на примере дизеля, работающего по чисто дизельному процессу, параметры, от которых τ_i зависит.

Первый из них — угол θ опережения впрыскивания топлива. Чтобы исключить жёсткую работу дизеля, появившуюся, скажем, при заправке автомобиля некачественным топливом, этот угол уменьшают на 10...12° п. к. в., что гарантированно не вызывает заметного перегрева деталей дизеля и значительного ухудшения его топливной экономичности, что позволяет сократить τ_i на 40...50 % (рис. 4, *а*) и, следовательно, уменьшить другие показатели динамики процесса сгорания.

Влияние же степени ε сжатия (рис. 4, *б*) и давления p_a начала сжатия (рис. 4, *в*) на τ_i значительно слабее, чем влияние угла θ: увеличение ε на единицу снижает τ_i в среднем на 5—6 %, а увеличение p_a в 2 раза — τ_i на 30 %. Куда более значительное влияние оказывает температура T_a начала сжатия (рис. 4, *г*). Так, если температура окружающего воздуха снизится с 293 до 223 К (с 20 до −50 °С), то T_a быстроходного двигателя без наддува уменьшится в среднем на 60—65 К, что увеличит τ_i в 2,2 раза. Это означает, что для уменьшения τ_i при работе дизеля в условиях низких температур окружающего воздуха надо уменьшать угол θ.

Значительное влияние на τ_i оказывает также кажущаяся энергия активации топлива E (рис. 4, *д*). У альтернативных топлив, обладающих плохой воспламеняемостью в условиях камеры сгорания дизеля (низким цетановым числом), она довольно большая, что существенно увеличивает τ_i. А именно к таким топливам относится и природный газ.

Как видно, параметров, от которых зависит τ_i, действительно много. И сказываются они на τ_i по-разному. Причём если информации по дизелям много, то по газовым двигателям её практически нет. Поэтому авторы решили провести сравнительные расчётные исследования жёсткости сгорания топливовоздушной смеси при двух вариантах работы двигателя — по дизельному и газодизельному процессам. При этом в качестве основного показателя жёсткости сгорания в этих случаях был взят именно период τ_i задержки воспламенения. И здесь возникли определённые трудности. Дело в том, что за последние 80 лет для вычисления τ_i исследователями предложено множество различных полуэмпирических формул [3], наибольшую известность из которых получили формулы Хироясу, Вольфера, Ситкея, Шмидта, Аниситса, Харденберга—

№	Формула	Примечания
1	$\tau_i = BC^{0,5}\left(\frac{T_к}{p_к}\right)^{0,5} \exp\left(\frac{EC^{m-1}}{\tilde{R}T_к}\right)$	B и C — константы, зависящие от частоты вращения коленчатого вала n, степени сжатия ε, угла опережения впрыскивания топлива θ, ряда конструктивных параметров (включая рабочий объём цилиндра V_h, радиус кривошипа R, длину шатуна l); $p_к$ и $T_к$ — температура и давление наддувочного воздуха; E — энергия активации; m — константа (для двигателей с наддувом, равная m = 1,34, для двигателей без наддува m = 1,40); $\tilde{R}$ — универсальная газовая постоянная
2	$\tau_i = 2{,}91 \cdot 10^{-6} \sqrt{\frac{CT_к}{p_к}} \exp\left(\frac{EC^{0,34}}{1{,}985\,T_к}\right)$	—
3	$\overline{\tau}_i = 8{,}69 p_c^{0,434} \exp\left(-\frac{1910}{T_c}\right)$	T_c — давление и температура конца сжатия; $\overline{\tau}_i$ — отношение периода задержки воспламенения в газодизеле к этому параметру в дизеле: $\overline{\tau}_i = \tau_{i\,гд}/\tau_{i\,д}$; p_c
4	$\lambda = 1{,}29 + 449\tau_i$	—
5	$\left(\frac{dp}{dt}\right)_{ср} = 5{,}9 \cdot 10^{-4} + 110 \cdot 10^4 \tau_i^{0,6}$	—
6	$\left(\frac{dp}{dt}\right)_{max} = 1{,}47\left(\frac{dp}{dt}\right)_{ср}$	—
7	$\frac{dp}{d\varphi} = 6n\frac{dp}{dt}$	—

Хазе и др. Но вся беда в том, что результаты расчётов по этим формулам сильно отличаются между собой, что объясняется различным характером протекания предпламенных реакций в двигателях различного на-

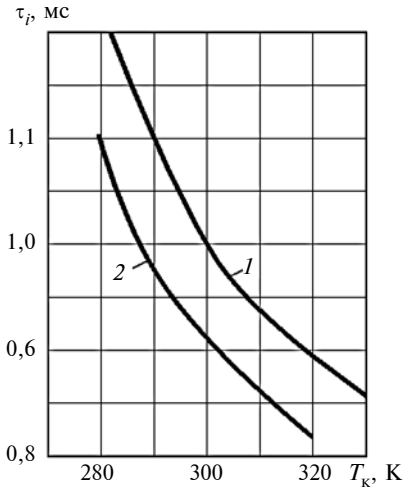


Рис. 5. Зависимость периода задержки воспламенения τ_i от температуры $T_к$ при давлении $p_к$ = 0,10 МПа (1) и $p_к$ = 0,12 МПа (2) во впускном коллекторе дизеля, работающего по дизельному процессу (формула (2), ε = 16, n = 1500 мин$^{-1}$)

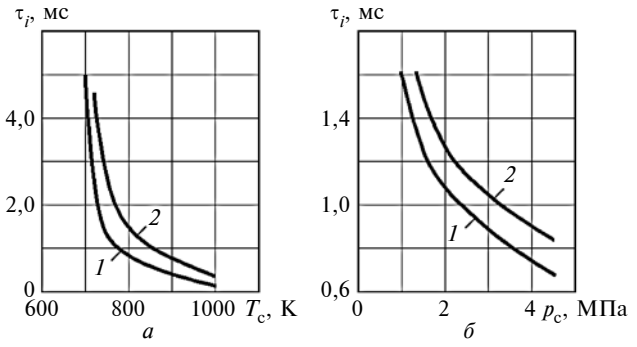


Рис. 6. Зависимость периода задержки воспламенения τ_i от температуры T_c (при p_c = 4,0 МПа) и давления p_c (при T_c = 800 К) конца сжатия:
1 — дизель; *2* — газодизель

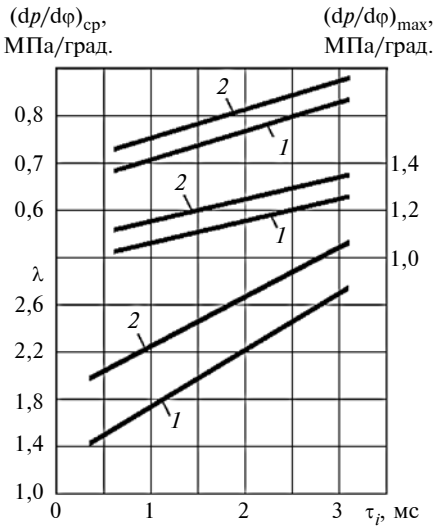


Рис. 7. Зависимости степени повышения давления при сгорании λ, максимальной $(dp/dt)_{max}$ и средней $(dp/dt)_{ср}$ скоростей нарастания давления при сгорании от периода задержки воспламенения τ_i:
1 — дизель; *2* — газодизель

значения и при использовании топлив с различными свойствами, а также сложностью экспериментального определения τ_i. Однако для быстроходных форсированных дизелей с наддувом и непосредственным впрыскиванием топлива, один из которых был взят автором данной статьи, широко используется формула А.И. Толстова [4] (формула 1в таблице), которая даёт результаты, близкие к результатам экспериментов. Поэтому авторы остановились именно на ней.

Правда, для исследуемого быстроходного форсированного дизеля с наддувом и непосредственным впрыскиванием топлива при частоте вращения коленчатого вала n = 1500 мин$^{-1}$ и степени сжатия ε = 16 пришлось несколько преобразовать её (формула 2).

Рассчитанная по этой формуле зависимость τ_i от температуры $T_к$ и давления $p_к$ наддувочного воздуха приведена на рис. 5. Как видим, $p_к$ = 0,10—0,12 МПа (1—1,2) кгс/см^2) и $T_к$ = 300 К (27° с) в случае дизеля τ_i = 0,9—1,0 мс. В случае же газодизеля при его работе с запальной дозой дизельного топлива, равной 10 %, и условной энергией активации природного газа — E = 20 700 Дж/моль значение τ_i подчиняется закону, записанному в виде формулы 3.

Зависимости периода задержки τ_i воспламенения в дизеле и газодизеле от температуры T_c и давления p_c в конце сжатия, полученные с использованием формул 2 и 3, приведены на рис. 6, из которого следует, что при работе по газодизельному процессу τ_i на 20—25 % больше, чем у дизеля. По ним можно определить значения и других показателей динамики процесса сгорания — степени λ повышения давления при сгорании, максимальной $(dp/dt)_{max}$ и средней $(dp/dt)_{ср}$ скоростей нарастания давления при сгорании. Это формулы 4, 5 и 6 соответственно. Скорость же нарастания давления, выраженную через угол φ поворота коленчатого вала, даёт всем известная формула 7.

Рассчитанные по приведённым выше формулам показатели, характеризующие динамику процесса сгорания, т. е. λ, $(dp/dt)_{max}$ и $(dp/dt)_{ср}$, приведены на рис. 7. Из него видно, что параметр λ в газодизеле примерно на 20 % выше, чем в дизеле, а скорости нарастания давления $(dp/dt)_{max}$ и $(dp/dt)_{ср}$ выше на 5...10 %. То есть разнятся, в общем-то, не очень существенно. Значит, и в случае газодизеля наиболее эффективным средством снижения динамики сгорания топлива до уровня, характерного для обычного дизельного процесса, следует считать уменьшение угла θ опережения впрыскивания запальной дозы дизельного топлива, т. е. реализовывать более позднее (на 5...10° п. к. в.) впрыскивание этой дозы.

Литература

1. Льотко В., Луканин В.Н., Хачиян А.С. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. — М.: Изд-во МАДИ (ТУ), 2000. — 311 с.
2. Болдырев И.В., Дятлов Е.Г. Исследование воспламеняемости бензинов и их отдельных фракций в дизелях // Автомобильная промышленность. — 1976. — № 11. — С. 7—10.
3. Кавтарадзе Р.З. Формулы для расчёта задержки воспламенения при работе газодизеля на различных газообразных топливах // Транспорт на альтернативном топливе. — 2009. — № 3. — С. 34—42.
4. Толстов А.И. и др. Вопросы горения и организации рабочего процесса в быстроходных дизелях // Труды НИИТД. — 1968. — № 20. — С. 3—43.

УДК 629.124: 629.331.5

ОСНОВЫ РАСЧЁТА НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ АМФИБИЙНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ С МНОГОКАМЕРНЫМИ ГИБКИМИ ОГРАЖДЕНИЯМИ Ж. БЕРТЕНА

Кандидаты техн. наук **ДУБИН А.Е.** и **НЕСТЕРОВ В.Е.**
МГТУ имени Н.Э. Баумана (tec@sm.bmstu.ru)

В статье представлена обобщённая инженерная методика статического расчёта нагнетательных комплексов для перспективных амфибийных транспортных средств на воздушной подушке с многокамерными гибкими ограждениями, построенными с использованием отдельных деформируемых конических элементов — системы Ж. Бертена. Показаны границы применимости представленной методики. Приведены примеры расчёта для нескольких характерных конфигураций ограждений данного вида.

Ключевые слова: *Арктика, Арктическая зона, транспортная система, амфибийное транспортное средство на воздушной подушке, судно на воздушной подушке, многокамерное гибкое ограждение, гибкое ограждение системы Ж. Бертена, нагнетательный комплекс, основы расчёта.*

Dubin A.E., Nesterov V.E.

A BASIC CALCULATION METHOD FOR LIFT SYSTEMS OF AMPHIBIOUS AIR CUSHION VEHICLES WITH THE JEAN BERTIN MULTI-CHAMBER FLEXIBLE SKIRTS

In this paper, we present a basic development technology to calculate lift systems of prospective amphibious air cushion vehicles with multi-chamber flexible skirts built by using separate fabric cones — so called the skirt type by Jean Bertin. Technical limits of the presented technology are determined. A few solutions for air cushion vehicles with different kinds of the skirt type are demonstrated.

Keywords: *Russian Arctic, Arctic zone, transportation system, amphibious air cushion vehicle, hovercraft, multi-chamber flexible skirt, skirt type by Jean Bertin, the jupe, lift system, basic calculation method.*

В последние годы стали актуальны задачи интенсивного развития регионов Арктической зоны России и резко возрос интерес различных государственных и коммерческих структур к разработке перспективных амфибийных транспортных средств на воздушной подушке. В ходе проведённых исследований было установлено, что в текущих условиях именно с использованием таких машин могут быть наиболее эффективно решены многочисленные транспортные задачи, возникающие при освоении природных ископаемых, обеспечении требуемого уровня обороноспособности и организации жизнедеятельности в труднодоступных районах Севера и Сибири, на континентальном шельфе и в бассейне российской Арктики [2—5].

Среди всего многообразия разработанных к настоящему времени типов транспортных средств на воздушной подушке наибольшими перспективами практического применения в арктических природных условиях обладают амфибийные машины, использующие для организации подушки технологию гибкого ограждения. При этом, однако, для существующих конструкций машин характерны несколько существенных недостатков, которые препятствуют их эффективной эксплуатации в условиях предъявляемого к ним современного набора требований. В частности, традиционные амфибии на воздушной подушке на практике демонстрируют неудовлетворительно низкие показатели преодоления препятствий, скорости и курсовой устойчивости при движении по пересечённой местности на суше.

Один из путей решения данной проблемы — предложенный в ряде работ [4—6] способ оснащения транспортных средств дополнительным контактным (например, колесным) движителем, конечно, при условии безусловного соблюдения всех экологических требований в части ограничения предельно допустимых воздействий на подстилающую поверхность. Получившееся в результате комбинированное (*гибридное*) транспортное средство имеет двоякую природу: при активизации контактного движителя — оно может быть отнесено к классу вездеходов-амфибий с частичной разгрузкой контактного движителя воздушной подушкой; в случае движения по воде, снегу и льду — это традиционное *судно* на воздушной подушке.

Для перспективных гибридных машин с дополнительным контактным движителем в качестве одной из наиболее подходящих конструкций гибкого ограждения воздушной подушки предлагается рассматривать многокамерную систему, построенную с использованием сепаратных деформируемых конических элементов [4—6]. Такая система ограждения была разработана и активно применялась в XX веке французским инженером Ж. Бертеном (*Jean Bertin*) и традиционно называется его именем [1, 8]. Нужно заметить, что технологии проектирования ограждений системы Ж. Бертена до настоящего времени крайне слабо представлены как в англоязычной, так и в отечественной технической литературе. Это вызывает определённые сложности у разработчиков при создании перспективных гибридных транспортных средств на воздушной подушке с гибким ограждением такого вида. Настоящая статья призвана восполнить данный пробел.

Гибкие ограждения системы Ж. Бертена конструктивно относятся к камерному типу организации воздушной подушки. В таких системах подъёмная сила возникает в результате создания избыточного статического давления воздуха, нагнетаемого вентилятором (или компрессором) в полость камеры ограждения. От действия подъёмной силы транспортное средство вместе с гибким ограждением приподнимается над опорной поверхностью, при этом через образовавшийся между нижней кромкой ограждения и опорной поверхностью зазор происходит истечение воздуха.

На начальных этапах проектирования в качестве одной из основных задач, стоящих перед разработчиками таких машин, выступает задача расчёта параметров и выбора двигателей нагнетательного комплекса машины. В общем случае этот нагнетательный комплекс объединяет в себе следующие основные подсистемы: конструкцию гибкого ограждения, питающий вентилятор с системой управления, а также системы заборных и распределительных воздуховодов. Нагнетательный комплекс должен обеспечивать требуемые параметры работы ограждения воздушной подушки во всём диапазоне заданных условий функционирования машины.

На рис. 1 показана схема простейшего ограждения камерного типа, реализованного с использованием единичного конического элемента Ж. Бертена. Рассмотрим работу этого гибкого ограждения и на его примере покажем основные этапы расчёта параметров нагнетательного комплекса.

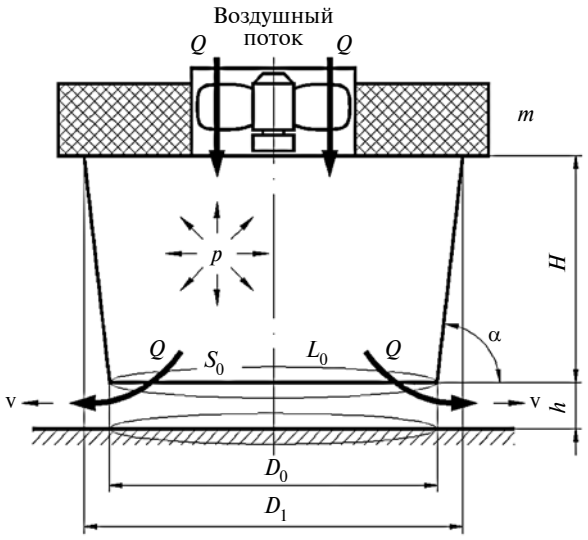


Рис. 1. Схема работы сепаратного конического элемента ГО системы Ж. Бертена

Для транспортных средств с камерной (купольной) схемой создания воздушной подушки энергетические затраты связаны со свободной утечкой воздуха из-под нижнего края по всему периметру ограждения. При этом производительность вентилятора должна равняться расходу воздуха.

Расход воздуха для камерной схемы может быть рассчитан по формуле 1 (см. таблицу), а площадь истечения между нижним периметром гибкого ограждения и опорной поверхностью, через который воздух выходит, — по формуле 2.

Для определения скорости истечения воздуха из-под ГО ТСВП традиционно используется широко известная из гидроаэродинамики формула 3, описывающая стационарное истечение идеальной несжимаемой жидкости (или газа) из резервуара с постоянным давлением через небольшое круглое отверстие в его боковой стенке. Это уравнение достаточно корректно описывает процессы истечения жидкостей и газов не только из небольших круглых отверстий в крупных резервуарах, но также и через отверстия кольцевой формы, и из-под затворов — что физически гораздо ближе к рабочим процессам, наблюдаемым в гибких ограждениях транспортных средств на воздушной подушке. В практике инженерных расчётов таких амфибий эта формула показывает хорошее согласование с результатами натурных экспериментов — во всяком случае, в диапазоне скоростей истечения до 100 м/с, когда влияние сжимаемости воздуха ещё пренебрежимо мало.

Данное уравнение изначально было получено для некоторой идеальной расчётной модели при принятии ряда существенных упрощающих допущений. На практике при истечении жидкости (или газа) из резервуара через различные отверстия проявляются дополнительные физические граничные эффекты, зависящие от относительных линейных размеров, формы отверстия, свойств самой жидкости (газа) и ряда других факторов. Применительно к транспортным средствам на воздушной подушке, например, реальная скорость истечения воздуха из-под нижней кромки гибкого ограждения, как правило, оказывается несколько меньше теоретически рассчитанной по формуле 3. Этот эффект учитывается в расчётах введением в рассмотрение безразмерного коэффициента скорости (формула 4). Кроме того, фактический вертикальный размер истекающей воздушной струи h^* в формуле 2 на практике также оказывается меньше по значению, чем высота парения машины h. Этот эффект учитывается в расчётах введением в рассмотрение безразмерного коэффициента вертикального сжатия истекающей воздушной струи (формула 5).

Подставляя теперь 2, 3 с учётом 4 и 5 в уравнение 1, получим формулу 6 для расчёта расхода, выраженную через конструктивные параметры гибкого ограждения транспортного средства (с камерной схемой организации воздушной подушки).

Для определения минимально необходимой требуемой величины избыточного давления воздуха в камере гибкого ограждения следует рассмотреть равновесный статический режим парения машины над плоским твёрдым горизонтальным экраном, при этом вес машины (сила тяжести, действующая в вертикальном направлении на массу m) будет полностью компенсироваться силой реакции со стороны воздушной подушки. Как можно видеть из расчётной схемы (см. рис. 1), в такой постановке сразу получается формула 8.

Соответственно, для того чтобы произвольное транспортное средство массой m на воздушной подушке с однокамерным гибким ограждением могло отрываться от опорной поверхности и парить на высоте h, минимальная выходная (полезная) мощность нагнетательного комплекса машины $(P_B^{\min})_{\text{вых}}$, очевидно, должна определяться по формуле 9.

При соблюдении этого условия статическая производительность нагнетательного комплекса будет полностью компенсировать потери в воздушной подушке. Нужно заметить, что мощность в данной формуле характеризует идеальный нагнетательный комплекс (в простейшем случае — вентилятор), с к.п.д., равным 100 %. В действительности такого не наблюдается, поэтому в проектных расчетах минимальная требуемая мощность нагнетательного комплекса — с учётом потерь на впуске, в воздуховодах, собственного к.п.д. вентилятора и др. — будет определяться выражением 10. Эту мощность можно обозначить как *мощность на поддержание* [1] — она необходима для обеспечения установившегося режима парения произвольного

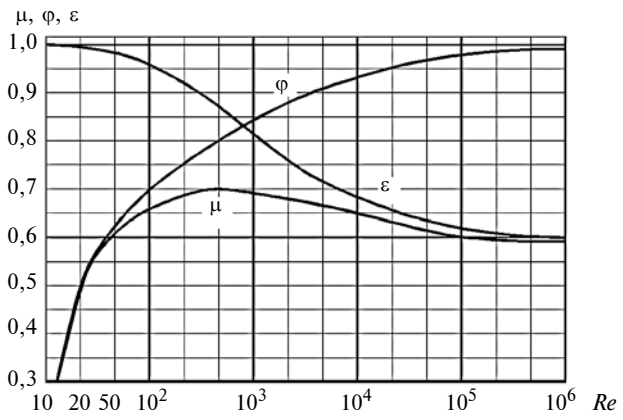


Рис. 2. Зависимость коэффициентов истечения от числа Рейнольдса

Таблица 1

№	Формула	Примечания
1	$Q = S_h v$	S_h — фактическая площадь; v — фактическая скорость истечения воздуха из-под нижней кромки ГО
2	$S_h = L_0 h^*$	L_0 — нижний периметр камеры ГО; h^* — фактический вертикальный размер истекающей воздушной струи, измеренный на срезе L_0
3	$v^* = \sqrt{\frac{2p}{\rho}}$	v^* — теоретическая (идеальная) скорость истечения; p — величина избыточного статического давления в резервуаре; ρ — плотность жидкости (или газа)
4	$\varphi = \frac{v}{v^*}$	—
5	$\varepsilon = \frac{h^*}{h}$	h — высота парения над опорной поверхностью (клиренс транспортного средства)
6	$Q = \varepsilon L_0 h \varphi \sqrt{\frac{2p}{\rho}} = \mu L_0 h \sqrt{\frac{2p}{\rho}}$	μ — безразмерный коэффициент расхода (формула 7); p — величина избыточного статического давления воздуха в камере ограждения; ρ — плотность воздуха
7	$\mu = \varphi\varepsilon$	—
8	$p = \frac{mg}{S_0}$	m — масса, поддерживаемая воздушной подушкой; g — ускорение свободного падения; S_0 — площадь горизонтального сечения воздушной подушки на уровне нижней кромки гибкого ограждения
9	$(P_B^{\min})_{\text{вых}} = Qp$	—
10	$P_B^{\min} = \frac{(P_B^{\min})_{\text{вых}}}{\eta_B} = \frac{Qp}{\eta_B}$	η_B — общий к.п.д. нагнетательного комплекса
11	$Q = \mu\pi D_0 h \sqrt{\frac{2p}{\rho}}$	D_0 — нижний диаметр конического элемента гибкого ограждения; π — математическая константа
12	$p = \frac{4mg}{\pi D_0^2}$	
13	$\text{Re} = \frac{hv^*}{\nu} = \frac{h}{\nu}\sqrt{\frac{2p}{\rho}}$	Re — число Рейнольдса; ν — кинематическая вязкость воздуха
14	$\mu = 0{,}592 + \frac{5{,}5}{\sqrt{\text{Re}}}$	—
15	$\alpha = \text{arctg}\frac{2H}{D_1 - D_0}$	H — высота конического элемента (высота гибкого ограждения); D_1, D_0 — верхний и нижний диаметры конического элемента
16	$Q = \mu\pi N D_0 h \sqrt{\frac{2p}{\rho}}$	N — общее количество идентичных камер ограждения (конических элементов)
17	$p = \frac{4m_\Sigma g}{\pi N D_0^2}$	m_Σ — полная масса транспортного средства
18	$Q = \mu\pi k D_0 h \sqrt{\frac{2p}{\rho}}$	k — число камер, питаемых от каждого отдельного нагнетателя
19	$Q_0 = \mu_0 L_0 h v_0$, $L_0 = \pi D_0$	μ_0 — коэффициент расхода для внутреннего конического элемента; L_0, D_0 — нижний периметр и диаметр конического элемента соответственно; h — клиренс внутреннего конического элемента; v_0 — скорость истечения воздуха из внутренней камеры в полость наружного ограждения
20	$Q_H = \mu_H L_H h_H v_H$	μ_H — коэффициент расхода для внешнего ограждения воздушной подушки; L_H — нижний периметр внешнего ограждения; h_H — клиренс транспортного средства (по внешнему ограждению); v_H — скорость истечения воздуха из полости внешнего ограждения наружу
21	$Q_H = NQ_0$	—
22	$v_H = \frac{N\mu_0 L_0 h}{\mu_H L_H h_H} v_0 = K_V v_0$, $K_V = \frac{N\mu_0 L_0 h}{\mu_H L_H h_H}$	K_V — безразмерный коэффициент
23	$m_\Sigma g = NS_0 p_0 + (S_H - NS_0)p_H = NS_0(p_0 - p_H) + S_H p_H$, $S_0 = \frac{\pi D_0^2}{4}$	m_Σ — полная масса машина; g — ускорение свободного падения; p_0, p_H — значения величин избыточного давления в коническом элементе и в полости внешнего ограждения соответственно; S_0 — площадь нижнего основания конического элемента гибкого ограждения; S_H — общая площадь воздушной подушки (по периметру внешнего ограждения)

Окончание табл. 1

№	Формула	Примечания
24	$v_0 = \sqrt{\frac{2(p_0 - p_H)}{\rho}}$; $v_H = \sqrt{\frac{2p_H}{\rho}}$	—
25	$p_0 - p_H = \frac{\rho v_0^2}{2}$; $p_H = \frac{\rho v_H^2}{2}$	—
26	$v_0^2 = \frac{2m_\Sigma g}{\rho(NS_0 + S_H K_V^2)}$; $v_H^2 = K_V^2 v_0^2$	—
27	$p_0 = \frac{\rho}{2}(1 + K_V^2) v_0^2 = \frac{(1 + K_V^2) m_\Sigma g}{NS_0 + S_H K_V^2}$	—
28	$P_B^{\min} = \frac{k Q_0 p_0}{\eta_B} = \frac{k\mu_0 L_0 h(1 + K_V^2)}{\eta_B} \left(\frac{m_\Sigma g}{NS_0 + S_H K_V^2} \right)^{3/2} \sqrt{\frac{2}{\rho}}$	$P_B^{\min}$ — минимальная требуемая мощность каждого отдельного нагнетателя для стационарного парения машины над горизонтальным плоским экраном; η_B — общий к.п.д. сепаратного нагнетателя (с учётом потерь в воздуховодах, собственного к.п.д. вентилятора и др.)

транспортного средства заданной массы m над горизонтальной твёрдой гладкой поверхностью на заданной высоте h.

Применительно к машинам с гибким ограждением системы Ж. Бертена полученные выше общие соотношения 6 и 8 можно преобразовать к более удобному виду, с учётом геометрии конического элемента — формулы 11 и 12.

Таким образом, окончательный вид основных расчётных зависимостей для установившегося режима парения амфибийного транспортного средства с гибким ограждением системы Ж. Бертена — *для сепаратного конического элемента* — полностью задаётся уравнениями 10, 11 и 12 (с учётом введённого обозначения 7). Эти уравнения выступают основой при создании инженерных методик расчёта конкретных схем построения нагнетательных комплексов.

Для выбора значений эмпирических коэффициентов μ, φ, ε в формулах 7, 4, 5 при инженерных расчётах могут быть использованы несколько различных подходов.

Прежде всего, можно воспользоваться показанными на рис. 2 известными графиками А.Д. Альтшуля, описывающими общий характер зависимости коэффициентов истечения из небольшого круглого отверстия в тонкой стенке резервуара от числа Рейнольдса, Re [7]. При этом применительно к транспортному средству с камерной схемой организацией воздушной подушки, парящего на высоте h над горизонтальным твёрдым плоским экраном, для установившегося режима справедлива формула 13.

Другой способ расчёта коэффициента расхода μ в формуле 7 опирается на следующий факт. Рабочие давления внутри гибкого ограждения с камерной схемой организации воздушной подушки для современных, особенно средних и крупных амфибийных транспортных средств на воздушной подушке, которые предназначены для эксплуатации в северных и арктических регионах, как правило, находятся внутри диапазона 1,2—5,2 кПа. Это обусловлено необходимостью соблюдения предъявляемых экологических требований по неразрушению природного растительного покрова тундры [3]. Для всех таких машин характерны достаточно большие значения чисел Рейнольдса, рассчитанные по формуле (13): $Re > 10^4$. В системах, для которых справедливо данное условие, значение коэффициента расхода μ может быть определено по табл. 2 [7] или вычислено с помощью эмпирической формулы 14.

Наконец, для определения коэффициента расхода μ могут быть использованы результаты экспериментальных исследований, полученные при проектировании различных образцов транспортных средств на воздушной подушке. Для гибких ограждений с камерной схемой, например, в [1] приводятся данные для выбора значения μ в функции величины угла наклона боковой стенки ограждения к опорной поверхности (табл. 3). При этом, как легко можно видеть из рис. 1, угол α для гибкого ограждения системы Ж. Бертена может быть удобно выражен через конструктивные параметры сепаратного конического элемента формулой 15.

На практике гибкие ограждения системы Ж. Бертена конструктивно представляют собой многокамерные схемы организации воздушной подушки. Эти многокамерные ограждения могут иметь различные конфигурации, включающие, вообще говоря, не обязательно геометрически идентичные сепаратные конические элементы. При этом варианты питания отдельных камер ограждения и, следовательно, конфигурации нагнетателей и воздуховодов — также могут быть различными. Рассмотрим несколько наиболее характерных примеров.

В простейшем случае ГО системы Ж. Бертена может быть реализовано с использованием набора геометрически идентичных конических элементов с единым

Таблица 2

Re	$1{,}5 \cdot 10^4$	$2{,}5 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	10^5	$2{,}5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	$>10^6$
μ	0,638	0,623	0,610	0,603	0,597	0,594	0,593

Таблица 3

α, град.	0°	45°	90°	135°	180°
μ	0,5	0,537	0,611	0,746	1,0

питающим нагнетателем. В такой постановке, если ещё пренебречь взаимовлиянием работы отдельных камер между собой и, дополнительно, различием коэффициентов потерь в подводящих воздуховодах, очевидно, что давление и расход воздуха во всех камерах ограждения будут одинаковыми. Соответственно, полученные ранее уравнения (11) и (12) преобразуются к формулам 16 и 17.

В реальных транспортных средствах на воздушной подушке с гибким ограждением системы Ж. Бертена чаще встречается другой вариант компоновки — когда для питания нескольких рядом расположенных геометрически идентичных конических элементов используется один нагнетатель. Положим, что в такой машине все нагнетатели одинаковые и в установившемся (статическом) режиме парения её над опорной поверхностью все они работают равномерно. В таком случае при принятых ранее допущениях очевидно, что для подобной системы давление воздуха во всех камерах гибкого ограждения по-прежнему будет одинаковым и может быть вычислено по формуле 17. А необходимый для расчёта мощности сепаратного нагнетателя в формуле 10 расход воздуха будет определяться выражением 18.

Если теперь в рассмотренной системе 17, 18 охватить все камеры гибкого ограждения снаружи по периметру дополнительным внешним ограждением, то получится вариант компоновки гибкого ограждения системы Ж. Бертена, называемый *многокамерным гибким ограждением с периферийной юбкой*. Такие конструкции используются на практике для улучшения показателей динамической стабильности ограждения и увеличения подъёмной силы воздушной подушки. Расчётная схема гибкого ограждения системы Ж. Бертена с дополнительным внешним (наружным) ограждением показана на рис. 3.

Применим рассмотренный выше общий подход к расчёту данного варианта компоновки гибкого ограждения. Как и раньше, будем считать, что в такой системе воздух от одного нагнетателя поступает в k рядом расположенных геометрически идентичных внутренних камер. Суммарное число внутренних камер ограждения, имеющих форму конических элементов, равно N. С учётом принятых ранее допущений расход воздуха в каждой сепаратной внутренней камере будет одинаковым и вычисляться по формуле 19. Соответственно, расход воздуха из полости наружного ограждения в атмосферу — по формуле 20.

Применяя к анализируемой конструкции гибкого ограждения *условие сплошности* (неразрывности) воздушного потока, можно записать формулу 21, из которой с учётом формул 19 и 20 получим выражение 22.

Рассматривая по аналогии с формулой 8 установившийся статический режим парения транспортного средства на воздушной подушке над горизонтальным ровным твёрдым экраном, получим формулу 23.

С другой стороны, для идеальных скоростей истечения (см. формулу 3) справедливы выражения 24, из которых можно записать формулы 25. Подставляя последние в формулу 23, с учётом формулы 22 получим выражения 26.

Возвращаясь к уравнению 25, с учётом найденных выражений (26) для скоростей истечения, определим

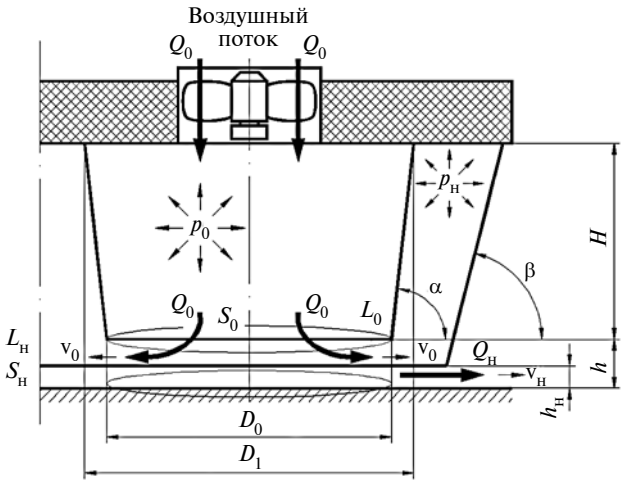


Рис. 3. Схема работы многокамерного ГО системы Ж. Бертена с периферийной юбкой

значение избыточного давления внутри сепаратного конического элемента (формула 27).

Полагая по условию задачи, что один нагнетатель в рассматриваемой системе ГО питает одновременно k конических элементов и все эти элементы одинаковы, характеризуются расходом Q_0, (19) и избыточным давлением p_0, (27), искомое расчётное выражение для выбора нагнетателя (в форме 10) в принятых обозначениях) окончательно может быть записано с учётом формул 22 и 26 в виде итоговой формулы 28.

Как видно из рассмотренных примеров, предложенная обобщённая методика расчёта является достаточно гибкой. На начальных этапах разработки она даёт возможность корректно определить нижние границы требуемых энергетических параметров нагнетательного комплекса транспортного средства на воздушной подушке произвольной конфигурации многокамерного гибкого ограждения системы Ж. Бертена, а также рассчитать минимально необходимые мощности индивидуальных нагнетателей.

Литература

1. Войткунский Я.И. и др. Справочник по теории корабля: в 3-х томах. Том 3: Управляемость водоизмещающих судов. Гидродинамика судов с динамическими принципами поддержания. — Л.: Судостроение, 1985. — 544 с.
2. Дубин А.Е., Нестеров В.Е. Перспективы использования большегрузных амфибийных транспортных средств на воздушной подушке для организации систем интермодальных контейнерных перевозок в арктической зоне России // Автомобильная промышленность. — 2014. — № 1. — С. 37—40.
3. Дубин А.Е., Нестеров В.Е. Перспективные большегрузные амфибийные транспортные средства на воздушной подушке для работы в арктической зоне России: основные тактико-технические требования и компоновочные схемы // Автомобильная промышленность. — 2015. — № 1. — С. 21—24.
4. Дубин А.Е., Попов С.Д. Амфибийные транспортные средства с гибридным опорно-ходовым комплексом // Русский инженер-транспортник. — М., 2014, сентябрь. — С. 36—37.
5. Дубин А.Е., Попов С.Д., Бродский П.Г., Илюхин В.Н. Ресурсы развития транспорта арктических регионов на основе инновационных технологий // Транспорт и логистика в Арктике: сборник трудов № 19. — М., 2016. — С. 88—94.
6. Комиссаров Д.С., Попов С.Д., Савостьянов Г.В. и др. О разработке нетрадиционных амфибийных комплексов для Северных регионов Российской Федерации // Научное обозрение. — М., 2015. — № 1. — С. 42—52.
7. Справочник машиностроителя: в 6-ти томах. Т. 2 / Под ред. Н.С. Ачеркана. — Издание 3-е испр. и доп. — М.: Машгиз, 1960. — 740 с.
8. Yun L. and Bliault A. Theory and Design of Air Cushion Craft. — NY: John Wiley & Sons Inc., 2000. — 632 pp.

УДК 681.11.031.12, 62-573.2

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ СИСТЕМЫ ПУСКА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

ХОРТОВ В.П., **СКВОРЦОВ А.А.**, **ЗУЕВ С.М.**
Московский политехнический университет (МАМИ)
(skvortsovAA2009@yandex.ru)

В работе проведён анализ существующих систем пуска двигателей внутреннего сгорания, в том числе с использованием низковольтных накопителей энергии. Предложено обоснование перехода систем пуска двигателей внутреннего сгорания на более высокое напряжение с использованием высоковольтных накопителей.

Ключевые слова: *высоковольтные и низковольтные накопители энергии, двигатель внутреннего сгорания, стартер.*

Khortov V.P., Skvortsov A.A., Zuev S.M.

HIGH-VOLTAGE STARTING SYSTEMS FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES

In work the analysis of existing start-up systems of internal combustion engines, including using low-voltage energy storage. Provides the rationale for transition of the starting systems of internal combustion engines to a higher voltage using high voltage drives.

Keywords: *high-voltage and low-voltage energy storage, internal combustion engine, the starter.*

Конденсаторные системы пуска ДВС, о которых в своё время много говорили, как известно, в массовое и даже серийное производство пока не пошли [1]. И это, пожалуй, хорошо. За 30 лет, прошедших с момента изобретения такой системы пуска, проведены сотни экспериментов и решены десятки связанных с нею теоретических задач [2, 3]. В частности, стало ясно, что при использовании низкого напряжения эти системы перспективы не имеют. И вот почему.

Общеизвестно, что важнейший показатель аккумуляторных батарей, применяемых в системах пуска ДВС, — их внутреннее сопротивление. Именно оно определяет максимальную мощность, которую можно получить от батареи. Мощность эта равна отношению квадрата напряжения на зажимах аккумуляторной батареи к учетверённому её внутреннему сопротивлению.

Хорошо известно и то, что при снижении температуры окружающей среды (следовательно, и электролита), а также при разряде батареи её внутреннее сопротивление увеличивается. Значит мощность, отдаваемая ею в сеть, снижается. В то же время потребная мощность для раскрутки коленчатого вала ДВС при снижении температуры, наоборот, увеличивается. Поэтому попытки внедрить конденсаторные системы пуска были, по существу, попытками устранить данное противоречие. При этом считалось, что аккумуляторная батарея будет нужна только для заряда конденсаторов, и поскольку внутреннее сопротивление последних при прочих равных условиях значительно меньше сопротивления батареи, то мощность системы пуска должна заметно возрасти.

Для обычных импульсных конденсаторов так оно и есть. Однако у низковольтных молекулярных конденсаторов, на которые в дальнейшем из-за их высокой удельной энергоёмкости и был сделан упор, это сопротивление оказалось примерно того же порядка, что и у аккумуляторов автомобильных стартерных батарей. Ведь устройство молекулярного конденсатора в принципе аналогично устройству аккумуляторной батареи, с той лишь разницей, что энергия в нём накапливается не за счёт химической реакции, а в двойном электрическом слое, образованном поляризованным (например, угольным) электродом (электронный проводник) и электролитом (ионный проводник) [4]. То есть в обоих устройствах есть электролит, задающий внутреннее сопротивление [5]. В этом легко убедиться, изучив табл. 1, в которой приведены проводимости различных электролитов.

Так как в аккумуляторных и в молекулярных конденсаторах применяется один и тот же электролит (кислота или щелочь), то и характеристики этих двух накопителей (в частности, по внутреннему сопротивлению) в пересчёте на единицу их массы оказываются одного порядка. Кроме того, конденсатор в системе пуска — промежуточное, т.е. дополнительное звено в цепи аккумуляторная батарея — электростартер (причём звено со своим внутренним сопротивлением). В итоге получается, что при заряде-разряде конденсатора энергия аккумуляторной батареи теряется дважды.

В настоящее время в специальной литературе и научных статьях рекомендуются в основном две схемы систем пуска с накопителями энергии — непосредственно от накопителя энергии, предварительно заряженного от аккумуляторной батареи, либо параллельная работа аккумуляторной батареи и конденсатора.

При использовании первой схемы (рис. 1) ёмкость конденсаторной батареи определяется энергией запасённой в конденсаторной батарее. Количество же энергии должно соответствовать расходу стартером определённой мощности, помноженной на время пуска τ_0. При низких температурах τ_0 значительно увеличивается и может достигать 10 с для бензиновых двигателей и 15 с — для дизелей. В результате масса конденсаторной батареи достигает размеров аккумуляторной батареи при в несколько раз более высокой стоимости. Имеет ли смысл использовать такую систему пуска? Разумнее увеличить ёмкость аккумуляторной батареи или установить вторую.

В случае схемы с использованием накопителя энергии включенного параллельно с аккумуляторной батареей (рис. 2) получается, что присоединённый к аккумуляторной батарее накопитель сначала заряжается от неё, а потом разряжается вместе с ней стартером. Но известно, что энергия конденсатора W определяется формулой 1 (табл. 2). Значит для того, чтобы зарядить конденсатор до определённой энергии, необходимо столько же её затратить на сам процесс заряда. То есть вдвое больше энергии забрать у аккумуляторной батареи. И доказывается это очень просто.

Допустим, конденсатор (c_2) заряжается не от аккумуляторной батареи, а от другого (заряженного) такого же конденсатора (c_1), обладающего энергией, соот-

Таблица 1

Электролит	Серная кислота	Соляная кислота	Азотная кислота	Едкий калий	Едкий натрий	Азотно-калиевая соль	Хлористый натрий
Проводимость электролита, мСм	8,58	4,26	4,21	2,71	2,47	1,45	1,26

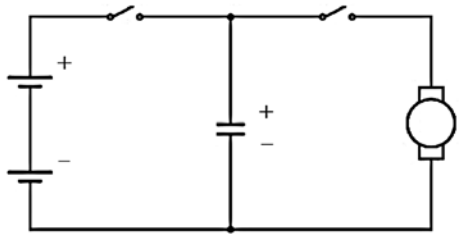


Рис. 1

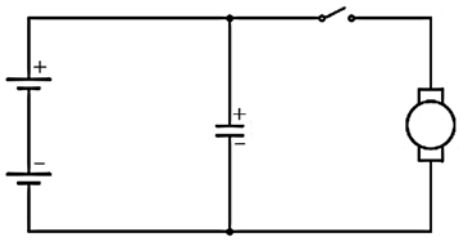


Рис. 2

ветственно формуле 2. Несложно определить теоретически энергию каждого из конденсаторов по достижении равновесия, описываемого формулами 3, 4, 5, в которых r включает в себя электрическое сопротивление материала обкладок и выводов конденсатора, а также учитывает потери в диэлектрике.

Продифференцировав формулу 5 по времени и умножив на c_2, получим формулу 6, а затем — дифференциальное уравнение 7 вида $\frac{d^2x}{dt^2} + a_1\frac{dx}{dt} = 0$. Его решением будет формула 8, а формула 4 с учётом этого преобразуется в формулу 9.

В начале разряда ($t = 0$) $u = u_1$, $u_2 = 0$, а $i = u_1/r$. Поэтому из формул 8 и 9 следуют выражения 10 и 11. Когда процесс заряда-разряда закончится ($t \to \infty$), напряжения на конденсаторах сравняются (формула 12) и энергия конденсаторов будет соответствовать формулам 13 и 14. В нашем случае $c_1 = c_2$, поэтому энергия конденсаторов выражается формулой 15.

При рассмотрении задачи о заряде конденсатора энергией W_0 от аналогичного (электроёмкости равны) заряженного конденсатора получаем формулу 16, а с учётом потерь в диэлектрике энергия конденсаторов будет соответствовать формуле 17.

Исходя из сказанного выше, можно сделать однозначный вывод: чтобы зарядить конденсатор до энергии W_0, ему нужно передать $2W_0$. А именно это и не учитывают разработчики систем, в которых используются низковольтные ёмкостные накопители энергии.

Данный вывод вытекает, как видим, из простейших теоретических положений. На практике же дело обстоит еще хуже. Разработанные в последнее время молекулярные конденсаторы с неводными и полимерными электролитами обладают ещё большими, чем у традиционных стартерных батарей, внутренними сопротивлениями.

Но и это ещё не всё. Двойной электрический слой, открытый Гельмгольцем ещё в 1887 г. и применённый в молекулярных конденсаторах с кислотными и щелочными электролитами, существует только при напряжениях, не превышающих 0,8 В [5]. Следовательно, чтобы получить напряжение 12 В, необходимы как минимум 15 элементарных конденсаторов, соединённых последовательно. Это не только увеличивает внутреннее сопротивление составленной из них батареи, но и создаёт значительные технологические трудности при производстве. Особенно если учесть, что для автомобильного парка мира в случае перехода на конденсаторные системы пуска их потребуется ~190 млн в год по цене, не превышающей стоимость традиционной автомобильной аккумуляторной батареи. Стоимость же молекулярного конденсатора для пусковых систем сейчас на порядок выше.

Таблица 2

№	Формула	Примечания
1	$W = \frac{cu^2}{2}$	c — ёмкость конденсатора, u — напряжение
2	$W_1 = \frac{c_1u_1^2}{2}$	c_1 — ёмкость конденсатора 1; u_1 — напряжение в конденсаторе 1
3	$u_1 = ri + u_2$	c_2 — ёмкость конденсатора 2; u_2 — напряжение в конденсаторе 2
4	$i = -c_1\frac{du_1}{dt} = c_2\frac{du_2}{dt}$	—
5	$u_2 = u_1 + c_1r\frac{du_1}{dt}$	—
6	$c_2\frac{du_2}{dt} = c_2\frac{du_1}{dt} + c_1c_2r\frac{d^2u_1}{dt^2}$	—
7	$\frac{d^2u_1}{dt^2} + \frac{(c_1+c_2)}{c_1c_2r}\frac{du_1}{dt} = 0$	—
8	$u_1 = A_0 + A_1e^{-t/\tau}$	$\frac{1}{\tau} = \frac{c_1+c_2}{rc_1c_2}$
9	$i = -c_1\frac{du_1}{dt} = A_1\frac{c_1}{\tau}e^{-t/\tau} = A_1\frac{c_1+c_2}{rc_2}e^{-t/\tau}$	
10	$u_1\|_{t=0} = A_0 + A_1$; $i\|_{t=0} = \frac{u_1}{r} = \frac{A_1(c_1+c_2)}{rc_2}$	В начале заряда: $u = u_1$, $u_2 = 0$, $i = u_1/r$
11	$A_1 = \frac{c_2}{c_1+c_2}u_1$; $A_0 = u_1\|_{t=0} - A_1 = \frac{c_1}{c_1+c_2}u_1$	
12	$u_1 = u_2 = A_0$	По окончании заряда
13	$\frac{c_1A_0^2}{2} = \frac{c_1^3u_1^2}{2(c_1+c_2)^2}$	
14	$\frac{c_2A_0^2}{2} = \frac{c_1^2c_2}{2(c_1+c_2)^2}u_1^2$	
15	$\frac{c_1A_0^2}{2} = \frac{c_2A_0^2}{2} = \frac{c_1u_1^2}{8}$	$c_1 = c_2$
16	$\frac{W_0}{2} = \frac{c_1u_1^2}{4}$	—
17	$\frac{W_0}{4} = \frac{c_1u_1^2}{8}$	—

Таково положение с самими конденсаторами. Но нельзя сбрасывать со счетов и то, что существование автомобильной бортовой сети напряжением 12 В давно ставится под сомнение. Например, в США и Японии созданы и работают комитеты по изучению вопроса о переходе бортовых систем АТС на повышенное напряжение. Фирма BMW, как сообщалось в печати, уже выпускает автомобиль с повышенным напряжением в бортовой сети. Многие учёные утверждают, что даже 60 В в бортовой сети — не предел. Однако что касается высоковольтных систем пуска, то здесь такого единодушия нет. Видимо, с появлением молекулярных конденсаторов многие надеялись, что их внедрение в системы пуска произойдет быстро и не потребует какой-либо переделки бортовой сети автомобиля. Однако проблемы с низковольтными системами все-таки заставят, по всей видимости, обратиться к системам высоковольтным. Потому что, как показали исследования, выполненные в лаборатории перспективных разработок Московского политехнического университета (МАМИ), масса высоковольтной конденсаторной батареи в четыре раза меньше массы батареи низковольтной. Причины тому следующие.

Во-первых, в высоковольтных батареях можно использовать обычные, т.е. массового выпуска электролитические конденсаторы, которые представляют собой однослойные структуры, состоящие из алюминиевой фольги (электроды) и оксида алюминия (диэлектрик) и рассчитанные на номинальное напряжение до 500 В. Это означает, что их внутреннее сопротивление при прочих равных условиях может быть в 500 раз меньше внутреннего сопротивления одной ячейки соответствующего по энергии или массе молекулярного конденсатора. Поэтому мощность данного источника, если исходить из её прямой пропорциональности квадрату напряжения и обратной пропорциональности учетверённому внутреннему сопротивлению, можно получить сколь угодно большой.

Во-вторых, хорошо известно, что КПД низковольтного электростартера не превышает 40 % [6]. В случае же перехода на более высокое напряжение токи в его обмотках снижаются, а значит, сокращаются и потери в них и в подводящих проводах, а также масса проводов, коллекторных пластин и щёток, давление последних как коллектор. Итог — рост КПД стартера, что тоже благоприятно сказывается на массе конденсаторной батареи.

В-третьих, электролитические конденсаторы имеют еще одну особенность: чем выше их номинальное напряжение, тем больше удельная энергия [7]. В связи с этим, реализовать системы пуска с такими конденсаторами практически возможно только начиная с напряжения 60—65 В, потому что при напряжении ниже 60 В масса батареи становится неприемлемой. И чем выше напряжение, тем масса меньше. Например, расчёт, подтверждённый экспериментом, показал: при напряжении 300 В масса конденсаторной батареи для системы пуска двигателя современного автомобиля не превышает 5 кг. Предпусковой же заряд такой батареи можно осуществить от мотоциклетного аккумулятора. Причём повысить напряжение до тех же, скажем, 300 В можно с помощью небольших и недорогих преобразователей, поскольку работают они кратковременно. Упрощает проблему и то обстоятельство, что сейчас в мире уже сработает более 200 заводов, специализирующихся на выпуске электролитических конденсаторов, а заводов по выпуску молекулярных низковольтных конденсаторов для систем пуска ДВС — единицы.

Наконец, об электростартерах. Организовывать выпуск высоковольтных электростартеров необходимости нет: проблема, в принципе, уже давно решена индустрией ручного электрифицированного инструмента, которая сегодня выпускает высоковольтные электрические двигатели, причём в количествах, превышающих потребности автомобилестроения в несколько раз. Если же учесть, что электростартер будущего будет высоковольтной электрической машиной с возбуждением от постоянных магнитов и с встроенным редуктором, то его габаритные размеры и стоимость окажутся заведомо более эффективными, чем низковольтные электродвигатели.

К сказанному необходимо добавить следующее. Система высоковольтного конденсаторного пуска смущает многих потребителей и производителей именно наличием высокого напряжения. Но оснований для опасений здесь нет. Ведь на заре развития транспортных средств бортовое напряжение их сетей составляло всего 6 В. Однако в связи с повышением числа потребителей и их мощности, например, на водном транспорте и в авиации давно уже ушли от низкого напряжения к высокому и даже перешли от постоянного тока на переменный, а низкое напряжение (да и то равное 28 В) осталось лишь как вспомогательное. И только автомобильные бортовые сети все ещё остаются 12-вольтными или (системы пуска многоцилиндровых ДВС) — 24-вольтными. Причин тому много — от догматического 40-летней давности утверждения некоторых авторитетов автотракторного электрооборудования ("этого не будет никогда") до боязни таких перемен с точки зрения электробезопасности. Но все это явно не выдерживает критики. Хотя бы потому, что бортовое напряжение выпускаемых в настоящее время электромобилей уже составляет 110...400 В, а проблема электробезопасности имеет множество отработанных решений.

И, в общем, хотим мы того или нет, переход бортовых систем автомобиля на повышенное напряжение неизбежен. Так как, во-первых, число потребителей электрической энергии на борту современного автомобиля непрерывно растёт (к примеру, на первых моделях автомобилей ВАЗ было всего две электрические машины-потребители электроэнергии, на последних их почти 60). Во-вторых, увеличивается мощность потребителей (по данным американских специалистов, к 2020 г. она составит ~5...7 кВт). В-третьих, успехи в развитии полупроводниковой преобразовательной техники позволяют легко переходить на любое напряжение, оптимальное для той или иной системы автотракторного электрооборудования (например, при переходе бортовой сети на повышенное напряжение все слаботочные потребители — датчики, приборы индикации и т.д. — можно оставить на низком напряжении). В-четвёртых, газоразрядная и светодиодная светотехника в случае её применения на автомобиле даёт возможность в несколько раз повысить не только надёжность электрических автомобильных ламп, но и их светоотдачу при снижении мощности, причём газо-

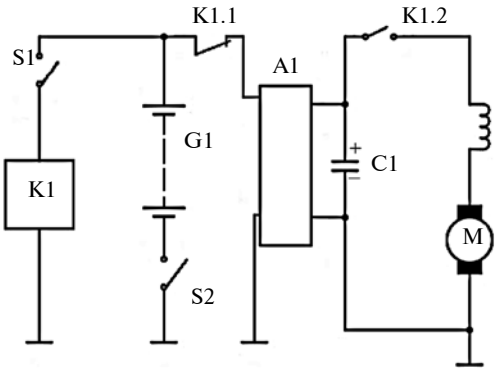


Рис. 3

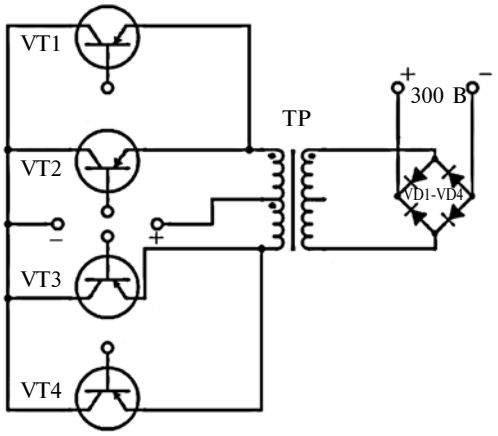


Рис. 4

разрядные автомобильные лампы требуют питающего напряжения не менее 80 В. В-пятых, появление высоковольтных конденсаторных систем пуска позволяет устранить основное препятствие на пути перехода на повышенное напряжение — аккумуляторную батарею, имеющую повышенное напряжение на клеммах.

Простейшая схема высоковольтной системы пуска представлена на рис. 3. Как видим, она ничем не отличается от традиционной системы — кроме наличия высоковольтного стартера и преобразователя напряжения (его схема представлена на рис. 4). Устройство преобразователя — предельно простое: 2...4 транзистора, работающих в режиме ключа на высокой (до 40 кГц) частоте, в результате чего масса этого преобразователя не превышает 200 г.

Конечно, переход бортового напряжения на более высокое — дело непростое. Но то, что это — веление времени, совершенно очевидно. И начинать переход нужно именно с высоковольтных систем пуска.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в раках постановления Правительства РФ № 218 (договор № 02.G25.31.0138 от 01.12.2015).

ЛИТЕРАТУРА

1. Grzeczka G., Swoboda P. Analysis of the possibility of use lithium — Ion as a starting battery on the ship engine room. // Solid State Phenomena. Vol. 236. 2015. P. 106—112.
2. Lee M.-Y., Lim D.H., Kim S.C. Evaluation of the effect of operating parameters on thermal performance of an integrated starter generator in hybrid electric vehicles. // Energies. 2015. Vol. 8. Iss. 8. August 2015. P. 8990—9008.
3. Gurusamy S.K., Rajagopalan C., Sateesh Kumar R., Ashok B. Reducing starting current for existing commercial vehicle engines. // SAE Technical Papers. January 2015. 14th Symposium on International Automotive Technology. SIAT 2015. Code 110846.
4. Д.А. Бут, Б.Л. Алиевский, С.Р. Мизюрин, П.В. Васюкевич. Накопители энергии. М. Энергоатомиздат, 1991. 400 с.
5. А.М. Иванов. Молекулярные конденсаторы. М.: Квант-Эконд, 2008. 400 с.
6. Ю.П. Чижков. Электрооборудование автомобилей и тракторов. М.: Машиностроение, 2007. 240 с.
7. Л.Н. Закгейм. Электролитические конденсаторы / Л.Н. Закгейм — М.: Книга по Требованию, 2012. — 244 с.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС АТС

УДК 656.1/5

ОБОСНОВАНИЕ СТУПЕНЧАТОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАРАБОТКИ ДО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПО МЕРЕ ВЫРАБОТКИ РЕСУРСА АВТОМОБИЛЕЙ

ЖИМАЛИН А.В. (320124@mail.ru)

Обосновывается целесообразность ступенчатого сокращения наработки до ТО по мере выработки ресурса АТС, реализуемое средствами современной бортовой электроники.

Ключевые слова: *эксплуатация, отказ, наработка, частота, техническое обслуживание, ремонт.*

Zhimalin A.V.

RATIONALE FOR APPLYING DECREASING MAINTENANCE SERVICE INTERVAL SCHEDULE AS MOTOR TRANSPORT VEHICLE AGES

The expediency of the step reduction practices before TO as the generation of resource ATS by tools on-Board electronics is justified.

Keywords: *operation activity, failure occurrence, operation time, service interval, vehicle maintenance, repairing.*

То, что износ и старение АТС приводят к повышению частоты ω их отказов — давно установленный факт. При этом она может возрасти (рис. 1) в 4—5 и более раз. Что, естественно, увеличивает трудоёмкость f_t и продолжительность простоев при обслуживании и ремонте (рис. 2), а также частоту сходов АТС с линии и невыходов их на линию (рис. 3). Со всеми вытекающими отсюда проблемами доходности транспортных процессов.

Причина такого положения, по мнению автора, кроется в несовершенстве принятых у нас планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта, а также системы обслуживания по сервисным книжкам: обе эти системы предусматривают неизменность периодичности всех видов ТО [1]. Правда, они допускают корректирование его периодичности, но только в зависимости от категории АТС и условий их эксплуатации: возможность изменения периодичности технического обслуживания в зависимости от наработки (пробега) в соответствующих документах даже не упоминается.

Такое несоответствие принятой практики реалиям жизни специалистами замечено давно. Более того, некоторые из них предлагали и предлагают меры, позволяющие устранить это несоответствие. Например, автор работы [2] считает, что диагностирование поработавших АТС нужно проводить с частотой, превышающей максимальную частоту ТО; сделать для нас обязательными не только капитальные, но и планово-предупредительные ремонты; ввести ступенчатое (одно-, двухэтапное) увеличение частоты обслуживания.

Меры эти, безусловно, разумные. Однако за их реализацию, к сожалению, предприятия автосервиса не берутся. Причина — экономическая неоправданность

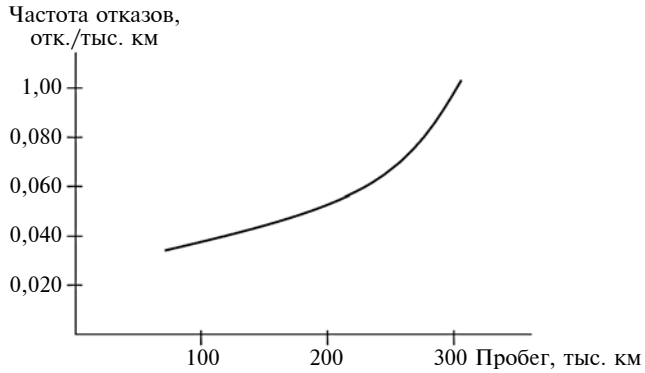


Рис. 1. Зависимость частоты отказов АТС от его пробега

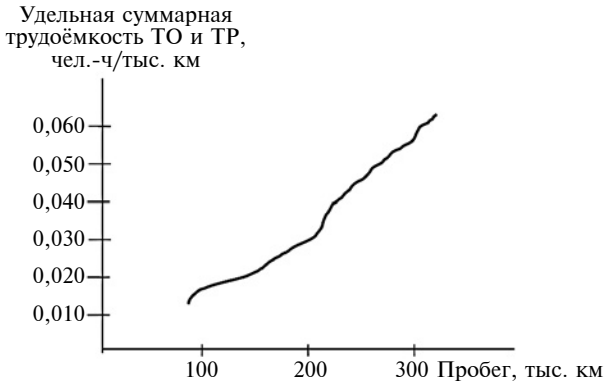


Рис. 2. Зависимость удельной трудоёмкости ТО и ремонта автобусов "Мереседес-Бенц Спринтер 411cdi" и "Ивеко Дейли 50С15" от их пробега

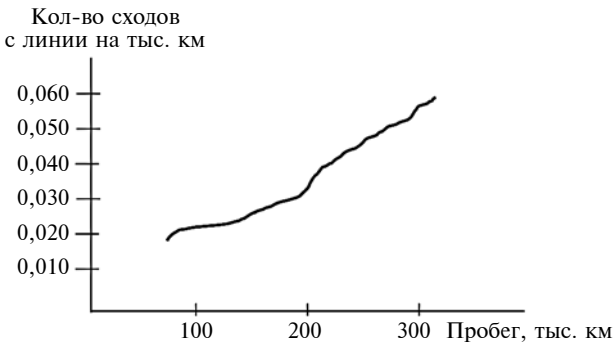


Рис. 3. Изменение числа сходов с линии автобусов "Мереседес-Бенц Спринтер 411cdi", приходящегося на 1 тыс. км пробега, по мере выработки их ресурса

капитальных затрат на создание требуемых для этого производственных мощностей и повышение текущих затрат на периодическое выполнение дополнительных работ.

Но есть и другие причины. Например, автор работы [3] предложил двухступенчатое повышение частоты ТО, но не дал соответствующих инженерных методик. Кроме того, применению индивидуального регулирования частоты обслуживания разномарочных парков АТС разного "возраста" препятствуют технологическая сложность и крайнее неудобство "ручного" планирования и отслеживания постановки АТС на ТО. (По этой причине, в частности, многие крупные АТП для своего парка сходных АТС назначают единые нормы периодичности ТО, невзирая на рекомендации изготовителей.)

Таковы факты. В связи с этим возникает вопрос: можно ли изменить сложившуюся ситуацию? Ответ должен быть положительным. Развитие компьютеризации АТС, применение встроенных систем контроля и отображения информации открывает возможности для индивидуального назначения периодичности ТО непосредственно на борту транспортного средства. Более того, "интеллектуализация" автомобильного парка позволяет минимизировать затраты на техническое обслуживание и ремонт и поддерживать безопасность работы коммерческих АТС за счёт предупреждения заявочного ремонта, дорожных и линейных отказов.

Руководствуясь такими соображениями, автор разработал методику регулирования частоты ТО, в основу которой положил принцип подобия этой частоты оценке нарастания потока отказов АТС по мере выработки ресурса. При этом возникновение отказов полагается случайным и считается, что каждый отказ приводит к прекращению эксплуатации и выполнению заявочного внепланового ремонта АТС. Поэтому повышение частоты ТО — единственный способ упредить некоторые из отказов, выполнить предупредительный ремонт при ближайшем ТО, а значит, избежать внеплановой постановки АТС на заявочный ремонт.

Для формирования этой методики автор провёл специальные исследования, позволившие выявить закономерности сокращения наработки АТС на отказ по мере выработки ресурса. При этом учитывался разброс наработок на отказ компонентов АТС и повторяемость отказов. В частности, были собраны и обработаны экспериментальные данные по отказам современных автобусов малого класса "Мереседес-Бенц Спринтер 411cdi" и "Ивеко Дейли 50С15" за 4,5 года эксплуатации в ООО "Север-Авто". В итоге была получена регрессионная зависимость $F(x)$ частоты отказов однотипных FTC при выполнении перевозок пассажиров в сходных условиях эксплуатации от их пробега. Эта зависимость оказалась нелинейной экспоненциальной и имеет вид: $F(x) = 0{,}5524xe^{0{,}001856x}$.

Однако совершенно очевидно, что повышение частоты ТО может повлиять на предотвращение схода АТС с линии или невыхода их на линию только при отказах, сопровождающихся упреждающими признаками. Поэтому выявление таких признаков с помощью органолептических методов или диагностирова-

нием при выполнении планового ТО, предшествующего отказу, становится одной из важнейших задач, поскольку даёт возможность предотвращать заявочные ремонты и необходимость возврата АТС с линии или их невыхода на линию для его выполнения. Иначе говоря, определённую часть отказов перенести из заявочного ремонта в сопутствующий ремонт.

Как видим, всё логично. Однако столь же очевидно, что увеличение частоты ТО будет экономически выгодно, если связанные с этим затраты будут меньше потерь, связанных с несвоевременным предупреждением отказов. А для этого необходимо определить долю отказов, сопровождающихся упреждающими признаками. Что автор и сделал, применив экспертные методы, т.е. опросив специалистов технической службы ООО "Север-Авто" по предварительно подготовленной методике.

В результате был составлен перечень из 26 признаков, уверенно выявляемых органолептически, и 50 признаков, выявляемых диагностированием в пределах 20...50 % наработки до ТО большей периодичности (для автобуса "Мереседес-Бенц Спринтер 411cdi" — 5 тыс. км, а для "Ивеко Дейли" — 6,6 тыс. км). Затем на его основе был сформирован перечень отказов, сопровождающихся упреждающими признаками. В него вошли до 70 % всех отказов, потребовавших выполнения заявочного ремонта на пробеге от 100 до 300 тыс. км. Причём предупреждение о необходимости заявочного ремонта для устранения 85...90 % этих отказов возможно именно за счёт упреждающего выполнения сопутствующего ремонта при очередных ТО.

Для полученного таким образом перечня "ожидаемых" отказов (их нельзя отождествлять с прогнозируемыми), сопровождающихся упреждающими признаками, была выведена следующая регрессионная зависимость их частоты $F_1(x)$ от пробега x с начала эксплуатации: $F_1(x) = 0{,}303xe^{0{,}001856x}$.

Наконец, на основании приведённых выше зависимостей автор получил рациональную зависимость регулируемой наработки $G(x)$ до ТО от пробега x с начала эксплуатации автобусов:

$$G(x) = 0{,}0000672x^2 - 0{,}0566x + 17{,}9.$$

Регулирование частоты ТО предлагается реализовать алгоритмом ступенчатого сокращения наработки до ТО каждого вида при выполнении очередных ТО или с большими интервалами между очередными сокращениями (например, через одно обслуживание) с использованием последней зависимости, в которой коэффициенты уточняются изготовителем для АТС каждой новой базовой платформы.

Но есть ещё более интересное решение: вместо регулирования частоты ТО только по пробегу АТС ввести индивидуальную для каждого его экземпляра условную корректируемую переменную $w(x, z, r)$, учитывающую наряду с пробегом x ещё и интенсивность z, и условия r эксплуатации, как это принято в системе ТО по сервисным книжкам. Такая переменная, очевидно, будет гораздо полнее отражать степень выработки ресурса АТС до очередного ТО. Вид предлагаемого индивидуального для каждого АТС ступенчатого

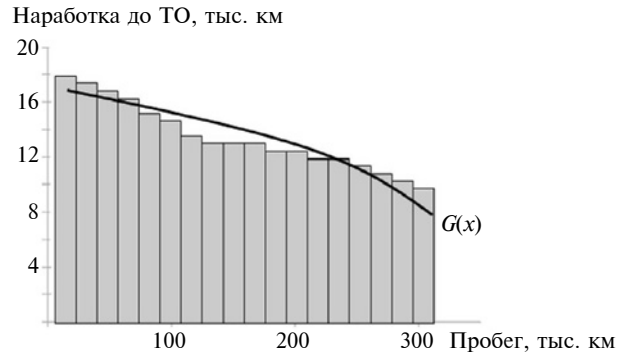


Рис. 4. Зависимость рациональной наработки автобусов "Мереседес-Бенц Спринтер 411cdi" от их наработки

регулирования наработки до ТО в зависимости условной переменной $w(x, z, r)$ показан на рис. 4.

Для практического осуществления регулирования частоты ТО не требуется последовательное, при каждом обслуживании, сокращение установленной наработки до следующего. Достаточно восьми-десятикратного дробного ступенчатого повышения частоты ТО от начала эксплуатации АТС до его списания или капитального ремонта. Это обеспечит минимизацию числа случаев заявочного ремонта при больших пробегах АТС и наилучшее использование потенциала его безотказности, заложенного изготовителем в конструкцию. При этом все расчёты для формирования этой частоты, предусмотренные в системах ТО по сервисным книжкам, могут быть автоматизированы непосредственно на борту каждого АТС в зависимости от среднесуточного пробега, доли пробега на пониженных передачах, частот пусков двигателя и выполняемых маневров разгона и торможения, наружных температур и т.п. Алгоритм регулирования наработки до ТО и отображение рекомендаций по своевременности его выполнения предлагается реализовать бортовой вычислительной сетью АТС. Для этого достаточно использовать вычислительные возможности блока управления и дисплей одной из электронных систем управления АТС.

Предлагаемое ступенчатое сокращение наработки до ТО по мере выработки ресурса АТС от начала эксплуатации приемлемо для техники любых изготовителей, независимо от применяемой ими формы системы ТО и ремонта, числа видов (ступеней) ТО и достигнутых наработок до ТО. Оно не усложнит планирование постановок АТС на ТО, так как для каждого из них будет автоматизировано индивидуально. Единственным условием реализации служит наличие на борту АТС электронных систем автоматического управления и дисплея для отображения визуальной информации.

Литература

1. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта / М-во автомобильного транспорта. РСФСР. — М.: Транспорт, 1986. — 72 с.
2. Денисов. А.С., Басков В.Н., Захаров В.П. Влияние периодичности профилактики на надёжность автомобилей // Автотранспортное предприятие. 2011. № 6. С. 51—52.
3. Живов С.В. Разработка методики оптимизации периодичности ТО легковых автомобилей-такси.: Дис. ... канд. техн. наук. М., 2007. — 164 с.

УДК 629.113.073

"MATLAB/SIMULINK": МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОПРОФИЛЯ ДОРОГИ И ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Канд. техн. наук **МИХАЙЛОВ В.Г.**
ООО "Мидивисана", г. Минск

Рассмотрены вопросы моделирования возмущений от микропрофиля дороги в пакете "Matlab/Simulink" с помощью генераторов белого шума и фильтров. Проведены результаты сравнительного анализа методов формирования возмущения дороги и получаемых при этом спектральных характеристик в третьоктавных полосах частот.

Ключевые слова: *грузовой автомобиль, вибрация, плавность хода, моделирование микропрофиля дороги и внешнего возмущения.*

Mikhailov V.G.

MODELLING of the MICROPROFILE of road AND EXTERNAL INDIGNATION In MATLAB/SIMULINK

Questions of formation of perturbation of road by modeling of its microprofile in package Matlab/Simulink by means of generators of white noise and filters, and also by the microprofile job on points by means of S-Function in C language are considered.
The comparative analysis of methods of formation of perturbation of road is carried out. The analysis of received spectral characteristics in 1/3 Octave bands of frequencies is given. It is shown that at modeling usage of a method of the job of a microprofile of road on points is more expedient. Possible application S-Function is considered: for signal processing, simulation modeling, tests of various objects.

Keywords: *the Truck, vibration, smoothness of a course, modeling of a microprofile of road and exterior perturbation.*

При оценке колебательной модели автомобиля в качестве действующего на него случайного возмущения в СНГ и за рубежом чаще всего используют микропрофиль дороги, представленный в виде стационарного эргодического случайного процесса с автокорреляционной функцией вида

$$R_k(\tau) = D_k\left(A_{1k}^{-\alpha_{1k}\tau}\cos\beta_k\tau + A_{2k}^{-\alpha_{2k}\tau}\right),$$

где α_{1k}, α_{2k}, β_k — коэффициенты, найденные для k-го вида профиля; D_k — дисперсия k-го вида профиля. Этой функции соответствует спектральная плотность, полученная прямым преобразованием Фурье:

$$S_k(\omega) = \frac{1}{\pi}\int_0^\infty R(\tau)\cos\omega\tau d\tau =$$

$$= \frac{D_k}{\pi}\left(A_{lk}\frac{\alpha_{lk}(\omega^2+\alpha_{lk}^2+\beta_{lk}^2)}{(\omega^2-\beta_{lk}^2-\alpha_{lk}^2)^2+\alpha_{lk}^2\omega^2} + \right.$$

$$\left. + A_{2k}\frac{\alpha_{2l}}{\omega^2+\alpha_{2k}^2}\right).$$

При этом, чтобы получить дискретные значения высоты микропрофиля дороги в моменты времени, соответствующие шагу дискретизации, строится формирующий фильтр, описываемый линейными однородными дифференциальными уравнениями, на вход которого подается сигнал с генератора "белого шума". На практике это сводится к созданию набора нескольких фильтров, через которые пропускается сигнал с данного генератора. Причем чаще всего — линейный фильтр второго порядка [1], эквивалентом которого является одномассовая колебательная система. При этом возмущение, получаемое в пакете "Simulink", соответствует рис. 1. То есть генератор "белого шума" создает прямоугольный ступенчатый сигнал, подать который в колебательную систему нельзя, поскольку частые его изменения не характерны для дорожного микропрофиля и дадут неадекватную реакцию колебательной системы. В ней будут преобладать высокочастотные составляющие, которые снизят уровень низкочастотных вибраций. Поэтому сигнал генератора "белого шума" приходится подвергать фильтрации [2], пропуская его через два интегратора — одну или несколько передаточных функций пакета "Simulink" из библиотеки " Matlab" или через полосовой фильтр и набор резонансных фильтров на основе компонентов " Simulink".

Рассмотрим эти способы. Первому из них соответствует сигнал, показанный на рис. 2, из которого видно: данный сигнал имеет основную инфранизкую частотную составляющую с периодичностью до 15 с (0,4 Гц) и слабо подходит для грузовых автомобилей, имеющих собственную частоту колебаний подвески 2—3 Гц. Он больше пригоден для задания макропрофиля дороги и задач исследования динамики автомобиля.

Второй и третий способы довольно близки, поэтому и получаемые с их помощью сигналы практически аналогичны. Например, в случае третьего способа этот сигнал имеет вид, показанный на рис. 3.

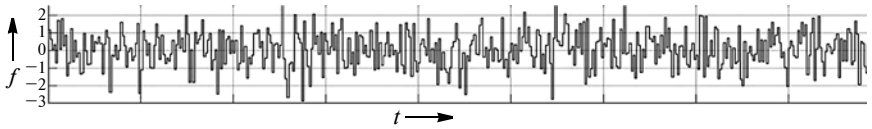


Рис. 1. Вид сигнала после генератора "белого шума"

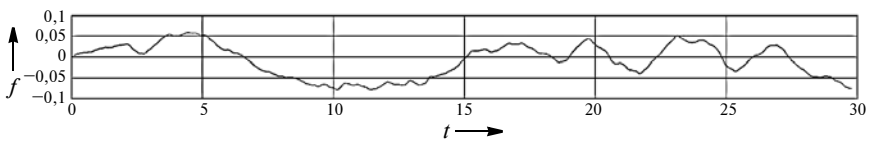


Рис. 2. Характер возмущений после двух интеграторов

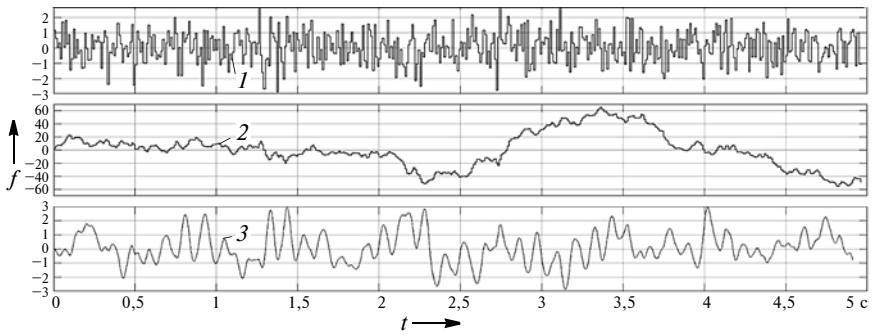


Рис. 3. Характер возмущений, обеспечиваемый третьим способом обработки:
1 — после генератора "белого шума"; *2* — после цифрового полосового фильтра; *3* — после блока аналоговых фильтров

Из этого рисунка видно (средняя осциллограмма), что сигнал после полосового фильтра (0—25 Гц) ступенчатый характер сохраняет, хотя и в значительно меньшей мере. Поэтому его приходится подвергать дополнительной фильтрации на основе трёх резонансных фильтров (2, 4, 8 Гц). В результате чего он приобретает вид, показанный на нижней (кривая 3) осциллограмме. Однако моделирование показало, что низкочастотная составляющая сигнала в октавной полосе 2 Гц всё же имеет недостаточный уровень (не превышает 20 %). То есть пакет "Simulink" на большее не способен. Но выход из этого тупика есть. Он — в подаче дополнительного синусоидального сигнала с генератора качающейся частоты в полосе 1,4—2,8 Гц. Однако дело это сложное: для каждой скорости движения автомобиля приходится подбирать параметры фильтров. Поэтому большинство исследователей в основном ограничиваются сравнительным моделированием на упрощённом сигнале от генератора "белого шума" с одним фильтром.

Автор сделал попытку найти новое решение проблемы, для чего разработал дополнительную программу на языке С в виде S-функции и интегрировал её в пакет "Simulink". Дело в том, что "Matlab/Simulink" версии 2015b и компилятор "Matlab TDM-GCC" языка С для "Windows-64" версии 4.9.2 и выше позволяют это сделать. Кроме того, "S-Function" на языке С является единственной возможностью связать модель в пакете "Simulink" с компьютером и его устройствами (подобный подход уже применяется для отладки систем управления технологического оборудования и различных устройств. Сделать же это непосредственно на языке "Matlab" невозможно).

Программа на языке С предназначена для формирования сигнала микропрофиля дороги, включает 396 строк исходного текста, большая часть которого приходится на шаблон, формируемый "S-Function" "Builder Matlab" по инициализации переменных, портов "S-Function" и конвертации данных в матричную форму. Она считывает данные замеров микропрофиля дороги с шагом 0,1 м (левой и правой колеи) из текстового файла и заносит их в массив памяти. Затем в процессе обращения к "S-Function" по значению длины дороги x и этого массива методом квадратичной интерполяции Ньютона по трём точкам, ближайшим к x, по формуле

$$y = \frac{(x-x_1)(x-x_3)}{(x_1-x_2)(x_1-x_3)} y_1 + \frac{(x-x_1)(x-x_3)}{(x_3-x_1)(x_2-x_3)} y_2 + \frac{(x-x_1)(x-x_3)}{(x_3-x_1)(x_3-x_3)} y_3$$

вычисляет текущее значение высоты неровности дороги y.

Это значение затем преобразуется в матричную форму и подаётся на выходной порт и далее в колебательную модель "Simulink". При этом скорость движения автомобиля выдается в виде константы, которая подается на интегратор, где и рассчитывается текущее значение длины дороги x_0, после чего блок S-функции по значению x_0 определяет ближайшие три точки и вычисляет текущее значение микропрофиля дороги, соответствующее передней (y_0), средней (y_1), задней (y_2) осям автомобиля с учётом транспортной задержки.

Откомпилированная программа на языке С представляет собой разновидность программы DLL, но работает на порядок быстрее, чем в случае написанной на языке "Matlab", где при загрузке и выгрузке данных пришлось бы прибегнуть к конвертации через MS Excel. Объём используемых данных при 32-битной версии по информации на форумах ограничен 16 Кб (1 тыс. записей), поскольку для массива используется тип данных "дубль". В версии же "Matlab/Simulink" 2015b используется 64-битный компилятор для языка С и информация по дороге занесена в виде массива *"float rd [8000]"* [3], поэтому здесь таких ограничений нет.

Особенностью рассматриваемой программы на языке С является и то, что загрузка данных дороги осуществляется только один раз, что реализовать на языке "Matlab" гораздо сложнее.

В качестве исходных данных автор использовал замеры участка булыжной дороги Плещеницы—Вилейка, на котором МАЗ проводил испытания своих автомобилей в 1970—1980-е годы. Сейчас этой булыжной дороги нет — она заасфальтирована. Но если учесть, что булыжные дороги широко применяются на автополигонах для форсированных испытаний автомобилей и экспериментальных данных накоплено много, то такой подход вполне оправдан. (Правда, специалисты МАЗа тогда пользовались нивелиром с шагом измерений 0,1 м и погрешностью до 2 мм.) Кроме того, дополнительные погрешности давали случайные положения мерной рейки нивелира и эффект обкатывания неровности и сглаживания шиной по длине и ширине пятна контакта [4]. Но этих погрешностей можно избежать, если при моделировании данные, полученные, скажем, тем же МАЗом, соответствующим образом обработать.

В случае применения "S-Function" вариантов такой обработки может быть как минимум три: сглажи-

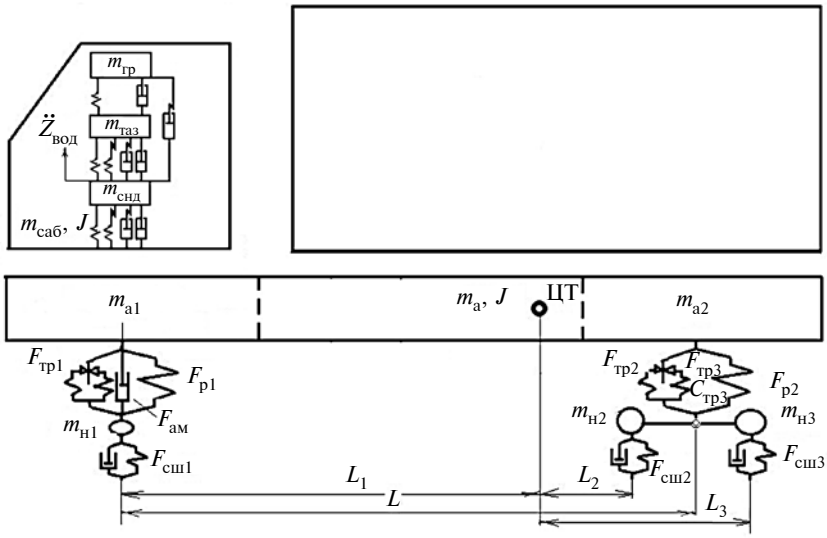


Рис. 4. Плоская модель грузового автомобиля колёсной формулы 6×6

вание микропрофиля дороги путём усреднения высот неровностей под пятном контакта шины; фильтрация сигнала с помощью набора узкополосных фильтров; использование фильтрации сигнала и последующей его обработки и преобразования в исходный микропрофиль.

Первый из них представляет собой упрощённый вариант на основе упомянутых выше работ [3, 4] (замена интегрирования усреднением). Автор оценил его из шести случаев усреднения высот неровностей по 10, 20, 30, 40, 50, 60 точкам, попадающим в область пятна контакта. Результат: на булыжном шоссе усреднение снижает уровень вибраций на раме автомобиля до 1,5 раза (до 0,76; 1,43; 3;12; 4,5 м/с^2 соответственно) в октавах 2,4, 8,16 Гц. Однако этот уровень получается все-таки достаточно высоким (превышает в 1,3—2 раза данные эксперимента в тех же октавах 4, 8, 16 Гц). Это говорит о том, что данный способ в сочетании с методом замеров неровностей дороги с помощью нивелира для булыжной дороги не годится.

При оценке второго способа сигнал пропускался через набор аналоговых фильтров 2, 4, 8, 16 Гц и использовался в качестве входного сигнала возмущения для колебательной модели. Однако оказалось, что в случае использования цифрового полосового фильтра из библиотеки "Matlab/Simulink" процесс решения из-за несовместимости "S-Function" по "Sample time" останавливается. Хотя этот же фильтр нормально работает после генератора синусоидального сигнала и генератора "белого шума". Единственными же возможностями при применении "S-Function"-функции является либо использование набора резонансных аналоговых фильтров, либо непосредственная подача сигнала на колебательную модель.

Третий (комбинированный) вариант обработки заключался в следующем. Сигнал x_0 (первичных замеров неровностей дороги) в блоке "S-Function"-функции программно разделяется на два — выходные возмущения левой (y_0) и правой колеи (y_1). Далее эти сигналы пропускаются через наборы аналоговых фильтров с полосой 1—25 Гц и выводятся через блок "To File", где записываются в виде специальных файлов. Затем возмущение этих файлов из блока From File подаётся на входы x_0, x_1 блока "S-Function" и программно, с определённым шагом квантования, выводятся в текстовый файл. После этого данный файл используется уже в качестве дорожного возмущения. Данный вариант позволяет исключить фильтры после "S-Function" и тем самым сократить число интеграторов на 12, а также существенно повысить быстродействие процесса решения. И главное — обеспечивает вполне приемлемое совпадение результатов расчётов с результатами экспериментов.

Результаты моделирования плавности хода грузового автомобиля 6×6 автор сравнивал на модели, приведённой на рис. 4. Оценка осуществлялась по среднеквадратическим ускорениям на раме в октавных полосах частот при скорости 40 км/ч. Они сравнивались с ранее выполненными замерами опытного образца автомобиля МАЗ-6303 [5]. При этом использовалась более совершенная модель трения в подвеске (если её не использовать, то в случае применения модели "вязкого" трения расхождение в октавных полосах частот может достигать 50—100 %).

Результаты моделирования приведены на рис. 5. На нём же дан среднеквадратичный спектр микронеровностей дороги в третьоктавных полосах частот, полученный после фильтрации сигнала с генератора "белого шума" аналоговыми фильтрами по третьему варианту и сформированный по точкам в результате комплексной обработки.

Как видим, спектр возмущения от дороги, полученный после генератора "белого шума" и последующей фильтрации, в полосе до 5 Гц практически совпадает со сформированным по точкам. В области же 5—10 Гц в случае генератора "белого шума" он на 10—15 % выше, а после 12,5 Гц он выше у комбинированного варианта способа задания микропрофиля по точкам. Резонансный пик у варианта с генератором "белого шума" приходится на частоту 10 Гц, а у микропрофиля по точкам — на 12,5 Гц. Форма резонансной кривой в среднечастотной и высочастотной областях у варианта с генератором "белого шума" смещена по сравнению с микропрофилем, полученным по точкам, на третьоктаву. На кривой выделяются три резонансных пика: 1,6...2, 4; 10...12,5 Гц, которые характерны для колебаний подрессоренной массы автомобиля, колебаний её на шинах при блокированной подвеске трением и колебаний неподрессоренных масс (это обусловлено тем, что колебания автомобилей, особенно грузовых, воздействуют на дорогу, формируя её неровности).

Несмотря на некоторое смещение спектра, уровни вертикальных ускорений на сиденье водителя в

октавных полосах частот получаются близкими по значению. Причина тому — влияние "сухого" трения в подвеске. Во-первых, оно уменьшает уровень возмущения. Это снижает эффективность системы подрессоривания; во-вторых, создаёт более высокий уровень вибраций в высокочастотной области (октава 16 Гц), что усиливает их в соседней среднечастотной области (8 Гц), перераспределяя их в октавах 8 и 16 Гц.

В целом расхождение с экспериментом в октавных полосах частот 2, 4, 8 и 16 Гц на сиденье у обоих (второго и третьего) вариантов получается в пределах 8—15 %, что вполне приемлемо для таких расчётов.

Столь близкие результаты моделирования свидетельствуют о том, что формирование дорожного воздействия с помощью генератора "белого шума" при соответствующей фильтрации для расчётов плавности хода вполне приемлемо. Однако здесь есть один усложняющий дело фактор: трудность формирования спектра соответствующей дороги [4]. Он требует использования как минимум трёх-четырёх фильтров в полосе 1—25 Гц, а также подбора и корректировки параметров этих фильтров. Для каждой скорости движения автомобиля, как отмечалось выше, пакет "Simulink" не имеет стандартного компонента переменной задержки сигнала. Поэтому для расчётов плавности хода, динамики автомобиля, получения данных для прочностных расчётов при его движении с непостоянной скоростью всё же предпочтительнее метод задания микронеровностей дороги по точкам замеров и последующей их обработки через "S-Function". И этот подход целесообразнее распространить и на решение задач движения автомобиля, и оценки его устойчивости при выполнении манёвра "переставка", а также других задач динамики.

И вообще надо сказать, что использование "S-Function"на языке С и реализация в ней возмущения от дороги позволяет решать самые разнообразные задачи. В частности, осуществлять статистическую обработку сигналов, используя функции "Matlab", моделировать динамику движения автомобиля с учётом его

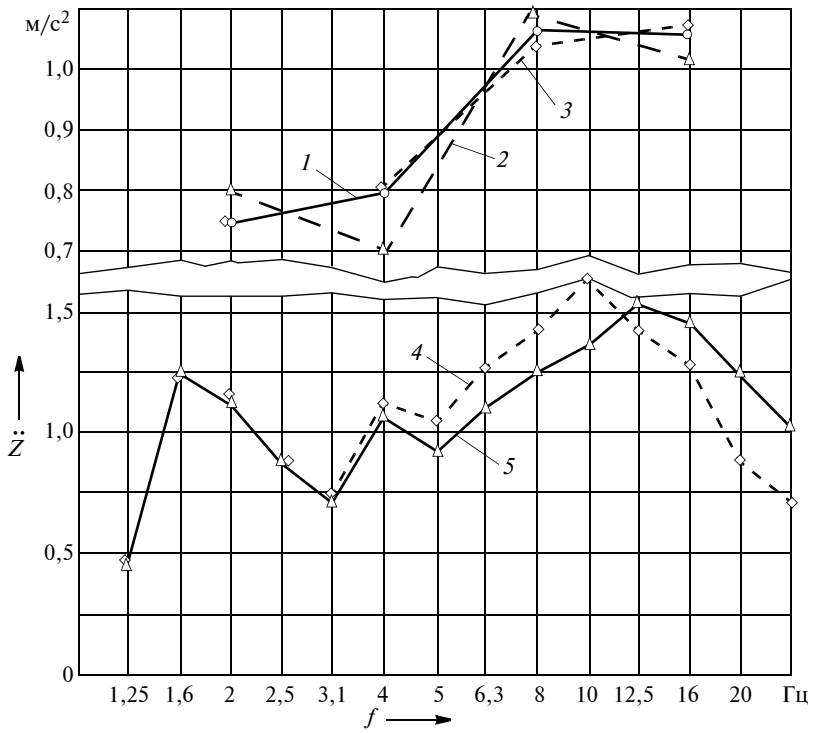


Рис. 5. Среднеквадратический спектр микронеровностей дороги в третьоктавных полосах частот и вертикальных ускорений на сиденье водителя в октавных полосах частот:

1 — расчёт с генератором "белого шума"; *2* — эксперимент; *3* — расчёт по точкам; *4* — дорога с генератором "белого шума" и фильтрами; *5* — дорога по точкам

тягово-скоростных свойств и дорожных условий, а также его управляемость, устойчивость и т. п. в совокупности с реальными узлами рулевого управления, тормозной системы, механизмов переключения коробки передач на стенде, на которые подается сигнал с модели и т. д., управлять работой испытательных стендов и имитировать "реальное" нагружение, а также оценивать прочность и долговечность узлов и автомобиля в целом. Для этого необходимо лишь увеличить число входных портов в блоке "S-Function", на которые подаётся сигнал с объекта. И в написанной для этой задачи программе на языке С рассчитывать управляющий выходной сигнал, который может быть выгружен в виде файла либо подан на аналогово-цифровой преобразователь и т. п.

Из всего, что сказано выше, можно сделать следующие выводы.

1. Анализ вариантов формирования возмущения от дороги с помощью генератора "белого шума" доказывает, что сигнал, получаемый после прохождения двух интеграторов, имеет основную инфранизкую частотную составляющую с периодичностью до 15 с. Однако данное воздействие для оценки плавности хода грузовых автомобилей, имеющих собственную частоту колебаний подвески 2—3 Гц, по частоте подходит слабо. Такой вариант больше пригоден для задания макропрофиля дороги и задач исследования динамики автомобиля.

2. Использование генератора "белого шума" для моделирования микропрофиля дороги, из-за ступенчатого характера первичного сигнала, требует дополнительной фильтрации — необходимо применение как минимум трёх-четырёх резонансных фильтров. Потому что только в таком виде преобразованный сигнал может играть роль внешнего возмущения от дороги.

3. Способ формирования микронеровностей по точкам замеров микропрофиля дороги и программы на языке С с помощью "S-Function"-функции "Matlab/Simulink" по реализации дорожного воздействия в пакете "Simulink", которые применил автор, позволяют корректно моделировать движение автомобиля с постоянной и переменной скоростями движения и оценивать его

вибронагружённость. Однако следует иметь в виду, что он требует фильтрации и обработки первичных данных неровностей дороги с последующим их преобразованием в расчётный массив микропрофиля.

4. Для расчётов плавности хода, динамики автомобиля, получения данных для прочностных его расчётов при движении с непостоянной скоростью более предпочтителен метод формирования микропрофиля дороги по первичным точкам замеров с последующим его преобразованием. Он более целесообразен и для решения задач движения автомобиля, и для оценки его устойчивости при маневре "переставка", а также других динамических задач.

5. Использование "S-Function" на языке С и задание внешнего возмущения по точкам позволяет решать самые разнообразные задачи, включая такие, как статистическая обработка сигналов, имитационное моделирование, стендовые испытания, оценка прочности и долговечности различных систем и агрегатов. Следовательно, их нужно внедрять в практику проектирования.

Литература

1. Микулик Т.Н. Исследование влияния параметров сиденья на вибронагруженность оператора (водителя) / Т.Н. Микулик, Г.Н. Рейзина // Грузовик, Машиностроение". — 2014. — № 4 + прил. — С. 30—32.
2. Динамика системы дорога—шина—автомобиль—водитель / под ред. А.А. Хачатурова. — М.: Машиностроение, 1976. — 535 с.
3. Петрович А.И. Программное обеспечение ЭВМ. Расчёт плавности хода автопоезда на ЕС ЭВМ / Петрович А.И., Беленький Ю.Ю., Маринич А.М., Янович Л.А. // Ин-т математики АН БССР, Минск, 1984. Вып. 49. 77 с.
4. Веремеев Н.Н. Сглаживающая и поглощающая способность шин при расчётах плавности хода автомобилей / Н.Н. Веремеев, дис. ... канд. техн. наук, 05.05.03. — Минск: БПИ, 1983. — 164 л.
5. Технический отчёт МАЗ НИР-1.02—81 Сводный отчёт по экспериментальному и расчётному исследованию вибраций на рабочем месте водителя автомобилей семейства МАЗ-5432, МАЗ-6422, Минск, 1981, 133 с.

ИНФОРМАЦИЯ

Из истории отечественного автомобилестроения

ИСТОРИЯ ОДНОГО ПРИОРИТЕТА (О "ПОДКАЧКЕ")

МРОСТ Ю.Н.

Имидж любой уважающей себя фирмы базируется на приоритетах, ей принадлежащих, — национальных или мировых. А спроси любого "зиловца" о заводских приоритетах? Почти гарантированно, что не ответят. А у ЗИЛа есть приоритеты. И четыре из них — мировые. Две такие конструкции были освоены производством и используются в мировом автомобилестроении. К сожалению, почти ни один из приоритетов не защищен формально. До начала 1960-х годов никто не озадачивал себя подобной работой. Нельзя не отметить, что ко всем четырём мировым приоритетам прямое, если не решающее, отношение имел Георгий Алексеевич Матёров, проработавший на заводе 47 лет, из них 32 года — заместителем начальника экспериментального цеха.

Об одном из таких приоритетов и пойдет здесь речь. Но началом послужат фрагменты писем Николая Добровольского, талантливейшего фотографа Горьковского автозавода. Они написаны весной 1949 года во время государственных испытаний послевоенных первенцев — грузовиков повышенной проходимости ГАЗ-63 и ЗИС-151.

"4 марта, г. Тамала Пензенской области. Идём раздельно, двумя колоннами: впереди четыре ГАЗ-63 и "бобики", сзади ЗИСы. В голове их колонны наша "пшикалка" с лебёдкой, которая то и дело разворачивается и таскает лебедкой зисовские "утюги". Словом, совершенно ясно, что самостоятельно зимой при отсутствии автомобильной дороги ЗИСы двигаться не могут....Снежные ураганы, морозы и оттепели, сугробы наметённого снега глубиной до полутора метров, овраги и рвы, занесённые снегом, ночёвки в открытой степи, оставленные в ней машины в двух километрах от деревни, "отогревание" в нетопленых классах сельских школ, ночёвки в шубах по трое суток подряд — вот что характеризует первый этап нашего пробега".

"25 апреля, г. Тула. Если говорить об автомобилях ГАЗ-63, то о них можно сказать очень коротко: автомобиль ГАЗ-63 по проходимости является непревзойдённым... Хорошие ребята — водители зисовских машин. Но они прошли не ту школу испытания. Они не уверены в своих автомобилях".

"...У нас на ГАЗе в цехе испытаний опытных машин не жалеют и не боятся их сломать, стремясь скорее выявить недостатки. Так ли поставлено дело на ЗИСе? Мне думается, что нет. Ведь твердили зисовцы в пробеге о том, что маршрут чуть ли не вредительский, надо, мол, ездить по дорогам — автомобиль для дорог. Если надо проверить качество или проходимость, пожалуйста, сверните с дороги, попробуйте на два-три километра — и достаточно.... Особенно раздражает то, что о ЗИС-150 много говорили, и его очень долго ждали. Получив от нас ГАЗ-51 вместо ГАЗ-АА и убедившись в огромном преимуществе новой конструкции, эксплуатаци-

онники ждали отЗИС-150 такого же броска вперёд по сравнению с ЗИС-5. И такое разочарование".

Эмоциональные всплески в адрес ЗИСа и панегирики "газовцам" следует расценивать как свидетельство "жарких" отношений между ГАЗом и ЗИСом тех лет, патриотизма и темперамента Н.Н. Добровольского. Факты же, изложенные в письмах, комментируются следующим образом.

Первое. Налицо очередная попытка пустить колёсные дорожные автомобили по абсолютному бездорожью. Изначально колесо и пневматическая шина на автомобиле рассматривались, главным образом, с точки зрения их способности нести нагрузку. Отсюда увеличение как числа колёс на одной оси (так называемые двойные скаты), так и числа самих осей... Серьёзных попыток исследования взаимодействия шин и грунта (песка, снега) практически не было. Если не считать создания в 1930-х годах инженером Левиным так называемого "сверхбаллона", увеличивающего площадь дорожного контакта шины, что уменьшало удельное давление колеса на грунт и, как следствие — врезание колеса в него.

Поставляемые в СССР по ленд-лизу с 1942 года американские полноприводные грузовики "Шевроле" G7107 (4×4), "Интернационал" М-5-6 (6×6) и "Студебекер" US-6 (6×6) произвели фурор среди военных. Особенно "Студебекер". Чем он завоевал популярность — строгим лаконичным внешним видом или мощным звуком выхлопа — непонятно, но к нему быстро пришло название "король дорог". Курьёз: ведь — дорог, а не бездорожья! К тому же колёсная схема с точки зрения проходимости у него неоптимальная — двускатная. Во всяком случае главному конструктору автомобилей повышенной проходимости ЗИСа Г.А. Сонкину это было ясно, и один из двух первых опытных образцов послевоенной трехоски ЗИС-151 (6×6) был односкатным. Однако при решающем показе высшим военным чинам преодоления брода И.А. Лихачёв буквально приказал водителю односкатной трёхоски ЗИС-151 Кириллу Кур-Вуазье сесть в броду, а водителю "студебекера" Николаю Подстрельнову пригрозил: "Попробуй не возьми у меня брод!". Ребята, конечно же, выполнили наказ директора. Оба водителя, К. Кур-Вуазье и Н. Подстрельнов, рассказывали мне об этом в разное время и по разным случаям.

Как бы там ни было, но в производство в 1948 году был принят двухскатный ЗИС-151 (позже получивший кличку "колун", или "утюг") — аналог "Студебекера" и почти на тонну его тяжелее. К сожалению.

Второе. А о какой проходимости автомобилей идёт речь в письмах Добровольского, когда в них же говорится: *"Вообще говоря, условия пробега неимоверно тяжёлые: копаем траншеи в глубоком снегу длиной до километра, а порой продвигаемся с помощью лебёдки от одного телеграфного столба до другого. Скорость нашего движения определяется способностью людей — участников пробега, прорывать траншеи. Двигаемся на трапах".* И далее: *"Вчера был "рекордный" день. За день прошли 7 километров.".* И это проходимость?

Третье. Слова о низкой прочности грузовика ЗИС-150 справедливы. Так же, вероятно, справедливо и то, что зисовские грузовики испытывались тогда менее жёстко, чем газовские. Может быть, некоторым оправданием этому было то, что основные конструкторско-экспериментальные силы ЗИСа были сосредоточены с 1942 года на создании лимузина ЗИС-110 для высшего руководства страны? Во всяком случае, все три послевоенных первенца ЗИСа — городской автобус ЗИС-154 (1947 год), грузовики ЗИС-150 и ЗИС-151 (1948 год) — были самыми неудачными конструкциями завода. И позора за них "зисовцы" приняли предостаточно.

А.А. Липгарт, бывший главный конструктор Горьковского автомобильного завода, попавший в опалу в 1951 году, перекомпоновал ЗИС-151 на односкатную схему колёс. При этом он сократил длину автомобиля на 300 мм и применил колесо 9,75-18. Компоновку послали в самые "верха". Оттуда ЗИСу приказали сделать по этой компоновке опытный образец грузовика, что и было выполнено в 1953 году. Нет пророков в своем Отечестве...

Осенью того же года мне довелось определять топливную экономичность и скоростную динамику так называемой липгартовской трёхоски. Однако опытов по проходимости тогда не проводили.

Г.А. Матёров руководил в 1949 году лабораторией испытаний грузовых двухосных автомобилей, но по какой-то причине участвовал в государственных испытаниях грузовиков повышенной проходимости ГАЗ-63 и ЗИС-151. Тяжелейший пробег произвёл на него сильное впечатление. Уже с весны 1949 года, когда лаборатория испытаний грузовых двухосных автомобилей получила для испытаний, прямо с конвейера, пятый грузовик ЗИС-150 (шасси № 565), он организовал жесточайшие прочностные испытания рамы и его ходовой части на Молоковском и Пятницком шоссе с сильно разбитым булыжным покрытием.

Летом 1950 года Г.А. Матёров провёл исследование по влиянию на проходимость грузовика ЗИС-150 различных рисунков протектора шин. С 3 декабря того же года команда экспериментального цеха ЗИСа под руководством Г.А. Матёрова стала участвовать в автомобильных кроссах, решая не только спортивные, но и исследовательские задачи. Тогда кроссы проводились по лесным и просёлочным дорогам, заболоченным местам и через броды небольших речушек. Это позволило испытывать шины с разным рисунком протектора, а также создавать и применять приспособления для прохождения трудных мест (трапы, пружинящие решётки противоскольжения, барабаны с тросами, надеваемые на ступицы буксующего колеса и т.д.). Следует здесь похвастаться. Первым чемпионом СССР по автокроссу в 1951 г. был зисовский экипаж — водитель И.С. Пономарёв и механик К.Ф. Шурлапов. В 1952 году их успех повторили Н.Ф. Розанов и М. Кандауров. В командном же первенстве ЗИС был первым в 1951, 1952, 1955 и 1956 годах. А в 1957 году в Ростове-на-Дону на первенстве СССР в классе грузовиков ЗИС-150 были включены УралЗИС-355 с гандикапом. Кросс проводился по чернозёмному просёлку. Преимущество

более лёгких "Уралов" было очевидным — они заняли первые шесть мест. А ЗИЛ в знак протеста против такой несправедливости отказался от участия в кроссах последующих лет ("газовцы" в те годы, тоже участвуя в кроссах по классу ГАЗ-51, ни разу их не выигрывали). Но средства, радикально увеличивающего проходимость автомобиля, найти не удавалось.

Восстанавливая и реконструируя по памяти и документам события тех лет, нельзя не сказать об общей атмосфере на заводе. Волны большевистского террора и раньше накрывали завод. Ещё до войны были репрессированы первый директор завода "АМО" Д.Д. Бондарев, первый главный конструктор В.И. Ципулин, главный конструктор Е.И. Важинский, первый дизелист Эвентов. В тюрьмах и лагерях в разное время побывали главный инженер завода В.Н. Лялин, начальник производства А.В. Кузнецов, помощник главного конструктора по кузовам А.А. Евсеев, конструкторы Г.Н. Лист, А.И. Израиль-Скерджев и др. Тягостное было время и мерзкое. Время доносов и предательств. Казалось, что после войны оно кончится, ан нет.

В марте 1950 г. грянул так называемый "еврейский погром", когда на завод обрушилась волна арестов и увольнений. Были арестованы 48 заводчан-евреев: помощник директора завода А. Эйдинов, начальник производства Мостославский, главный конструктор Б.М. Фиттерман, главный конструктор автомобилей повышенной проходимости Г.А. Сонкин, начальник КБ электрооборудования Г.И. Гольдберг, начальники ряда цехов — И. Жаботинский, В. Флюков и др. В числе уволенных оказались: директор завода И.А. Лихачёв, заместитель главного конструктора А.Г. Зарубин, начальник экспериментального цеха Г.А. Гринфельд и др. Всему коллективу был нанесён жестокий удар. Царила атмосфера подавленности, страха и растерянности. Тому, кто не жил в то время, трудно представить себе, что творилось в душах и умах людей, когда приходили на работу и узнавали, что тот и тот, и этот арестованы. А за что и почему — неизвестно. Позже ползли разные слухи... Про Б.М. Фиттермана, например, говорили, что он хотел взорвать завод и чуть ли не сам минировал один из подвалов на заводе.

Но жизнь продолжалась. Двое среди пришедших на замену выбывшим оказались специалистами, радикально повлиявшими как на развитие конструкторско-экспериментальной службы, так и непосредственно на сами конструкции автомобилей. Это были Г.А. Матёров, ставший с марта 1950 года заместителем начальника экспериментального цеха, и Виталий Андреевич Грачёв, в июле 1951-го назначенный заместителем главного конструктора ЗИС. В 1944 году он был переведён с ГАЗа на вновь организованный Днепропетровский автомобильный завод сначала заместителем главного конструктора, а в 1945 г. назначен главным конструктором. Завод предназначался для производства грузовика ДАЗ-150, унифицированного с ЗИС-150, и армейского автомобиля-амфибии по аналогии с американской лодкой "Джи-Эм-Си" DUKW-352 (односкатной, 6×6). Однако в 1951 году завод был переориентирован на другое производство (сегодня это завод "Южмаш"), а выпуск амфибий поручался ЗИСу.

История создания автомобиля-амфибии связана с необходимостью высадки крупных морских десантов в ходе Второй мировой войны. Для этого американцы создали мелкосидящие морские самоходные баржи, в трюме которых размещались амфибии. Вблизи берега амфибии сходили с барж в воду и с помощью винта доплывали до него. Для преодоления вязкого грунта побережья амфибии оснащались устройством выпуска воздуха из шин колёс при безостановочном движении. Снижение давления воздуха значительно увеличивало площадь контакта специальной тонкостенной шины, имеющей упругие боковины, с грунтом. Уменьшалось удельное давление колеса на грунт, и автомобиль не увязал. На твёрдом же покрытии шины подкачивались, опять-таки на ходу, до нормального давления воздуха в них, и автомобиль двигался как обычно. Самым сложным в этом устройстве были механизм подачи воздуха с неподвижного шланга на вращающееся колесо, а также конструкция самой шины.

В экспериментальном цехе ЗИСа для испытаний нового объекта — автомобиля-амфибии ЗИС-485 — была создана специальная лаборатория. Акцент в испытаниях лодки ставился на совершенствовании её ходовых свойств на воде. Вопросы проходимости по суше практически не рассматривались. Летом 1952 года в новую лабораторию перешёл работать из лаборатории испытаний легковых автомобилей молодой инженер Владимир Лаврентьев. В ноябре 1952 года под Зарайск за картошкой для цеха (время было ещё голодное) поехала группа на двух трёхосках ЗИС-151 и одной лодке ЗИС-485. Лодку взяли с одной целью — не поморозить картошку в пути, так как корпус лодки специально обогревался от двигателя. В дороге группа попала в снежные заносы, и В. Лаврентьев заметил, как легко амфибия преодолевает снег, тогда как ЗИС-151 всякий раз вязнет в снегу. Этот эффект давала "подкачка" — как в просторечии у нас стали называть устройство для централизованной регулировки давления воздуха в шинах колёс.

По возвращении В. Лаврентьев и его товарищ Павел Левин, спросив разрешения у В.А. Грачёва, зимой 1952—1953 годов переставили ведущие мосты с амфи-

Амфибия ЗИС-485 с системой подкачки колёс

Бронетранспортёр ЗИС-152В с внешней подводкой системы подкачки колёс

бии на ЗИС-151, сделав последний ещё и односкатным. Испытания трёхоски с подкачкой на снегу Пироговского водохранилища показали, что сила тяги у нее в 1,5—2 раза превышает силу тяги ЗИС-151. Это открытие дало толчок идее установки подкачки как на ЗИС-151, так и на бронетранспортёр ЗИС-152.

Инициаторами внедрения подкачки были В.А. Грачёв, Г.А. Матёров и начальники лабораторий испытаний трёхосок — Л.П. Дажин и бронетранспортёров — Н.Е. Каледин. Однако большинство конструкторов были против. Возник один из первых, вероятно, принципиальных конфликтов между конструкторами и испытателями. Эта тема настолько серьёзна, что заслуживает отдельного рассмотрения. Против подкачки возражали: Г.Г. Михайлов — заместитель главного конструктора, начальники КБ М.В. Кашлаков, Г.А. Феста и ряд других конструкторов. Позиция главного конструктора В.Н. Смолина и сменившего его в 1954 году А.М. Кригера мне неизвестна. Главных доводов против подкачки было два.

Зачем ставить на машину многокилограммовое устройство (экономия прежде всего!), когда за тысячи и тысячи километров пробега оно может быть использовано считанные разы? На одном из техсоветов это было высказано М.В. Кашлаковым. Ему тут же возразил Л.П. Дажин: *"...Михаил Васильевич! Ты на днях попросил машину для переезда на дачу. До дачи сорок километров по асфальту и пятьсот метров по просёлку. Однако ты попросил трёхоску с подкачкой!"* Другой довод: при движении автомобиля по мелколесью штанги, в которых пролегали воздушные шланги от крыльев к ступицам колёс, будут обломаны о пеньки и деревья.

Тем не менее волею В.А. Грачёва и Г.А. Матёрова работы по ЗИС-151 и БТР ЗИС-152 с подкачкой не прекращались. И главным в этих работах было не только совершенствование конструкции подкачки, создание конструкции новой шины, осуществляемое Ю.С. Левиным в НИИ шинной промышленности, но и поиск доказательств в пользу необходимости внедрения подкачки. Техническим отчётам об успешных испытаниях автомобилей с подкачкой в значительной степени не доверяли. Оставался один старый приём — показы. Однако и они не давали эффекта. Так, со слов Г.А. Матёрова, зимой 1953—1954 годов состоялся показ военным специалистам на танковом полигоне в Кубинке БТР ЗИС-152 с подкачкой.

По глубокому снегу пустили параллельно бронетранспортёр и прославленный танк Т-34. И надо же такому случиться — танк сел, а БТР прошёл. Все ахнули и потребовали повторить заезд. И вновь БТР прошёл, а "тридцатьчетвёрка" села. Директор ЗИСа К.В. Власов от восторга чуть ли не верхом сел на какого-то крупного генерала. Но случай был каким-то чудом — проходимость танка, конечно же, была выше проходимости БТР. Решения о применении подкачки на бронетранспортёре ЗИС-152 после показа в Кубинке не последовало.

Тогда по инициативе Г.А. Матёрова прибегнули еще к одному, новому в то время средству, — созданию кинофильма о проходимости автомобиля ЗИС-151, односкатного и оборудованного подкачкой. Своей киностудии на заводе не было. В. Лаврентьев обратился на студию научно-популярных фильмов. По его сценарию оператор Зильбернак отснял кадры не только испытаний автомобиля, но и его работы в условиях рядовой эксплуатации в Рыбинском районе Ярославской области как зимой, так и в весеннюю распутицу. На просмотр фильма приехало заводское начальство во главе с только что назначенным (20 мая 1954 года) директором завода А.Г. Крыловым. По окончании фильма в ошеломлении от увиденного, в тишине, раздался голос интеллигентнейшего Крылова: "...твою мать — это же заставят делать!" Характерная реплика для советского директора...

Против подкачки были не только большинство военных и гражданских чинов, но и А.А. Липгарт, к тому времени вернувшийся из ссылки и ставший главным конструктором НАМИ. Обращение В.А. Грачёва к коллегам ГАЗа, МАЗа, ЯАЗа с предложением совместно пробивать новшество не встретило понимания. Фильм показывали в технических управлениях Минавтопрома, Госплане СССР, у военных и даже в Совмине УССР. Однако одобрительного решения не было. И тогда В.А. Грачёв и Г.А. Матёров добились невероятного — показа подкачки на автомобилях ЗИС-151 и ЗИС-152 высшим чинам Минавтопрома

Сравнительные испытания проходимости автомобилей

Опытный образец 1955 г. — односкатный ЗИС-151 с системой подкачки колёс

СССР и Минобороны СССР. Мне довелось участвовать в этом показе.

Где-то в начале июня 1954 года, едва придя на работу, я был вызван к Г.А. Матёрову. Он сказал, чтобы я, взяв с собой болотные сапоги и плащ, ждал его в легковом "Крайслере" — мы поедем на Минское шоссе. Вместе со мной в "крайслере" оказался Володя Посадский, водитель из лаборатории испытаний трёхосных автомобилей, положивший в багажник пять или шесть пар новеньких болотных сапог. Когда поехали, Г.А. Матёров объяснил нам задачу: будет показ высокому начальству способности автомобилей, оснащённых подкачкой, двигаться по заболоченному грунту. Может быть, приедет маршал Г.К. Жуков, заместитель министра обороны СССР.

В. Посадскому предстояло предложить ему сапоги, а мне — провести к месту показа. Участок, где будет показ, находился от 41-го километра Минского шоссе метрах в трёхстах. Шёл мелкий противный дождичек. К назначенному времени Жуков не приехал, и гражданское начальство, в том числе А.Г. Крылов и заместитель министра автотракторной промышленности СССР К.В. Власов, только-только сменивший Крылова на этом посту, ушли к месту показа. На шоссе осталась лишь многочисленная группа генералов и офицеров, да мы с В. Посадским, диссонансом смотревшиеся в своих выцветших плащах и болотных сапогах на фоне золота военных мундиров.

Вскоре подъехал ЗИС-110 с Г.К. Жуковым. Генералы, подтянув животы, окружили его плотным кольцом и что-то ему докладывали. На предложение В. Посадского переобуться в сапоги Г.К. Жуков резко ответил: "Сапоги? Какие сапоги? Почему меня не предупредили? Что я — парень деревенский, чтобы обувать первые попавшиеся сапоги? Не буду переобуваться — пойду так!". А был он в ботинках. Предложив одному из генералов задержать маршала, пока за ним не приедет машина, я стремглав бросился через лес за ней. Мгновенно поняв ситуацию, Г.А. Матёров послал за Г.К. Жуковым бронетранспортёр ЗИС-152. На месте показа Г.К. Жуков отказался сесть в кабину и пожелал смотреть на действо из кузова ГАЗ-63. Белыми пухлыми пальцами генералы пытались открыть замки заднего борта, но, не умея это делать, лишь мешали друг другу. Одну сторону борта открыл через головы генералов высоченный солдат — водитель грузовика, а вторую — адъютант Жукова. Он молнией взлетел на платформу и подал маршалу руку, а генералы нежненько этак подталкивали его в попочку... Кроме Жукова в кузове ГАЗ-63 разместилось и другое начальство.

В показе участвовали: стандартные ЗИС-151 и ГАЗ-63, "липгартовская" трёхоска ЗИС-121Г, ЗИС-151 с подкачкой (прототип будущего ЗИЛ-157) и БТР ЗИС-152 с подкачкой. Начали показ с мягкой луговины. Первым по ней пошёл ЗИС-151. Он продвинулся метров на 4—5, нагрёб вал грунта перед передним мостом, забуксовал и сел. Вторым пустили прославленный ГАЗ-63. Пройдя метра на 3—4 дальше, он тоже нагрёб вал грунта, забуксовал и сел. На лицах военных — изумление и растерянность. Полковник П.И. Зарецкий из НИИ-21 попросил повторить заезд ГАЗ-63. Повторили — результат тот же. Затем пошла "липгартовская" трёхоска. Она прошла метров на 10—12 дальше и села при повороте. Прототип ЗИЛ-157 и БТР ЗИС-152 на этом участке показа двигались вперёд, назад, разворачивались, т. е. луговина не ограничивала их возможности движения по ней.

Далее показ продолжился на втором участке, грунт которого, покрытый травой, продавливался под ногами, и слегка проступала вода. На этом участке сел при повороте прототип ЗИЛ-157, а БТР ЗИС-152 двигался и маневрировал уверенно.

Третий участок — с высокой растительностью и водой чуть выше щиколотки. БТР медленно двигался вперёд. Подмятая корпусом трава открывала глазу водную гладь. Едва-едва начиналась пробуксовка колёс, опытнейший водитель Николай Царёв останавливал машину, сдавал осторожно назад и затем снова двигался вперёд. При этом я, стоявший рядом почти по колено в воде, чувствовал, как "дышит" подо мною грунт. Так, "утюжа" болото, БТР скрылся за кустарником.

Все были потрясены. Г.К. Жуков тут же предложил заводскому начальству к осенним армейским манёврам в Белоруссии сделать 25 таких бронетранспортёров. Что тут поднялось среди гражданского начальства, пытавшегося доказать, что это невозможно! Маршал отрезал: "...Или я сниму с ЗИСа весь заказ Министерства обороны!" Все смолкли. К осени 1954 года завод выпустил 20 штук БТР ЗИС-152В (с подкачкой).

Войсковые испытания автомобиля с централизованной системой подкачки колёс

Серийный ЗИЛ-157 с внутренней подводкой системы подкачки колёс

Так веское слово не специалиста, а зоркого и умного человека, мгновенно оценившего революционную значимость подкачки, решило её судьбу. После постановки в 1958 году на производство массового грузовика ЗИЛ-157 подкачку стали применять как на отечественных, так и на зарубежных автомобилях, предназначенных для езды по бездорожью.

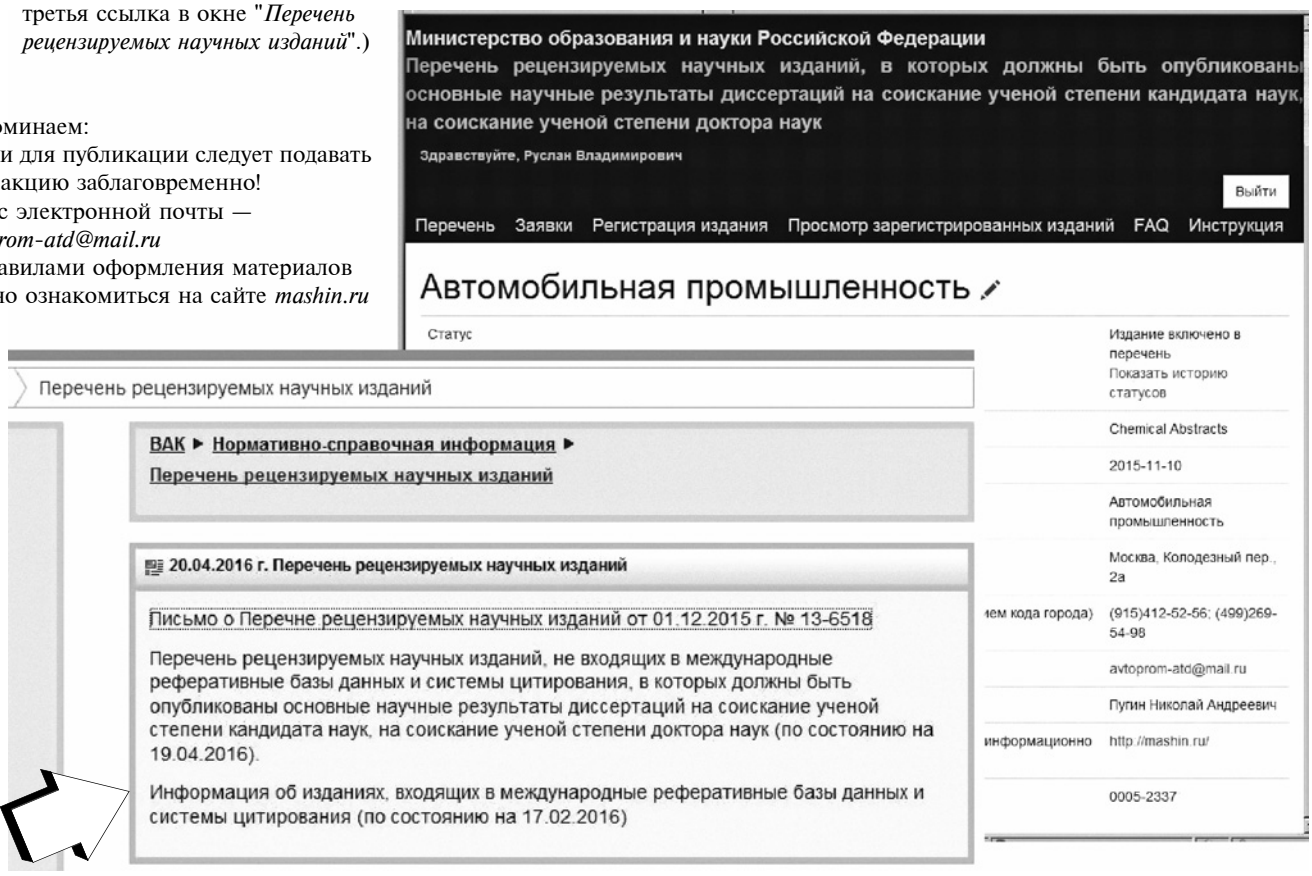
Приоритет ЗИЛа, таким образом, состоит не в изобретении подкачки — её изобрели американцы для автомобиля-амфибии, а в применении этого изобретения на сухопутных автомобилях. Позже, в 1957 году, конструкторы ЗИЛа Г.И. Праль и В.И. Машатин разработали схему подвода воздуха к шине не снаружи через штангу, а изнутри, через цапфу ступицы, и надобность в штанге отпала. Подкачка будет жить столько, сколько будет сохраняться потребность в езде по бездорожью дешёвым способом: колёсный движитель дешевле гусеничного. Но хотелось бы, чтобы в истории автомобиля сохранились имена инициаторов внедрения и разработчиков первой отечественной системы регулирования давления воздуха в шинах колёс сухопутного автомобиля на ходу. Это "зиловцы" Владимир Борисович Лаврентьев, Виталий Андреевич Грачёв, Георгий Алексеевич Матёров, Леонид Павлович Дажин, Николай Емельянович Каледин, Герман Иванович Праль, Владимир Игнатьевич Машатин, шинник П. Левин, а также маршал Советского Союза Георгий Константинович Жуков.

Уважаемые авторы и читатели!

Редакция и редакционная коллегия сообщают: научно-технический журнал "АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ" успешно прошёл аккредитацию в ВАК для публикации работ соискателей учёных степеней.

(См. *http://vak.ed.gov.ru/87*, третья ссылка в окне "*Перечень рецензируемых научных изданий*".)

Напоминаем:
статьи для публикации следует подавать в редакцию заблаговременно!
Адрес электронной почты — *avtoprom-atd@mail.ru*
С правилами оформления материалов можно ознакомиться на сайте *mashin.ru*



Содержание

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Шипилевский Г.Б. — О принципах подготовки специалистов для отрасли автомобиле- и тракторостроения 1

Загарин Д.А. — Метод математического описания динамически сбалансированной структуры малых промышленных предприятий при создании и производстве тракторов и автомобилей 5

АСМ-факты 9

КОНСТРУКЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Кривцов С.Н. — Методический подход к формированию динамической модели дизельного автомобиля с аккумуляторной топливоподающей системой 10

Вальехо Мальдонадо П.Р., Трифонов В.Л., Марков В.А. — Показатели динамики процесса сгорания в дизеле и газодизеле 15

Дубин А.Е., Нестеров В.Е. — Основы расчёта нагнетательных комплексов для амфибийных транспортных средств на воздушной подушке с многокамерными гибкими ограждениями Ж. Бертена . . . 19

Хортов В.П., Скворцов А.А., Зуев С.М. — Высоковольтные системы пуска двигателей внутреннего сгорания 24

ЭКСПЛУАТАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС АТС

Жималин А.В. — Обоснование ступенчатого регулирования наработки до технического обслуживания по мере выработки ресурса автомобилей . . . 27

ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ

В.Г. Михайлов — *"Matlab/Simulink":* моделирование микропрофиля дороги и внешних возмущений 30

ИНФОРМАЦИЯ

Из истории отечественного автомобилестроения

Мрост Ю.Н. — История одного приоритета (о "подкачке") 34

Главный редактор Н. А. ПУГИН

Зам. главного редактора Р.В. Козырев

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Балабин И.В. — *д-р техн. наук, профессор Университета машиностроения (МАМИ)*
Бахмутов С.В. — *д-р техн. наук, зам. директора по научной работе ГНЦ "НАМИ"*
Гируцкий О.И. — *д-р техн. наук, профессор, зам. председателя Экспертного совета НАМИ*
Гладков В.И. — *канд. техн. наук, зам. генерального директора по научной работе ОАО "НИИТавтопром"*
Ковригин А.С. — *зам. генерального директора ОАО "АСМ-холдинг"*
Коровкин И.А. — *исполнительный директор НП "ОАР"*
Круглов С.М. — *зам. генерального директора ОАО "НИИТавтопром"*
Ксеневич Т.И. — *канд. физ.-мат. наук, МГТУ имени Н.Э. Баумана, НИЦ "Русаен"*
Мамити Г.И. — *д-р техн. наук, профессор Горского Агроуниверситета (Владикавказ)*
Марков В.А. — *д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана*
Николаенко А.В. — *д-р экон. наук, ректор Университета машиностроения (МАМИ)*
Никульников Э.Н. — *канд. техн. наук, НИЦИАМТ ГНЦ "НАМИ"*
Сорокин Н.Т. — *д-р экон. наук, директор ФГБНУ ВНИМС ФАНО России*
Тер-Мкртичьян Г.Г. — *д-р техн. наук, ГНЦ "НАМИ"*
Титков А.И. — *канд. техн. наук, эксперт аналитического центра ОАО "АСМ-холдинг"*
Топалиди В.А. — *канд. техн. наук, ТАДИ*
Филимонов В.Н. — *ответственный секретарь "АП"*
Чернов А.В. — *зам. директора по научной работе НИИАЭ*

Белорусский редакционный совет:

Альгин В.Б. — *д-р техн. наук, профессор, заместитель директора по научной работе ОИМ НАН Беларуси*
Егоров А.Н. — *генеральный конструктор — начальник НТЦ ПО "БелАЗ"*
Захарик А.М. — *канд. техн. наук, технический директор РУП "МАЗ"*
Кухаренок Г.М. — *д-р техн. наук, профессор БНТУ*
Мариев П.Л. — *д-р техн. наук, директор НТЦ "Карьерная техника" ОИМ НАН Беларуси*
Николаев Ю.И. — *главный конструктор ОАО "МЗКТ"*
Сазонов И.С. — *д-р техн. наук, проф., ректор Болорусско-российского университета (Могилёв)*
Харитончик С.В. — *д-р техн. наук, доцент БНТУ (Минск)*

Информационный партнёр АНО "НИЦ "Русаен"

Технический редактор *Шацкая Т.А.*
Корректор *Сажина Л.И.*
Сдано в набор 05.09.2016. Подписано в печать 04.10.2016.
Формат 60×88 1/8. Усл. печ. л. 4,9. Бумага офсетная.
Отпечатано в ООО "Канцлер".
150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.
Оригинал-макет: ООО "Адвансед солюшнз".
119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: **www.aov.ru**

ООО "Издательство "Инновационное машиностроение"
Адрес издательства и редакции: 107076, Москва, Колодезный пер., 2а, стр. 2
Телефоны: (915) 412-52-56 и (499) 269-54-98; (495) 785-60-69 (реклама и реализация)
E-mail: avtoprom-atd@mail.ru
www.mashin.ru

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № 77-7184
Цена свободная.
Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней.

За содержание рекламных объявлений ответственность несет рекламодатель.
Перепечатка материалов из журнала "Автомобильная промышленность" возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией; ссылка — обязательна.