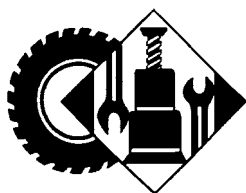


нью транспортного средства, но также за счёт экранирования межзвеньевого пространства. Это позволит улучшить общую картину обтекания машины и уменьшить сопротивление участков гусеничной цепи расположенных вблизи межзвеньевого пространства. С увеличением скорости движения растёт сопротивление воды, создаваемое элементами ходовой части машины. Уменьшения его можно достичь, например, за счёт установки экранов гусеничных обводов водоходных движителей. Полученные безразмерные коэффициенты позволяют рассчитывать полное сопротивление воды

для амфибийных двухзвенных гусеничных транспортных средств разной массы с учётом их конструктивных элементов на глубокой воде.

#### Литература

1. Осколков К.В. Первые отечественные сочленённые гусеничные машины — двухзвенные транспортёры "Витязь", г. Уфа. Издательство "Слово", 2005. — 280 с.
2. Котиев Г.О. Комплексное поддресоривание двухзвенных гусеничных машин / Г.О. Котиев, Е.Б. Сарач. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. — 184 с.
3. Степанов А.П. Проектирование амфибийных машин / А.П. Сепанов. — М.: Мегалион, 2007. — 420 с.



## ЭКСПЛУАТАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС АТС

УДК 629.114.2

### ТЕСТОВАЯ ДИАГНОСТИКА — НОВЫЙ УРОВЕНЬ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИЙ

Кандидаты техн. наук **АНТИПЕНКО Г.Л.,**  
**СУДАКОВА В.А., ШАМБАЛОВА М.Г.**  
Белорусско-Российский университет  
(veronia111@yandex.ru)

*Проводится обоснование необходимости проведения тестовой диагностики в процессе эксплуатации. Описаны алгоритмы диагностирования, основанные на анализе относительных угловых перемещений ведущего и ведомого валов импульсным способом. Предложены виды тестовых воздействий, позволяющие отслеживать техническое состояние фрикционных муфт и зубчатых колёс гидромеханических трансмиссий.*

**Ключевые слова:** тестовая диагностика, гидромеханическая трансмиссия, фрикционные муфты, зубчатые колёса, локальный дефект, кинематическая погрешность, относительные угловые перемещения, импульсный способ.

### Antipenko L.G., Sudakova V.A., Shambalova M.G. TEST DIAGNOSTICS IS A NEW LEVEL OF CONTROL OF TECHNICAL CONDITION OF HYDRO-MECHANICAL TRANSMISSIONS

*The article is justification of the necessity of the test diagnostic operation. The described diagnostic algorithms based on analysis of the relative angular displacements of the driving and driven shafts pulsed manner. The proposed types of test actions, allowing to monitor the technical condition of the clutches, gears of hydromechanical transmissions.*

**Keywords:** diagnostic test, hydromechanical transmission, clutch, gears, premises defect, the kinematic error, the relative angular displacement of the pulse method.

Автомобили с гидромеханическими трансмиссиями (ГМТ), будь то легковые или карьерные, обладают существенно более высокими потребительскими качествами, чем аналогичные автотранспортные средства с трансмиссиями механическими. Но за это приходится

расплачиваться большей сложностью конструкции и, как следствие, меньшей надёжностью в эксплуатации. Снижение надёжности можно компенсировать быстротой восстановления работоспособности машины при возникновении неисправности. А для этого в первую очередь необходим мониторинг технического состояния, чтобы при выходе параметров за пределы допустимых значений быстро и точно установить причину, локализовать дефект и устранить опасность для дальнейшей эксплуатации.

Современные автомобили с ГМТ оснащаются бортовыми системами управления с функцией диагностики технического состояния, но, как правило, лишь элементов самой системы управления, систем двигателя, электрооборудования и тормозов. Что касается ГМТ, то производители снабжают их собственной встроенной системой диагностики, которая контролирует исправность электрических цепей и элементов управления трансмиссией.

Что же представляют собой системы контроля ГМТ? Это системы функциональной диагностики, которые отслеживают изменения параметров и выдают соответствующий код ошибки, который сохраняется в памяти бортового компьютера (электронного блока управления) с выдачей сообщения на панель управления. Это может быть сообщение о появлении какого-либо дефекта или сообщение о нарушении правильности функционирования, неизвестно чем вызванном. Если код соответствует постоянной неисправности, т.е. проявляющийся постоянно, пока её не устранят, его называют активным кодом (*hard code*). Большинство диагностических карт предназначены для нахождения постоянных неисправностей по активным кодам. Для установления вида неисправности в мастерской считывают код ошибки с помощью сканера или портативного мотор-тестера и расшифровывают его по соответствующим диагностическим картам или с помощью экспертной системы. Для повышения вероятности установления правильного диагноза некоторые системы бортовой диагностики имеют подпрограмму фикса-

ции всех параметров объекта в момент появления ошибки, формируя так называемый "замороженный кадр" (*freeze frame record*). Такая опция существенно облегчает постановку правильного диагноза, так как позволяет проследить изменения параметров до и после возникновения ошибки [1].

И всё же эффективность такой диагностики недостаточна. Так, например, какие действия должен предпринять руководитель службы эксплуатации (главный механик) при появлении сообщения о выходе за нормативные пределы времени замыкания фрикциона ГМП? Расшифровка кода этой ошибки будет указывать на множество причин: это и снижение давления в линии управления фрикционом из-за нарушения герметичности уплотнительных колец на вращающемся валу; это и износ бустера фрикциона, и вспенивание масла при перегреве, и ухудшение работы масляного насоса ГМП или нарушение настройки редукционного клапана, и засорение фильтра или подводящего канала... А может быть и сочетание всех этих причин одновременно, хотя каждая в отдельности не вышла за нормативные пределы. Каков же итог такой диагностики? Никто ничего делать не будет, поскольку работоспособность машины не нарушена, а лишь ухудшился один из параметров ГМП. Поскольку стоимость машины достаточно высока и вывод её из эксплуатации для устранения "неизвестно чего", существенно скажется на объёмах выполняемых работ, то такое решение оправдано. Но на приборной панели будет постоянно гореть транспарант "*CHECK TRANS*" (проверь трансмиссию), нервируя водителя и затрудняя получение информации об обнаружении других ошибок.

Когда же этот параметр скажется на невозможности выполнения машиной задач, для которых она предназначена, например, появится буксование фрикциона при доставке руды из карьера, и возникнет угроза остановки машины на серпантине, то такая неисправность вынудит вывести машину из эксплуатации для её ремонта. Однако получить такую информацию заранее при функциональном диагностировании невозможно. Её можно получить только при тестовом диагностировании. Тест — это специально сформированное внешнее воздействие на трансмиссию, позволяющее выявить техническое состояние того или иного элемента этой трансмиссии. Дело остается за малым — разработать алгоритмы таких тестовых воздействий. Но это и является сложной научной задачей, разговоры о которой ведутся давно, а результаты пока весьма скромны.

Оценить техническое состояние фрикционных муфт по максимально передаваемому моменту, чтобы исключить их буксование при движении карьерного самосвала с максимальной нагрузкой из карьера, можно проведя тестовую диагностику фрикционов заранее.

Примером тестового диагностирования фрикционов ГМП может быть нагружение трансмиссии со стороны двигателя на стоповом режиме работы гидротрансформатора. Затормозив машину штатной тормозной системой, кратковременно выводят двигатель на номинальный режим и следят за тем, провернулся ли турбинный вал. Возможности для этого имеются, поскольку современные бортовые системы управления

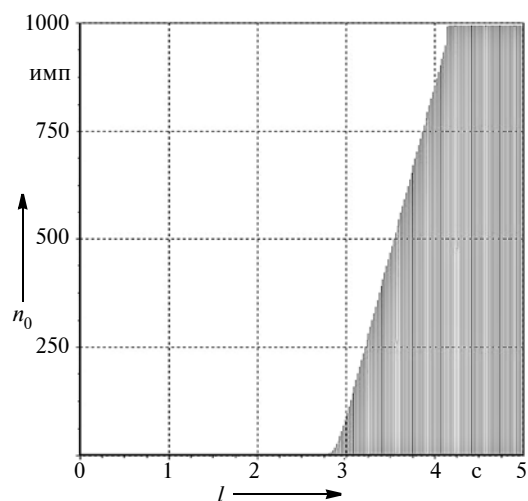


Рис. 1. Результаты теста на буксование фрикциона

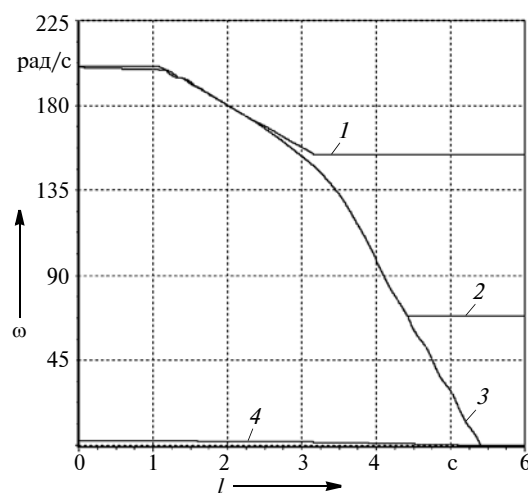


Рис. 2. Тестовое диагностирование фрикционов в движении

используют информацию об угловой скорости турбинного вала гидротрансформатора. А поскольку её измеряют импульсным датчиком, то результаты тестовой диагностики при возникновении буксования фрикциона будут иметь вид, представленный на рис. 1. Это случай срыва сцепления ведущих и ведомых дисков при достижении некоторой величины крутящего момента, что отражается на появлении импульсов с датчика турбинного вала  $n_0$ .

Такое диагностирование можно провести и при движении машины, постепенно затормаживая её и выводя двигатель на номинальный режим. При таком виде тестового воздействия угловая скорость коленчатого вала двигателя начнёт уменьшаться (рис. 2, кривая 1), падает до какой-то величины и угловая скорость турбинного вала (кривая 2), а при пробуксовке фрикциона она останавливается на каком-то уровне при остановке выходного вала (кривая 3).

Возможности тестового диагностирования заложены и в современных сканерах. При функциональном диагностировании обнаруживаются и непостоянные (нерегулярные) неисправности, которые проявляются при определённых условиях (скорость автомобиля, нагрузка, температура и т.д.). После стирания всех ко-

дов ошибок из ЭБУ они не восстанавливаются до тех пор, пока аналогичные условия не проявятся вновь. Коды непостоянных неисправностей называются историческими (*historic, soft codes*). Они запоминаются на некоторое число циклов "запуск — останов двигателя" и при неповторении за это время стираются. Причины выхода параметра за установленные пределы в данном случае определить достаточно сложно. Вероятность установления точного диагноза с помощью диагностических карт невелика, так как причин выхода параметра за допустимые пределы может быть множество. В этом случае пользуются возможностями современных сканеров и проводят ездовые испытания (*drive test*) с воспроизведением условий появления ошибки с записью потоков параметров или системных данных для их последующего воспроизведения и анализа при постановке диагноза. А это уже фактически тестовый режим, когда сканер работает в режиме снимка.

Кроме фрикционов, важным элементом, от которого зависит надёжность работы ГМП, являются зубчатые передачи. Интегральный показатель их технического состояния — суммарный угловой зазор, который характеризует износ рабочих поверхностей зубьев. В механической трансмиссии его номинальное и предельное значения прописаны в эксплуатационной документации. Проверить этот параметр достаточно просто, отсоединив карданную передачу и включая поочередно ступени коробки передач, выбирают зазор в одном, а затем в другом направлении, измеряя этот зазор угломером вначале в коробке, а затем в главной передаче. В ГМТ этот параметр измерить невозможно, так как при неработающем автомобиле кинематическая связь в трансмиссии отсутствует, поскольку фрикционы разомкнуты, а при их замыкании автомобиль начинает движение. В итоге в ГМТ от такого важного параметра отказались. А ведь в суммарный угловой зазор входит и смятие шлицев, на которых установлены фрикционы, и регулировка главной передачи, т.е. информативность этого параметра достаточно велика.

Тестовая диагностика позволяет определять суммарный угловой зазор в ГМТ. В этом случае тестовым воздействием будет разгон и торможение двигателем, когда в тяговом режиме работы выбираются зазоры в одном направлении, а в тормозном — силы инерции вращательно и поступательно движущихся масс, продолжая движение, выбирают зазоры в другом направлении. При этом контроль относительных угловых перемещений ведущей и ведомой частей трансмиссии необходимо осуществлять импульсным методом, так как режим нестационарный.

Моделирование этого процесса позволило не только проверить эффективность тестового воздействия, но и обосновать алгоритм определения суммарного углового зазора при наличии колебаний в трансмиссии, поскольку в её кинематической цепи имеются упругие элементы. Вид тестового воздействия представлен на рис. 3. Момент двигателя при равномерном движении на ровном участке пути для карьерного самосвала БелАЗ-7555 составляет около 30 Н·м. В этот период выбраны зазоры одного направления (рис. 4). При резком сбросе педали подачи топлива двигатель создаёт тормозной момент  $\approx 230$  Н·м, который уменьшает-

ся по мере уменьшения угловой скорости коленчатого вала. В этот период начинают выбираться зазоры в коробке передач (кривая 1) и в трансмиссии в целом (кривая 2). Выбрав зазоры (горизонтальные площадки), упругие силы выталкивают зубья в пространство этого зазора, т.е. имеет место колебательный процесс.

Используя импульсный метод контроля относительных угловых перемещений ведущего и ведомого валов, легко определить, насколько уменьшится число опорных импульсов в выходных за первую фазу выбора зазора, поскольку её можно отслеживать по убыванию числа опорных импульсов в каждом выходном.

Как только их число начнёт возрастать, значит, фаза выбора зазора закончилась. Разница в числах фактических и теоретических импульсов опорного сигнала за время выбора зазора и даёт величину суммарного углового зазора в импульсах опорного сигнала, которые легко переводятся в градусы, так как углу поворота в  $360^\circ$  соответствует число опорных импульсов за один оборот, генерируемых энкодером, а искомому угловому зазору — найденная разница.

Превышение суммарного углового зазора — ещё не повод для прекращения эксплуатации. Неопределённость причин, вызвавших превышение суммарного уг-

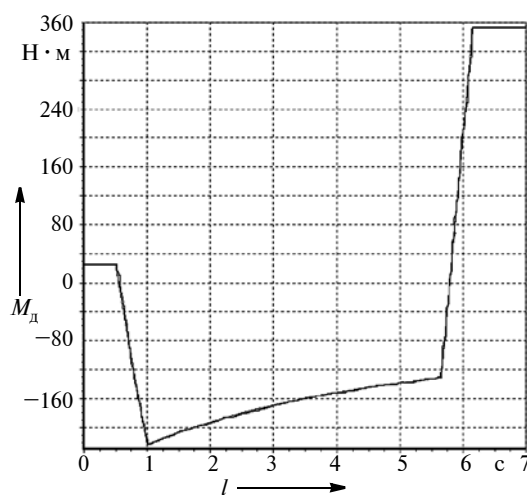


Рис. 3. Тестовое воздействие на трансмиссию со стороны двигателя

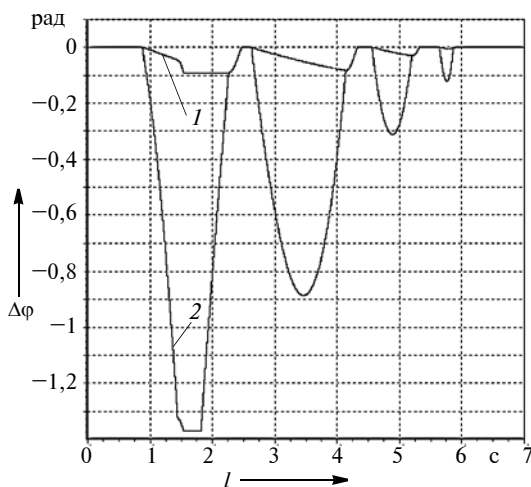


Рис. 4. Выбор суммарного углового зазора в коробке передач (1) и трансмиссии в целом (2)

лового зазора, а это может быть и нарушение регулировки главной передачи, и износ боковой поверхности одного или нескольких зубчатых колёс, и смятие шлицев валов, не позволяет заранее подготовить запасные части для быстрого устранения неисправности.

Опасным дефектом, требующим прекращения эксплуатации машины с зубчатым приводом, во многих эксплуатационных документах, указывается облом зуба. Облом одного зуба отражается на кинематической погрешности передачи, но из-за наличия коэффициента перекрытия зубчатых зацеплений заклинивания коробки передач не происходит. Однако возникновение ударных нагрузок на следующий после обломанного зуб резко увеличивает вероятность его разрушения, поскольку у него возрастает зона однопарного зацепления, при которой он один передаёт полную нагрузку. При обломе двух зубьев подряд кинематическая связь между ведущей и ведомой частями привода нарушается, т.е. теряется его работоспособность, и реально возникает возможность заклинивания коробки с катастрофическими последствиями, чего допускать нельзя.

Но как обнаружить облом зуба? Виброакустический метод здесь не поможет: облом одного зуба не вызывает таких изменений вибросигнала, которые бы позволили однозначно указать на этот дефект. Наиболее чувствителен к данному дефекту такой диагностический параметр как кинематическая погрешность. Но существующие средства определения кинематической погрешности — кинематометры, требуют равномерного вращения входного вала, относительно которого определяются колебания угловой скорости выходного вала. В противном случае погрешность измерения увеличивается.

Широкое распространение цифровых (микропроцессорных) систем управления и диагностики как бортовых, так и внешних, позволяют определять кинематическую погрешность, измеряя относительные угловые перемещения ведущего и ведомого валов. Ведь специфика микропроцессорных систем в том, что они не обрабатывают сигнал от датчика, а опрашивают его состояние с высокой частотой. Поэтому, установив датчики углового положения на ведущем и ведомом валах (энкодеры), можно определять относительные угловые перемещения валов и по ним оценивать кинематическую погрешность передачи.

Измерение кинематической погрешности не в функции времени, а в функции угла поворота выходного вала не требует стабилизации угловой скорости на входе, что существенно упрощает её определение непосредственно в процессе эксплуатации. При этом локальный дефект зуба на графике кинематической погрешности проявляется в виде короткого всплеска, высота которого и характеризует величину дефекта, а шаг повторного появления — его принадлежность тому или иному зубчатому колесу. Сопоставляя фактический угол поворота зубчатого колеса с теоретическим, можно определить и циклическую кинематическую погрешность, характеризующую неравномерность износа зубьев по окружности или смещение оси вращения относительно зубчатого венца.

Конечно, для механических трансмиссий обломы зубьев в коробке передач — это дефект нехарактерный.

Переключение ступеней в таких коробках производится при полной синхронизации угловых скоростей привода, т.е. с минимальной динамической нагруженностью и при правильном проектировании обломов быть не должно.

Иное дело — ГМП. Переключение ступеней здесь осуществляется фрикционными муфтами за 0,1...0,3 с, что при передаточном числе смежной передачи, отличающимся примерно в два раза, вызывает значительные динамические нагрузки на зубья, находящиеся в этот момент в зацеплении. Поэтому вероятность поломки зубьев в ГМП существенно выше, чем в механической трансмиссии.

Учитывая тот факт, что в процессе эксплуатации карьерных самосвалов БелАЗ за их срок службы ГМП меняют 3—4 раза, необходимо точно знать, когда она достигла предельного состояния. Поэтому мониторинг технического состояния ГМП в целях установления необходимости вывода машины из эксплуатации для ремонта или замены трансмиссии — задача весьма актуальная. И её можно решить с помощью тестового диагностирования.

В этом случае тестовым воздействием будет равномерное движение машины с небольшой скоростью, чтобы минимизировать влияние моментов инерции вращающихся масс на кинематическую погрешность  $F_{КП}$ , определяемую по относительным угловым перемещениям с помощью импульсного способа. Так, характер изменения кинематической погрешности в механической трёхвальной коробке передач на первой передаче с  $U = 6,4$  при обломе зуба шестерни первичного вала показан на рис. 5.

Видно, что кинематическая погрешность содержит колебания двух различных частот, наложенных друг на друга: низкой, период которой соответствует одному обороту выходного вала, и высокой, период которой соответствует одному обороту входного вала. Это видно потому, что количество колебаний более высокой частоты соответствует передаточному числу коробки передач. Размах этих колебаний можно интерпретировать как неравномерный износ зубьев или смещение осей вращения относительно зубчатого венца из-за состояния подшипников. А анализ зубцовой частоты первичного вала (рис. 6) позволяет выявить выброс кинематической погрешности с одинаковым шагом ( $T_1 = T_2$ ), высота которого соответствует облому зуба.

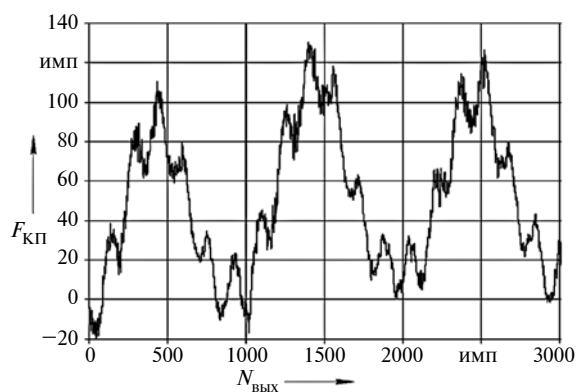


Рис. 5. График изменения кинематической погрешности двухступенчатого привода при  $U = 6,4$

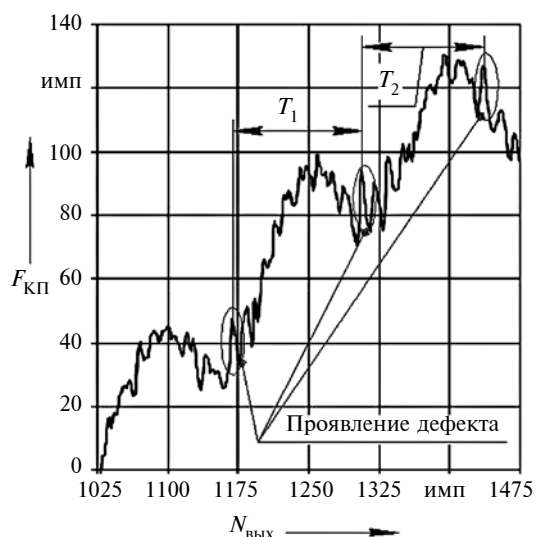


Рис. 6. Фрагмент графика кинематической погрешности передачи

Понятно, что тестовое диагностирование предполагает разработку алгоритмов диагностирования и точный расчёт тестовых воздействий, основанный на моделировании динамических процессов в трансмиссии. Но на современном этапе это больших трудностей не вызывает. Заложив алгоритм диагностирования в бортовой компьютер, можно наблюдать за правильностью реализации тестового воздействия, сигнализируя во-

дителю транспарантом "ТЕСТ ПРОШЁЛ" или "ТЕСТ НЕ ПРОШЁЛ". Это существенно увеличило бы достоверность результатов диагностики.

Таким образом, дальнейшее совершенствование систем диагностики должно идти по пути разработки алгоритмов тестового диагностирования с максимальным использованием встроенных средств или информационных систем самих машин. Это, во-первых, не требует сложных и дорогостоящих специализированных стендов, во-вторых, позволяет повысить достоверность диагностики, поскольку тестовое воздействие для каждого вида дефекта тщательно моделируется, а его исполнение может отслеживаться во время диагностики. При этом функциональная диагностика не теряет своего значения, она позволяет обнаруживать отклонения параметров функционирования машины от заданных значений, чтобы затем локализацию дефекта провести с помощью тестового диагностирования, не выводя машину из эксплуатации. Это позволит снизить простои машин в ремонтах, уменьшить складские запасы и номенклатуру запасных частей, поскольку опасные дефекты можно выявлять на той стадии, когда они ещё не привели к катастрофическим последствиям, а не по факту выхода ГМТ из строя.

#### Литература

Максименко А.Н. Диагностика строительных, дорожных и подъёмно-транспортных машин: учеб. пособие / А.Н. Максименко, Г.Л. Антипенко, Г.С. Лягушев. — СПб.: БХВ-Петербург, 2008. — 302 с.

УДК 629.113.52

## АКТИВАЦИЯ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ

Д-р техн. наук **ВОРОБЬЁВ Ю.В.**, канд. техн. наук **ДУНАЕВ А.В.**  
Тамбовский ГТУ, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ  
(dunaev135@mail.ru)

*Изложены особенности модификации моторных топлив активатором по патенту РФ № 2411074, когда облегчается фракционный состав и продолжается модификация топлив после их выхода из активатора. Необратимость модификации обеспечивает сокращение расхода топлив на 20—27 % без уменьшения мощности ДВС, уменьшается дымность отработавших газов дизелей, их токсичность у бензиновых ДВС, уменьшается температура замерзания дизельного топлива, оно очищается от смол и соединений серы.*

*Активатор проверен тремя стендовыми моторными испытаниями в РФ, в Рочестер-Центр (США), контролем химмотологических показателей восьми марок бензинов и трёх марок дизельного топлива, десятками хроматограмм топлив до и после активации, контролем температуры замерзания и дымности дизелей.*

**Ключевые слова:** механохимия, фракционный состав, химмотология, расход топлива.

### Vorob'ev Yu.V., Dunaev A.V. ACTIVATION OF ENGINE FUELS

*The modification of motor fuels by the activator according to the patent of Russian Federation № 2411074 when facilitated fractional composition and the modification of the fuels after they are released from the activator. The irreversibility of the modification provides a reduction in the consumption fuel by 20—27 % without reducing the power of the internal combustion engine, reduces the opacity in diesel engines of exhaust gases with smoke, their toxicity in petrol engines, reduces the freezing point of diesel fuel, it should be cleaned of in diesel furl tars and sulphur compounds.*

*Activator tested three bench engine tests in Russia, in Rochester (USA), control hematologically indicators of eight grades of gasoline and three grades of diesel fuel, tens of chromatogram fuels before and after activation, the temperature control for freezing and smoke of diesel engines.*

**Keywords:** mechanochemistry, fractional composition, chemmotology, fuel consumption.

Непрерывное совершенствование автотракторных ДВС проводится для повышения их надёжности, ресурса, коэффициента полезного действия, для уменьшения расхода топлива, токсичности и дымности отработавших газов. Для повышения топливной экономичности ДВС во многих странах длительное время испытываются весьма разнообразные магнитная [1—3], гомогенизация моторных топлив [4], кавитационная [5—7], электрическая, триботехническая [8] обработка ввод присадок. В последнее время апробирована и механохимическая активация топлив [9—11].

Так, например, создан статический смеситель-активатор (далее — активатор) по патенту РФ № 2411074 [10, 11]. Активатор (рис. 1) в цилиндре длиной 150 мм, диаметром 30—50 мм имеет три последовательные камеры, встраивается в любую топливную систему ДВС, не требует привода, не содержит химических реактивов.

Воздействие активатора на топливо проводится в трёх камерах. В пер-