

РЕГУЛИРОВАНИЕ ДИЗЕЛЯ МЕТОДОМ ОТКЛЮЧЕНИЯ–ВКЛЮЧЕНИЯ ЦИЛИНДРОВ ИЛИ ЦИКЛОВ

Н.Н. Патрахальцев, д.т.н., проф.;
С.В. Страшнов, асп.; Б.А. Корнев, асп.; И.С. Мельник, асп.
Российский университет дружбы народов

Приводится анализ возможностей регулирования дизелей путем отключения–включения группы или отдельных цилиндров или циклов. Метод реализуется для повышения экономичности режимов малых нагрузок и холостых ходов, обеспечения устойчивости работы дизеля с потребителем на режимах малых нагрузок, улучшения динамических показателей неустойчившихся режимов работы, расширения возможности эффективного применения альтернативных топлив в дизелях, особенно низкоцетановых.

Применение метода отключения цилиндров широко известно для повышения экономичности режимов малых нагрузок и холостых ходов ДВС, в том числе дизелей. Причем в простейшем случае, но и с меньшей эффективностью, применяется отключение части цилиндров без использования более сложных систем отключения газообмена в отключаемых цилиндрах. Недостатком большинства известных систем отключения подачи топлива в цилиндры является отключение всегда одного и того же числа цилиндров, причем одних и тех же. Дело в том, что при длительной работе дизеля с одними и теми же отключенными цилиндрами происходит выброс смазочного масла в камеру сгорания и в выпускной коллектор. Продолжительное применение таких средств на двигателях со свободным газотурбинным наддувом может приводить к настолько существенному накоплению масла в выпускном коллекторе, что при последующем приеме полной нагрузки его выгорание и выброс в газовую турбину может приводить к разрушению (разносу) лопаточной машины — турбины (что доказано проф. В. Р. Гальговским и др.).

У двухтактных судовых дизелей, имеющих наклон оси вала в корму, длительное время работавших с частью отключенных цилиндров, а затем (после непродолжительной остановки двигателя) запущенных в работу на всех цилиндрах известны случаи гидравлического удара на такте сжатия с разрушением кривошипно-шатунного

механизма и цилиндра. Причиной гидравлического удара является масло, накопившееся в выпускном коллекторе, а затем попавшее в последний цилиндр.

Кроме того, продолжительная работа с частью выключенных цилиндров приводит к их охлаждению, а последующее включение при полной нагрузке — к термическим перегрузкам поршней, снижению экономичности и т. д.

Следует отметить, что в системах с механическим регулятором частоты вращения переходные процессы выключения и включения цилиндров с помощью указанных устройств протекают далеко не мгновенно, что ухудшает динамические характеристики двигателя с таким регулированием. Работа на границе начала включения–выключения цилиндра сопровождается провалами или забросами частоты вращения, неустойчивостью поддерживаемого режима, колебаниями частоты вращения.

Эффект повышения экономичности работы дизеля на малых нагрузках отключением части цилиндров зависит от их числа, т. е. эффект повышается, если удастся отключать разное число цилиндров, зависящее от режима работы двигателя.

Возможность отключения разного числа цилиндров, причем, на разное время работы, вплоть до одного цикла, может идеально реализовываться в системах топливоподачи, например, типа common rail с электронным регулированием. На дизелях с топливными системами разделенного типа отключение разного количества цилиндров на разное время, вплоть до отдельных циклов, возможно с помощью системы отключения цилиндров или циклов (СОЦЦ), сочетающей гидродинамическое открытие клапана слива топлива из линии высокого давления и электронного управления этими отключениями–включениями [1–3]. Схема выключателя подачи топлива как элемента системы отключения цилиндров или циклов и его работа показана на рис. 1.

При подаче напряжения на электромагнитную катушку 5 якорь 6 притягивается ею, а связанный с ним шток 10 нажимает на клапан регулирования начального давления (РНД) 12 [4]. Но клапан 12

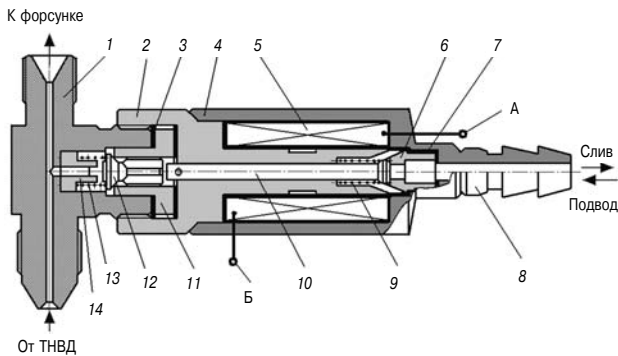


Рис. 1. Конструкция отключателя цилиндров или циклов: 1 — корпус отключателя; 2 — корпус электромагнитного привода; 3 — прокладка; 4 — крышка; 5 — электромагнитная катушка; 6 — якорь; 7 — гильза (стакан); 8 — штуцер слива-подвода топлива; 9 — пружина якоря; 10 — шток; 11 — седло обратного клапана (клапана регулирования начального давления — РНД); 12 — обратный клапан РНД; 13 — возвратная пружина клапана; 14 — ограничитель хода клапана РНД; А — плюсовой вывод катушки; Б — минусовый вывод катушки

не может открыться, пока на него действует повышенное давление со стороны линии высокого давления (ЛВД). Когда же к клапану РНД 12 подойдет волна разрежения, сформированная при отсечке подачи топлива и посадке нагнетательного клапана ТНВД в седло, тогда клапан РНД 12 откроется. Далее электромагнитная катушка 5 будет удерживать его в открытом положении, так как перепад давления на клапане при стравливания топлива через него при нагнетательном ходе плунжера не столь велик, чтобы преодолеть силу удержания клапана магнитом. Закрытие клапана РНД 12 произойдет лишь после того, как с электромагнитной катушки 13 будет снято напряжение.

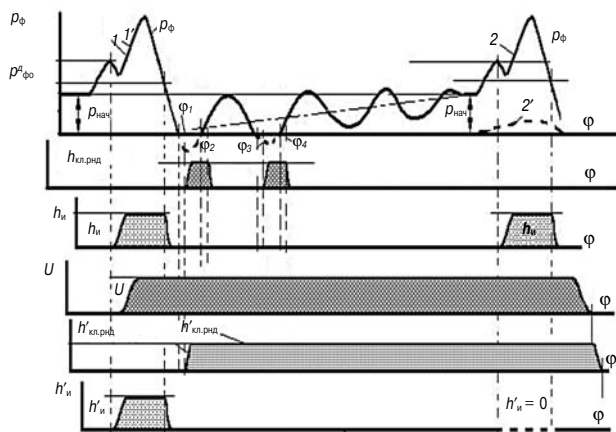


Рис. 2. Осциллограммы, разъясняющие работу системы отключения цилиндра или цикла:

p_ϕ , $p^d_{\phi,0}$ — давление топлива в штуцере форсунки, динамическое давление начала подъема иглы форсунки; $h_{кл.РНД}$, $h'_{кл.РНД}$ — ход клапана РНД при подаче топлива и при отключении подачи; $h_{и}$, $h'_{и}$ — ход иглы форсунки при нормальной работе и при отключении подачи; U — напряжение на катушку отключателя

Схемы осциллограмм, объясняющих работу СОЦ, показаны на рис. 2. Осциллограммы последовательных циклов 1 и 2 изменения давления у форсунки p_ϕ показывают работу системы топливоподачи без отключения цилиндра. При этом клапан РНД работает как клапан подачи дополнительного дизельного топлива или другой добавки в ЛВД для повышения и стабилизации начального давления ($p_{нач}$) или для воздействия на протекание рабочего процесса добавкой альтернативного топлива в дизельное.

При нормальной работе системы клапан РНД 12 открывается, когда в ЛВД пробегают волны пониженного давления-разрежения ($\phi_1-\phi_2$, $\phi_3-\phi_4$ и т. д.). При отключении цилиндра, когда перед или во время цикла 1' на электромагнитную катушку подано напряжение U , клапан РНД 12 открывается за счет перепада давления на нем и затем удерживается в открытом положении с помощью электромагнитной катушки 5.

В момент ϕ_1 клапан РНД 12 начинает открываться (осциллограмма $h_{кл.РНД}$), а в момент ϕ_2 — начинает закрываться. За это время он пропускает в ЛВД добавку дизельного топлива (для повышения начального давления $p_{нач}$) или другого вещества (например, альтернативного топлива). Затем процесс повторяется в моменты ϕ_3 и ϕ_4 . Осциллограммы $h_{и}$ показывают подъем иглы форсунки в циклах 1 и 2. Если в какой-то момент после начала открытия иглы форсунки подать на электромагнитную катушку 5 напряжение U , то произойдет подъем клапана РНД 12 ($h'_{кл.РНД}$), но он останется в открытом положении, пока подается напряжение U на катушку 5 электромагнита отключателя. В этом случае после первого цикла топливоподачи (цикл 1) новый цикл впрыскивания не состоится (пунктирная линия 2' изменения p_ϕ), так как топливо, подаваемое насосом высокого давления, стравливается в линию низкого давления. Игла форсунки не поднимается (пунктирная линия $h'_{и} = 0$). И лишь после снятия напряжения U клапан 12 закроется и система будет готова к новым циклам впрыскивания топлива в цилиндр.

При испытаниях было определено, что клапан СОЦ полностью сохраняет свою работоспособность при снижении напряжения на электромагнитной катушке 5 с 24 до 10 В, что свидетельствует о возможности дальнейшего совершенствования электромагнитного привода по габаритам и потребляемой энергии. Время открытия обратного клапана при напряжении на катушке электромагнита 24 В и отсутствии противодействия со стороны ЛВД равно 15 мс, что вполне достаточно для отключения подачи топлива через один цикл на всех возможных для данного дизеля скоростных режимах. Для неко-

торых видов топливных систем, отличающихся повышенным остаточным давлением в ЛВД, для обеспечения работоспособности клапана РНД 12 приходится увеличивать разгрузочный объем нагнетательного клапана ТНВД и(или) длину трубопровода ЛВД, и(или) уменьшать давление начала подъема иглы форсунки (что может быть целесообразным при вводе в дизельное топливо в ЛВД легких фракций различных альтернативных топлив).

Система управления выключателями позволяет выключать разное количество цилиндров, в разном сочетании их номеров, на разную продолжительность выключенного или включенного состояния, вплоть до одного цикла.

Испытания системы проводились на дизелях типа ЯМЗ-238, ЯМЗ-8401, КамАЗ-740, В-31, 12ЧН15/18, Д-240, Perkins и Ricardo для подтверждения ее работоспособности, а также для выявления возможной экономии топлива при работе на частичных нагрузках и установившихся режимах [5–9]. Результаты испытаний показали, что, например, на 12-цилиндровом дизеле ЯМЗ-8401 при работе на холостом ходе в диапазоне частоты вращения от номинальной до минимальной с числом работающих цилиндров от 4 до 6 достигнута экономия от 5 до 18 % топлива. При работе на трех цилиндрах с частотами вращения от 1500 до 500 об/мин экономия топлива составила 13–27 %; при работе дизеля В-31 на минимальной частоте вращения и холостом ходе экономия достигала 21–28 %.

Во время испытаний дизеля 12ЧН15/18 с данной системой отключения цилиндров исследованы показатели вибрации дизеля. Показано, что применение метода лишь незначительно сказывается на этих показателях.

Подтверждение возможности поциклового управления отключением–включением цилиндров проведено в работах [10–12] и представлено на рис. 3.

Во всех указанных случаях режим холостого хода устанавливался при разных положениях рейки ТНВД, что определялось количеством работающих цилиндров. Однако наибольший эффект от повышения качества топливоподачи в работающих цилиндрах достигается при положении рейки, соответствующем 90–100 % от номинальной цикловой подачи топлива. В этом случае режимы холостого хода или малых нагрузок достигаются реализацией режимов разгонов–выбегов путем выключения–включения цилиндров и поддержанием средней частоты вращения в допустимых пределах неравномерности. Высокое быстродействие СОЦЦ позволяет перейти от «реечного» к «безреечному» регулированию дизеля (иначе говоря, к регулированию

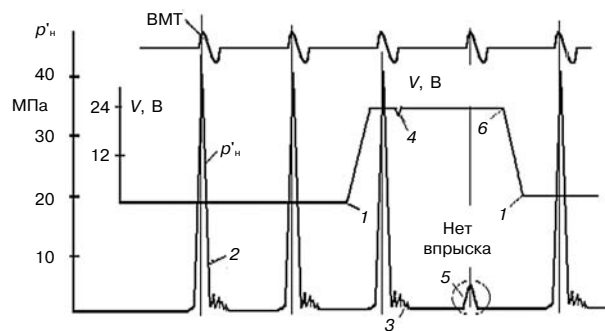


Рис. 3. Осциллограмма процесса отключения–включения одного цилиндра на один цикл работы дизеля 8ЧН13/14 при $n = 1200$ об/мин:

p'_n — давление топлива в штуцере ТНВД; V — напряжение на электромагнитной катушке; 1 — моменты начала подачи напряжения V на электромагнитную катушку и окончания снятия этого напряжения; 2 — осциллограмма изменения давления топлива в штуцере топливного насоса; 3 — волновой процесс в ЛВД после отсечки подачи топлива и посадки нагнетательного клапана ТНВД в седло; 4 — момент открытия клапана РНД отключателя цилиндра; 5 — давление топлива в штуцере ТНВД при отсутствии впрыскивания, т. е. при сливе топлива в линию низкого давления; 6 — момент начала снятия напряжения с электромагнитной катушки

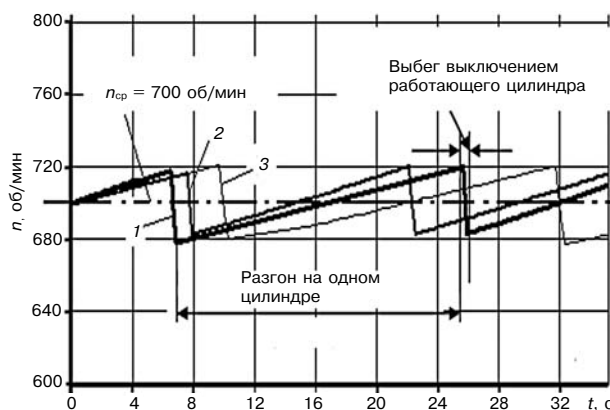


Рис. 4. Характер изменения частоты вращения n при поддержании режима $n_{ср} = 700 \pm 20$ об/мин с нагрузкой M_c , равной 20,2 Н·м (т. е. около 6 % от M_e полноразмерного дизеля при той же частоте с полной подачей топлива), отключением–включением одного цилиндра, работающего с полной подачей топлива (дизель 6Ч11/12,5) на установках с разными моментами инерции:

1–3 — моменты инерции $I_{уст}$ соответственно 9, 7 и 5 Н·м·с²

дизеля изменением его рабочего объема). Пример поддержания режимов малой нагрузки отключением–включением одного цилиндра, работающего с полной подачей топлива (при отключенных остальных цилиндрах), показан на рис. 4.

Показана сама возможность реализации такого, условно говоря, «установившегося» режима с заданной нестабильностью частоты вращения. По-существу — чередованием режимов разгонов–выбегов в пределах заданной нестабильности частоты вращения. Этот режим малой нагрузки при всех работающих цилиндрах достигается

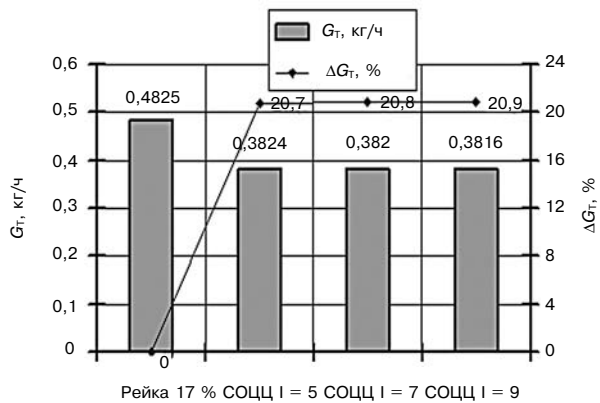


Рис. 5. Часовые расходы топлива G_T и выигрыши в расходе ΔG_T на режиме $n_{cp} = 700 \pm 20$ об/мин, $M_c = 20,2$ Н·м и регулировании рейкой ($h_p = 17\%$) или с помощью СОЦЦ — отключением—включением одного цилиндра при остальных выключенных ($M_e 1ц = 22,1$ Н·м) при моментах инерции $I_{ст} = 5; 7$ или 9 Н·м² (дизель 6Ч11/12,5)

при положении рейки ТНВД порядка 17 % от полного. Сравнение реализаций этого режима работы дизеля при традиционном и «безречном» регулировании (рис. 5) свидетельствует о возможности повышения экономичности режима более чем на 20 % при «безречном» регулировании. Относительный выигрыш в расходе топлива при работе дизеля с СОЦЦ определяется по соотношению: $DG_T = (G_T^h - G_T^{СОЦЦ})100/G_T^h$, где G_T^h и $G_T^{СОЦЦ}$ — соответственно часовые расходы топлива при регулировании дизеля с помощью рейки ТНВД (h_p) или отключением—включением цилиндра (цилиндров) (СОЦЦ).

Очевидно, что с точки зрения выполняемой работы при реализации режимов разгонов—выбегов изменение момента инерции установки практически не влияет на достижимое повышение экономичности. Однако при разных моментах инерции меняется возможность поддержания заданной нестабильности частоты вращения, в разной степени проявляются влияния переходных процессов в дизеле и его системах на выходные показатели, что в некоторой степени меняет достижимый экономический эффект.

Высокое быстродействие СОЦЦ (практически укладываемое во время между циклами топливоподачи) позволило повысить динамические качества дизеля. Этот эффект достигается устранением переходных процессов срабатывания механического регулятора частоты вращения, времени смещения рейки ТНВД (рис. 6). Так, показано, что время выбега ($t_2^{выб}$) от угловой скорости $\omega = 150$ с⁻¹ до $\omega = 50$ с⁻¹ дизеля 6Ч15/18 при выключении подачи топлива с помощью рейки (смещение рейки от положения $h_{p,xx}$ до $h_p = 0$ за время $\Delta t_1' = 0,5$ с) составляет 7,95 с. Такой же выбег после отключения всех цилиндров

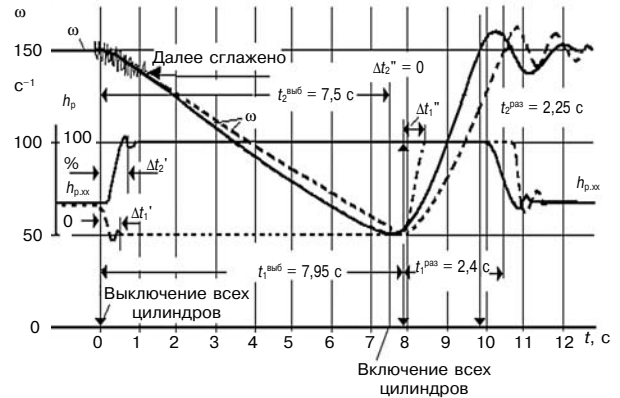


Рис. 6. Сравнение протекания достоверных режимов (пятикратные реализации одного и того же режима с последующей статистической обработкой) выбег—разгон дизеля 6Ч15/18 при регулировании рейкой ТНВД (пунктирные линии, 1) и при регулировании отключением—включением всех цилиндров (сплошные линии, 2)

($t_2^{выб}$) сократился до 7,5 с, т. е. на 5,7 %. Это произошло благодаря тому, что время выключения всех цилиндров составляет около 0,08 с, что существенно меньше времени выключения подачи топлива рейкой.

Время разгона ($t_1^{раз}$) от угловой скорости $\omega = 50$ с⁻¹ до $\omega = 150$ с⁻¹ при включении подачи топлива с помощью рейки (смещение рейки от положения $h_p = 0$ до $h_p = 100\%$ произошло за время $\Delta t_1'' = 0,6$ с) составляет 2,4 с. Такой же разгон сразу после включения всех цилиндров ($t_2^{раз}$) сократился до 2,25 с, т. е. на 6,3 %. Это произошло потому, что время включения всех цилиндров составляет около 0,25 с, что меньше времени включения полной подачи топлива рейкой.

Следует отметить, что выключение всех цилиндров и следующее за ним снижение частоты вращения вала приводит к срабатыванию регулятора частоты, который за время $\Delta t_2'$ выводит рейку ТНВД в положение полной подачи. Очевидно, что это время никак не влияет на динамику выбега. В то же время ТНВД подготовлен (без задержки, т. е. $\Delta t_2'' = 0$) к полной подаче топлива в момент включения ранее выключенных цилиндров.

Добавим, что устранение переходного процесса в топливной системе при включении выключенных цилиндров (т. е. использование системы с регулированием начального давления — РНД) позволяет повысить динамические показатели тех же режимов уже на 8,7 % по сравнению с исходным вариантом с речным регулированием.

Безречное регулирование, т. е. регулирование выключением—включением цилиндров или циклов, особенно при положении рейки постоянном и равном 100 % цикловой подачи позволяет снизить токсичность выбросов дизеля благодаря устранению режимов работы с частичными



Рис. 7. Систематизация целей и задач, решаемых с помощью рассматриваемого метода и реализующих его средств

подачами топлива, устранению переохлаждения цилиндров, поддержанию высокого качества распыливания топлива и т. д. Отключение части цилиндров повышает температуру ОГ работающих цилиндров, причем достигается температура, необходимая для протекания каталитического дожигания в нейтрализаторе ОГ.

Применение СОЦЦ целесообразно для регулирования дизеля, использующего различные альтернативные топлива и присадки как добавки к основному дизельному. Здесь имеется в виду реализация циклов с вводом добавок через клапан РНД [13, 14] вблизи форсунки. Дело в том, что во многих системах топливоподачи со снижением нагрузки и(или) частоты вращения происходит снижение остаточного давления топлива в ЛВД, а в результате возрастает величина добавки, вводимой через клапан РНД в дизельное топливо (в простейшем варианте выполнения, т. е. при отсутствии дополнительных средств управления клапаном РНД). Поскольку многие альтернативные топлива (АТ), например спирты, сжиженный пропан-бутан, дешевые низкооктановые бензины и т. д., имеют низкие цетановые числа, низкие качества самовоспламеняемости, то у дизелей с речным регулированием приходится выключать ввод АТ на режимах малых нагрузок и холостых ходов. Используя СОЦЦ, в оставшихся работающих цилиндрах сохраняются высокая нагрузка и повышенное тепловое состояние, чем сохраняется возможность использовать АТ даже на режимах малых нагрузок и холостых ходов дизеля. Благодаря этому повышается средний процент замещения дизельного топлива альтернативным, снижается токсичность

выбросов, что показано в работе [14] на примере реализации тринадцатиступенчатого испытательного цикла дизеля.

Ранее было показано, что применение метода отключения цилиндров или циклов целесообразно, если число цилиндров дизеля равно или превышает шесть. Однако с помощью предлагаемой СОЦЦ значительные эффекты достигаются и на четырехцилиндровом дизеле. При этом поддержание режимов с постоянной частотой вращения при низкой, вплоть до нулевой, внешней нагрузке достигается чередованием режимов разгонов–выбегов дизеля, в пределе — разгонов на одном цилиндре и выбегов при всех выключенных цилиндрах. Таким образом, с такой системой ТНВД превращается в насос с постоянной, причем номинальной производительностью. Характеристики впрыскивания зависят лишь от частоты вращения (и не зависят от величины геометрической цикловой подачи ввиду ее постоянства).

В конечном итоге, систематизация целей и задач, которые могут решаться с помощью метода и реализующих его средств отключения цилиндров или циклов, показана на рис. 7.

Таким образом, предлагаемые средства регулирования дизеля изменением числа работающих цилиндров или циклов могут послужить делу дальнейшего повышения экономических, экологических и других эксплуатационных качеств современных дизелей.

Литература

1. А. с. 1694955 А1 СССР, кл. F 02 D 17/02, F 02 M 63/02. Топливная система дизеля с отключением цилиндров / Н.Н. Патрахальцев, И.Ю. Олесов, О.В. Камышников и др. (СССР). № 4700190/06, заявлено 05.06.89, опубл. 30.11.91. Бюл. № 44.
2. А. с. 1694956 СССР, кл. F 02 D 17/02, F 02 M 63/02. Топливная система дизеля с отключаемыми цилиндрами / Н.Н. Патрахальцев, И.Ю. Олесов, В.А. Зудин и др. (СССР). № 4700251/06, заявлено 05.06.89, опубл. 30.11.91. Бюл. № 44.
3. Горбунов В.В., Олесов И.Ю. Отключатели цилиндров и циклов дизеля // Грузовик &.... — 1999. — № 9. — С. 26–29.
4. Патрахальцев Н.Н. Дизельные системы топливоподачи с регулированием начального давления // Двигателестроение. — 1980. — № 10. — С. 33–38.
5. Зиняев А.Б., Корнилов Г.С., Патрахальцев Н.Н. и др. Возможности повышения топливной экономичности дизелей типа ЯМЗ-238 отключением цилиндров и циклов // Двигателестроение. — 1991. — № 3. — С. 39–41.
6. Валеев Д.Х., Гергенредер В.А., Олесов И.Ю., Патрахальцев Н.Н. Возможности улучшения экономических и экологических свойств дизелей КамАЗ-740 отключением цилиндров и циклов на режимах холостых

ходов и малых нагрузок // Двигателестроение. — 1991. — № 8, 9. — С. 62–69.

7. Патрахальцев, Н.Н., Эммиль М.В., Козлов В.И. Экспериментальное исследование дизеля В-31, оснащенного системой отключения цилиндров // Вестник РУДН. — 2004. — № 1. — С. 34–37.

8. Козлов В.И. Патрахальцев, Н.Н., Эммиль М.В. Повышение топливной экономичности дизелей применением системы отключения цилиндров и циклов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2008. — № 3. — С. 28–32.

9. Patrakhaltsev, N.N. Mejoramiento de las cualidades economicas y ecologicas de los motores diesel de uso motriz mediante del sistema de desconexion de los cilindros y cyclos // Revista. — Tecnocientifica. — Tecnia. — Peru. — 1992. — P. 13–24.

10. А. с. 1839522 СССР, кл. F 02 M 55/00, F 02 D 17/00. Дизельный двигатель с системой регулирования

режима работы / Н.Н. Патрахальцев, В.В. Карницкий, Д.Х. Валеев и др. (СССР). № 4676084/31-06, заявлено 07.04.89. опубл. 30.12.93. Бюл. № 32.

11. Патрахальцев, Н.Н. Вальдеррама А., Градос Х. От отключения цилиндров — к отключению циклов // Автомобильная промышленность. — 1995. — № 11. — С. 23–24.

12. Patrakhaltsev, N.N. Valderrama A. Romero. Aumento de la eficiencia de los motores diesel automotrises mediante la desconexion de cilindros y cyclos // Сб. докладов COBEM/CIDIM. — 1995. — Peru. — Lima. — P. 21–25.

13. Патрахальцев, Н.Н., Соколов И.А., Казаков С.А. Совершенствование пусковых и динамических характеристик дизеля в условиях низких температур окружающего воздуха // Двигателестроение. — 2009. — № 3. — С. 32–36.

14. Патрахальцев, Н.Н. Неуставившиеся режимы работы ДВС. (Монография) — М.: РУДН, 2009. — 330 с.

ЮБИЛЕЙ!



Леониду Алексеевичу Конопелько 70 лет

5 сентября 2011 года исполнилось 70 лет доктору технических наук, профессору, руководителю научно-исследовательского отдела государственных эталонов в области физико-химических измерений ВНИИМ им. Д.И. Менделеева Леониду Алексеевичу Конопелько.

Конопелько Л.А. родился в 1941 г. в Сталинграде. После окончания Ленинградского института точной механики и оптики в 1967 г. поступил на работу во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, в котором плодотворно работает и в настоящее время.

Вся его научная, профессиональная, преподавательская и общественная деятельность связана с развитием методов химико-аналитических измерений, обеспечением единства измерений, созданием и развитием экологического приборостроения в РФ.

Профессиональный и научный авторитет Л.А. Конопелько получил самое высокое национальное и международное признание специалистов метрологических институтов промышленно развитых стран (США, Германия, Франция, Англия, Корея, Японии и др.), а также Международного комитета мер и весов.

Под его руководством создана уникальная национальная аппаратурно-методическая база для обеспечения испытаний, калибровки, поверки, производства эталонных материалов для всех основных типов химико-аналитических и автоматических газоаналитических приборов.

Из весьма впечатляющего перечня официальных должностей и званий Л.А. Конопелько можно назвать следующие: академик, член президиума Метрологической академии РФ; ученый-хранитель Государственного эталона единицы молярной доли и массовой концентрации компонентов в газовых средах; эксперт-аудитор Росстандарта России в системе аккредитации аналитических лабораторий (центров) и в системе сертификации ГОСТ Р по химической продукции; председатель ТК 1.8 «Физико-химия» КОOMET (Евразийское содружество государственных метрологических организаций); главный метролог Комитета по здравоохранению Администрации Санкт-Петербурга; заведующий кафедрой «Экологическое приборостроение и мониторинг» Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий механики и оптики и другие.

Под руководством Л.А. Конопелько было подготовлено и защищено 8 кандидатских диссертаций, он является автором более 280 научных работ.

За многолетнюю плодотворную, профессиональную и научную деятельность Л.А. Конопелько награжден орденом «За заслуги перед Отечеством» II степени; почетными знаками «За заслуги в стандартизации», «Заслуженный метролог РФ»; является лауреатом премии Правительства РФ 2000 г. в области науки и техники.

Редакция научно-технического журнала «Двигателестроение» и научно-техническая общественность отрасли поздравляют Леонида Алексеевича Конопелько с юбилеем, желают долгих лет плодотворной и успешной научной деятельности и выражают ему искреннюю благодарность за сотрудничество в области развития химико-аналитических измерений в двигателестроении.