



УДК 621.436

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК В МАСЛО НА РАБОТУ РЕГУЛЯТОРА ТОПЛИВНОГО НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ СЕРВИСЕ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

**А.В. Сумманен**

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

**И.И. Воронцов**

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

**Е.А. Криштанов**

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»

*Проведен анализ отказов регуляторов топливных насосов высокого давления (ТНВД). Предложен способ обработки регулятора ТНВД. Проведен анализ конструктивно-технологических показателей сопряжений регулятора ТНВД. На основе анализа параметров регулятора для оценки времени обработки восстановительной добавкой выбран параметр. Предложена схема установки для диагностики и регулятора ТНВД. Получены зависимости фактора торможения регулятора от времени обработки.*

*Ключевые слова:* Регулятор, топливный насос высокого давления, автотранспорт.

### **Для цитирования:**

*А.В. Сумманен, И.И. Воронцов, Е.А. Криштанов. Исследование влияния добавок в масло на работу регулятора топливного насоса высокого давления при техническом сервисе автотранспортных средств // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №3(18), ISSN 2007-5687. – СПб.: ГУАП. - 2018 – С.19-28. РИНЦ.*

## INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF ADDITIVES IN OIL ON THE WORK OF THE HIGH PRESSURE FUEL PUMP REGULATOR AT THE TECHNICAL SERVICE OF MOTOR VEHICLES

**A.V. Summanen,**

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

**I.I. Vorontsov**

Saint-Petersburg State Architecture and Construction University

**E.A. Krishtanov**

Saint-Petersburg State Agrar University

*The analysis of failures of regulators of fuel pumps of high pressure (ТНВД) is carried out. A method for processing a regulator of a high-pressure pump is proposed. The analysis of constructive-technological parameters of conjugation of the regulator of high pressure pump was carried out. Based on the analysis of the parameters of the regulator, a parameter is selected for evaluating the processing time of the reductive additive. The scheme of installation for diagnostics and regulator of high pressure pump is offered. Dependences of the braking factor of the regulator on the treatment time are obtained.*

*Keywords:* regulator, high-pressure fuel pump, vehicles.

### **For citation:**

*A.V. Summanen, I.I. Vorontsov, E.A. Krishtanov "Investigation of the influence of additives in oil on the work of the high-pressure fuel pump regulator at the technical service of motor vehicles" // System analysis and logistics.: № 3(18), ISSN 2007-5687. –Russia, Saint-Petersburg .: SUAI., 2018 - P.19-28.*



При эксплуатации автотранспорта отказы регуляторов топливных насосов высокого давления (ТНВД) составляют около 30% общего числа отказов топливной аппаратуры. В результате возникает необходимость в уменьшении интенсивности изнашивания регулятора. В данное время для снижения износа и восстановления деталей применяются добавки в масло.

В настоящее время на рынке автохимии и смазочных материалов представлен широкий выбор добавок, но вместе с тем нет информации о целесообразности применения той или иной добавки к регуляторам ТНВД.

Предлагается применять безразборный метод обработки сопряжений регулятора с помощью ремонтно-восстановительных добавок в масло при регулировке и ремонте ТНВД.

Объектом исследования выбран регулятор ТНВД 4УТНМ, так как этот тип регулятора устанавливается как на автомобили семейства ЗИЛ «Бычок», так и на трактора семейства МТЗ, ЮМЗ, экскаваторы, погрузчики.

Увеличенные зазоры и сила трения в сопряжениях приводят к тому, что регулятор не успевает реагировать на изменение нагрузки и частоты вращения коленчатого вала, в результате чего двигатель работает неустойчиво, а диапазон изменения частоты вращения коленчатого вала увеличивается.

Свойства добавки определены на основе анализа конструктивно-технологических показателей сопряжений регулятора и должны обеспечивать: проникновение в зазор 0,01-0,3 мм; шероховатость 0,8-3,2 Ra мкм и твердость в пределах 28-65 HRC; действовать при нагрузке 0,05 - 4 МПа; обрабатывать сочетания материалов деталей: сталь - сталь, сталь - бронза, сталь - латунь, сталь - алюминиевый сплав.

Определено, что применение добавок позволяет образовывать в сопряжении пленку до 100 мкм. Полученная пленка обладает низким трением и заменяет трение и изнашивание самой детали на трение, и изнашивание покрытия. Таким образом, можно применять добавки для восстановления сопряжений регулятора.

По критериям, определенным на основе конструктивно-технологических показателей и расчета действующих сил в регуляторе, осуществлен выбор добавок для исследования применительно к регулятору ТНВД 4УТНМ. Для оценки воздействия добавки на работу регулятора определены параметры, которые изменятся после обработки.

Определены следующие параметры регулятора, которые контролируются до и после обработки добавками: фактор торможения, время регулирования и заброс частоты вращения двигателя, параметры микрогеометрии сопряжений (Ra, Rz, Rmax), интенсивность изнашивания сопряжений, цикловая подача топлива, отключение подачи топлива, начало действия корректора, неравномерность подачи топлива ТНВД, начало действия регулятора, степень неравномерности регулятора.

На основе анализа параметров регулятора для оценки времени обработки восстановительной добавкой выбран параметр: фактор торможения регулятора. Так как данный параметр не требует разборки регулятора и он не трудоемок, по сравнению с другими параметрами.

Создана экспериментальная установка для определения фактора торможения регулятора (рис.1).

Определение фактора торможения регулятора осуществляется по замеру потребляемой электрической мощности электродвигателя расходуемой на передвижение деталей регулятора. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) установки замеряет в режиме реального времени: частоту вращения, напряжение, силу тока. С помощью алгоритма созданной в MatLab 6.5, обрабатываются данные поступающие с АЦП в компьютер. Разработанный алгоритм позволяет перевести данные потребляемой электрической мощности в механическую мощность и рассчитать средний фактор торможения регулятора. Для обработки регулятора разработана установка и методика на основе рекомендаций производителей добавок. Установка смонтирована на стенд

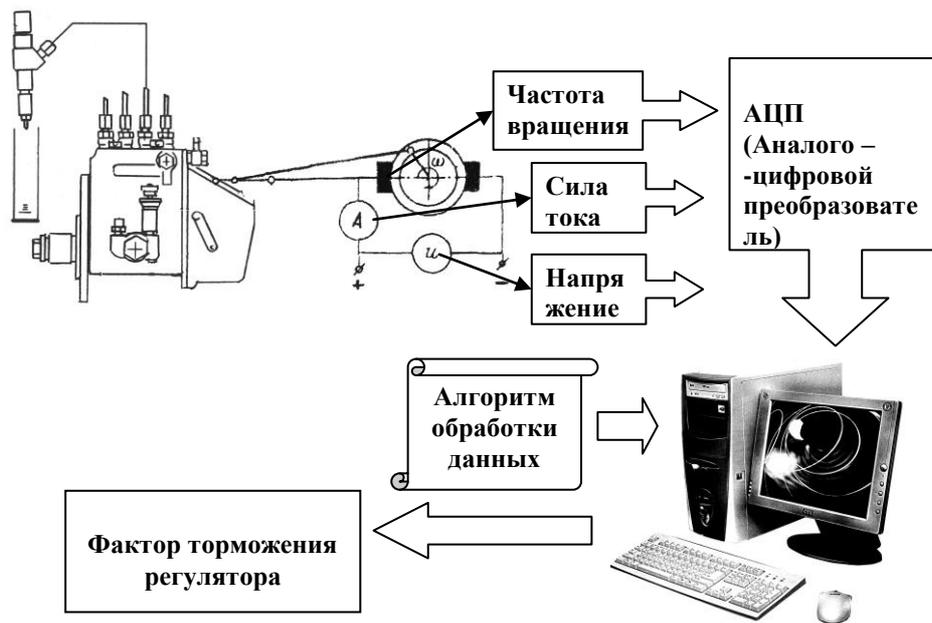


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки для определения фактора торможения регулятора

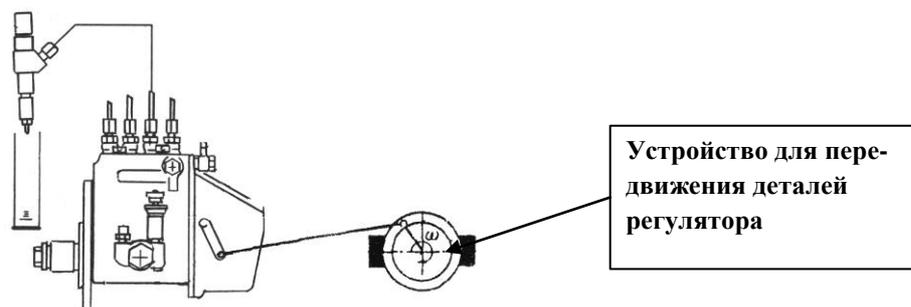


Рис. 2. Установка для обработки регулятора добавкой

СТДА-2 (рис. 2). Стенд нужен для установки необходимой частоты вращения и подачи топлива в насос. Но кроме создания усилий в регуляторе, для срабатывания добавки нужно создать трение. Где трение, там и происходит осаждение добавки. Для этого создано устройство для передвижения деталей, состоящего из кривошипно-шатунного механизма и электродвигателя.

Обработка результатов исследований проводилась по известным методикам в Microsoft Excel, MatLab 6.5.

Применение добавок позволяет снизить фактор торможения регулятора. Получены следующие зависимости фактора торможения регулятора от времени обработки (рис. 3).

Установлено время обработки регулятора добавками по полученным зависимостям. Время обработки определялось до стабилизации фактора торможения.

Изменение фактора торможения регулятора до и после обработки добавками представлено на рисунке 4. Снижение фактора торможения регулятора позволило снизить время регулирования и заброс частоты вращения двигателя. Определение времени регулирования и заброса частоты вращения двигателя осуществлялось по теоретической модели Н.Ю. Сережки. Динамические параметры до и после обработки представлены на рисунке 5.

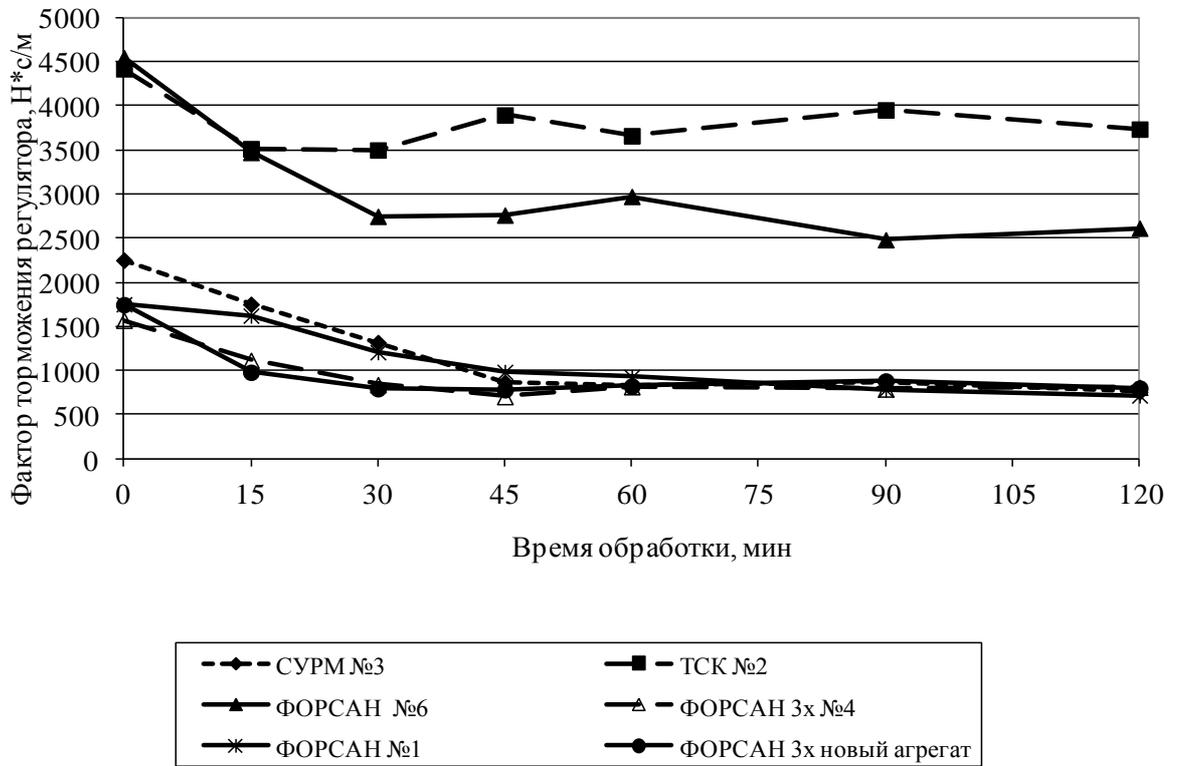


Рис. 3. Зависимости фактора торможения от времени обработки

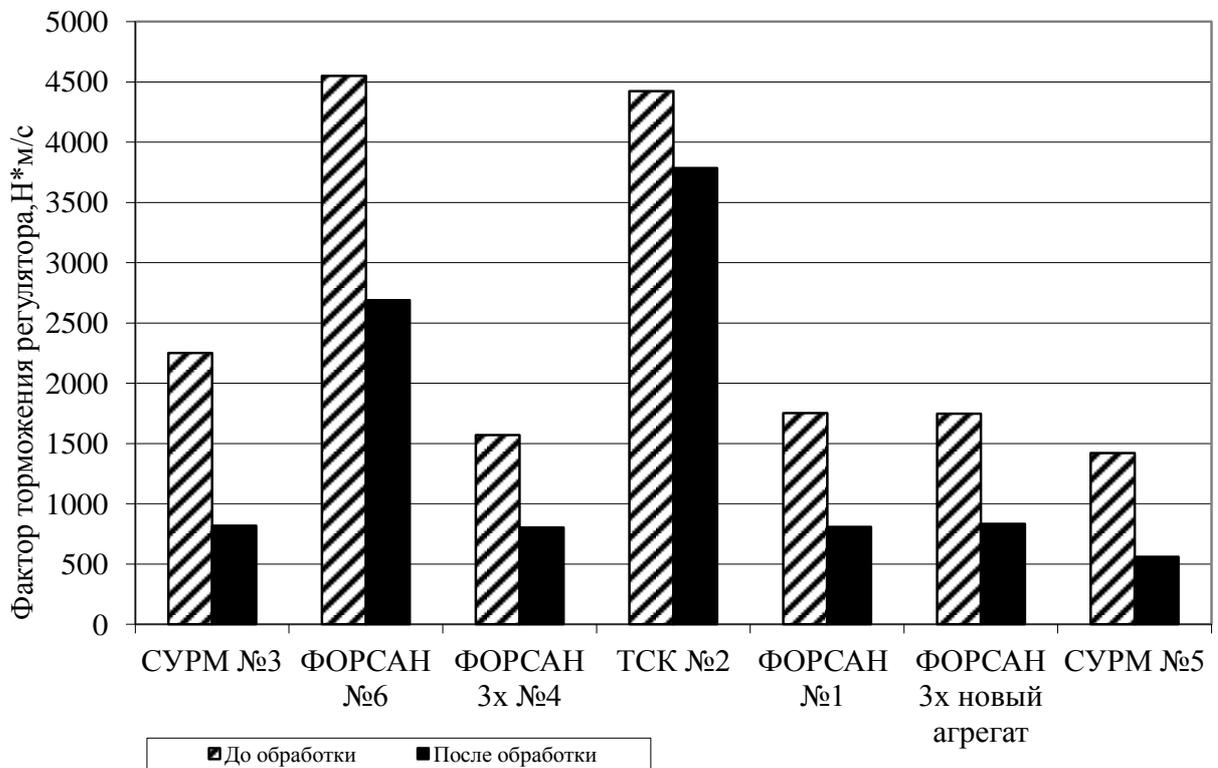


Рис. 4. Фактор торможения регулятора до и после обработки добавками

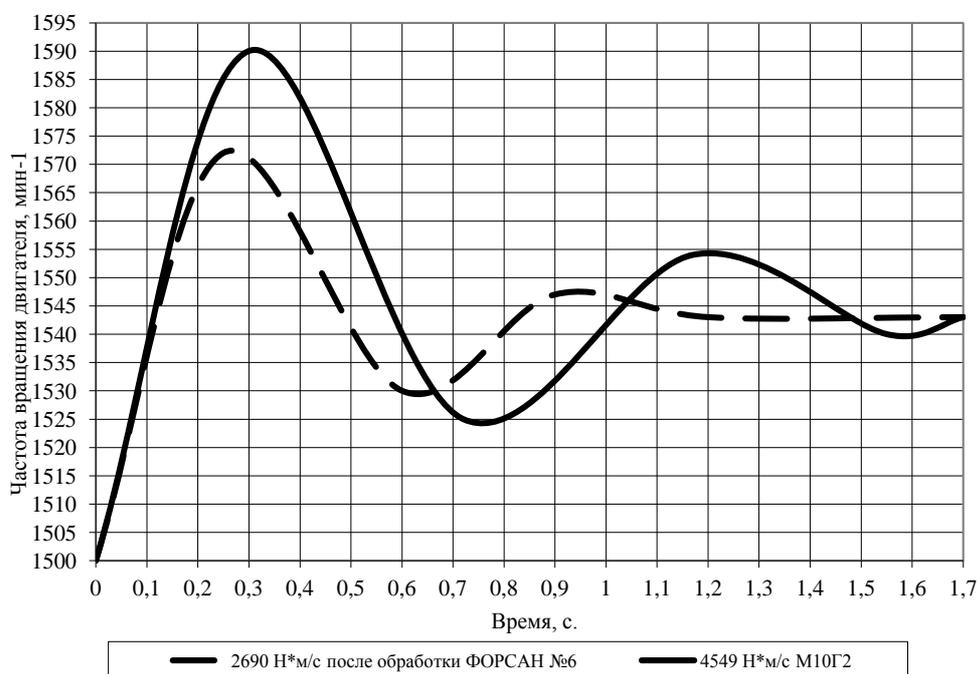


Рис. 5. Влияние фактора торможения регулятора на переходный процесс при сбросе 100% нагрузки до и после обработки добавками по теоретической модели Н.Ю.Сережко

Установлено, что в результате обработки добавками изменились параметры микрогеометрии и профиль поверхности трения сопряжений регулятора (рис. 6 – 9).

Результаты исследования воздействия добавок на параметры регулятора сведены в показатели эффективности (таблица).

Разработаны рекомендации по применению добавок для обработки регулятора, которые внедрены в ООО «ПИОТР», НПФ ООО «ТРИБО» и в фирме «NEWMEN».

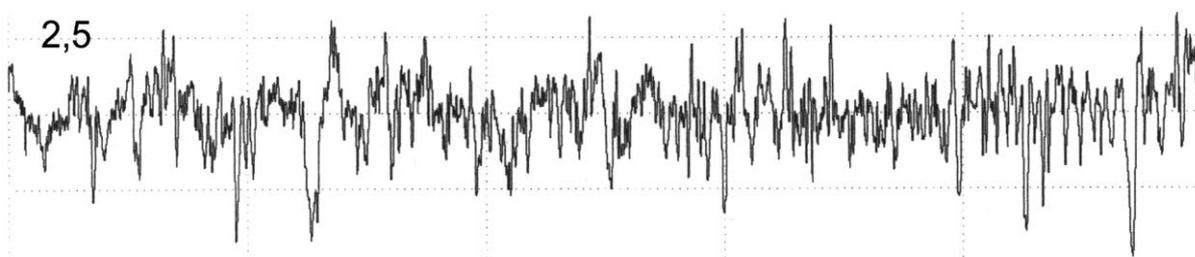


Рис. 6. Профильная диаграмма шероховатости муфты грузов, работающей на базовом масле М10Г2 (Агрегат №5), 2). Параметры:  $R_a = 0,82$ ;  $R_z = 5,34$ ;  $R_{max} = 7,22$



Рис. 7. Профильная диаграмма шероховатости муфты грузов, работающей на базовом масле M10G2 с добавкой СУРМ (Агрегат №5), 3). Параметры:  $R_a = 0,21$ ;  $R_z = 1,72$ ;  $R_{max} = 2,6$

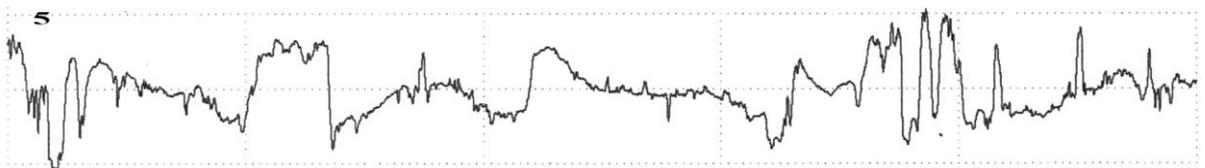


Рис. 8. Профильная диаграмма шероховатости муфты грузов, работающей на базовом масле M10G2 (Агрегат №6), 4). Параметры:  $R_a = 1,36$ ;  $R_z = 7,6$ ;  $R_{max} = 9,39$



Рис. 9. Профильная диаграмма шероховатости муфты грузов, работающей на базовом масле M10G2 с добавкой ФОРСАН (Агрегат №6). Параметры:  $R_a = 0,259$ ;  $R_z = 1,93$ ;  $R_{max} = 2,89$

Таблица 1 - Показатели эффективности

Показатели эффективности		Агрегат			
		Новый агрегат	Агрегаты бывшие в эксплуатации		
			Добавка		
		ФОРСАН	СУРМ	ФОРСАН	ТСК
Фактор торможения		Уменьшение на 52%	Уменьшение на 61-64%	Уменьшение на 41-54%	Уменьшение на 14%
Динамические характеристики	Заброс частоты вращения	Уменьшение на 74%	Уменьшение на 73-80%	Уменьшение на 43-74%	Уменьшение на 14%
	Время регулирования	Уменьшение на 55%	Уменьшение на 54-63%	Уменьшение на 33-55%	Уменьшение на 10%



Параметры микрогеометрии поверхности трения	Максимальная высота неровностей	Уменьшение на 52%	Уменьшение на 14-67%	Уменьшение на 29-69%	Увеличение на 9%
	Среднее арифметическое отклонение профиля	Уменьшение на 31%	Уменьшение на 48-75%	Уменьшение на 13-88%	Увеличение на 12%
	Высота неровностей профиля по десяти точкам	Уменьшение на 45%	Уменьшение на 25-68%	Уменьшение на 18-75%	Увеличение на 12%
Интенсивность изнашивания		Уменьшение на 90%	Уменьшение на 43-96%	Уменьшение на 23-97%	Увеличение на 32%

### Общие выводы

1. Увеличенные зазоры и сила трения в сопряжениях приводят к тому, что регулятор не успевает реагировать на изменение нагрузки и частоты вращения коленчатого вала. В результате двигатель работает неустойчиво, а диапазон изменения частоты вращения коленчатого вала увеличивается, поэтому восстановление износа и уменьшение силы трения в сопряжениях регулятора являются актуальной задачей;
2. Свойства добавок определены на основе анализа конструктивно-технологических показателей сопряжений регулятора и должны обеспечивать: проникновение в зазор 0,01-0,3 мм; шероховатость 0,8-3,2 Ra мкм и твердость в пределах 28-65 HRC; действовать при нагрузке 0,05 - 4 МПа; обрабатывать сочетания материалов деталей: сталь - сталь, сталь - бронза, сталь - латунь, сталь - алюминиевый сплав. В качестве добавок для восстановления регулятора выбраны добавки: СУРМ, ФОРСАН, ФОРСАН 3Х, ТСК. Добавки для исследования предоставлены производителями: ООО «ПИОТР», НПФ ООО «ТРИБО» и фирмой «NEWMEN»;
3. Для оценки качества обработки предлагаются следующие параметры регулятора: фактор торможения, время регулирования и заброс частоты вращения двигателя, параметры микрогеометрии сопряжений (Ra, Rz, Rmax), интенсивность изнашивания сопряжений, цикловая подача топлива, отключение подачи топлива, начало действия корректора, неравномерность подачи топлива ТНВД, начало действия регулятора, степень неравномерности регулятора;
4. Метод определения фактора торможения регулятора позволяет на безмоторном стенде с достоверностью 0,95 имитировать переходный процесс двигателя внутреннего сгорания. Определение фактора торможения регулятора осуществляется в режиме реального времени, это обеспечивается аналого-цифровым преобразователем и алгоритмом, созданным на основе MatLab 6.5;



5. Определено время стабилизации фактора торможения регулятора для добавок: ТСК – 15мин, ФОРСАН 3Х – 30 мин, СУРМ – 45 мин, ФОРСАН – 30-60 мин. Значение фактора торможения регулятора колеблется от 1421 до 4549 Н\*с/м как у новых, так и бывших в эксплуатации топливных насосов высокого давления. Фактор торможения снижается при внесении добавок: СУРМ на 61-64%, ФОРСАН 3Х на 49-52%, ФОРСАН 41-54%, ТСК на 14%, при этом уменьшается время регулирования: СУРМ на 54-63%, ФОРСАН 3Х на 50-55%, ФОРСАН 33-55%, ТСК на 10%, а также уменьшается заброс частоты вращения двигателя: СУРМ на 73-80%, ФОРСАН 3Х на 72-74%, ФОРСАН 43-74%, ТСК на 14%;
6. Установлено, что применение добавок позволяет снизить максимальную высоту неровностей рабочих поверхностей трения: ФОРСАН на 69%, СУРМ на 14-67%, ФОРСАН 3Х на 29-52%. Применение добавок ТСК увеличивает максимальную высоту неровностей поверхности трения на 9%. Снижение максимальной высоты микронеровностей позволяет снизить интенсивность изнашивания сопряжений регулятора: ФОРСАН на 97%, СУРМ на 43-96%, ФОРСАН 3Х на 65-90%. Снижение интенсивности изнашивания сопряжений регулятора позволяет сохранить стабильность регулировок;
7. Параметры: цикловая подача топлива, частота вращения соответствующая началу действия регулятора, частота вращения соответствующая отключению подачи топлива, частота вращения соответствующая началу действия корректора, неравномерность подачи топлива изменяются незначительно после обработки добавками.
8. Разработаны рекомендации по применению добавок для обработки регулятора, которые внедрены в ООО «ПИОТР», НПФ ООО «ТРИБО» и в фирму «NEWMEN».



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Криштанов Е.А., Сумманен А.В.* Теоретическое обоснование повышения долговечности подшипников сельскохозяйственных машин // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения Сб. науч. трудов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава «Научное обеспечение развития сельского хозяйства и снижение технологических рисков в продовольственной сфере» СПб.: СПбГАУ, 2017. – С. 472 – 476
2. *Криштанов Е.А., Сумманен А.В.* Повышения долговечности подшипников качения при техническом сервисе машин// Новосибирск.: Изд-во: ИЦ «Золотой колос». Теория и практика современной аграрной науки сборник национальной (Всероссийской) научной конференции. Новосибирский государственный аграрный университет – 2018 – С. 220-223
3. *Сумманен А.В., Воронцов И.И.* Улучшение технических характеристик смесителя-раздатчика кормов и его сервисное обслуживание СПб.: Изд-во СПбГАУ. – Сборник научных трудов. – Часть. №1. -2016 - с.459-476

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

### **Сумманен Александр Викторович –**

доцент, кандидат технических наук

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

<http://new.guar.ru/>

E-mail: 89215728754@mail.ru

### **Воронцов Иван Иванович –**

профессор, доктор технических наук

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

190005, Россия, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

<https://www.spbgasu.ru>

E-mail: vorontsov.52@mail.ru

### **Криштанов Егор Александрович –**

доцент, кандидат технических наук

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»

196601, Россия, Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2

<http://spbgau.ru>

E-mail: dekanazam.@mail.ru



## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Summanen Aleksandr Viktorovich –**

associate professor, candidate of technical sciences

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

SUAI, 67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

<http://new.guap.ru/>

E-mail: 89215728754@mail.ru

**Vorontsov Ivan Ivanovich –**

professor, doctor of technical sciences

Saint-Petersburg State Architecture and Construction University

Building 4, 2nd Krasnoarmeyskaya, Saint-Petersburg, 190005, Russia

<https://www.spbgasu.ru>

E-mail: vorontsov.52@mail.ru

**Krishtanov Egor Aleksandrovich –**

associate professor, candidate of technical sciences

Saint-Petersburg State Agrar University

Building 2, Petersburg Highway, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia

<http://spbgau.ru>

E-mail: dekanazam.@mail.ru