

## ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ ТОПЛИВА ОТ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ПРИВОДА ДИАГНОСТИЧЕСКОГО СТЕНДА И СОБСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ ВПРЫСКОВ Тестируемого ИНЖЕКТОРА

О.О. Мухля,

*магистрант факультета «Технический сервис в АПК» БГАТУ*

Д.А. Жданко,

*проректор по учебной работе и производству БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

С.А. Шецко,

*начальник ремонтной мастерской ООО «ЭКСПРЕССДИЗЕЛЬ», инженер*

*В работе проанализировано изменение стабильности пульсаций давления в топливном рейле дизельных инжекторов COMMON RAIL в зависимости от изменяемой частоты главного привода диагностического стенда и собственной частоты впрыска тестируемого инжектора. Полученные данные могут быть использованы для качественной оценки работы каждого модернизированного стенда, предназначенного для тестирования дизельных инжекторов COMMON RAIL.*

*Ключевые слова: диагностика, стенд, топливная система, топливный насос высокого давления, инжектор, электродвигатель, давление, датчик давления, пульсация, модернизация.*

*The paper analyzes the change in pressure pulsations stability in the fuel COMMON RAIL diesel injectors depending on the test bench variable frequency of the main drive and the natural injection frequency. The data obtained can be used for qualitative evaluation of the performance of each upgraded test bench designed for testing COMMON RAIL diesel injectors.*

*Key words: diagnostics, test bench, fuel system, high-pressure fuel pump, injector, electric motor, pressure, pressure sensor, pulsation, modernization.*

### Введение

В настоящее время предъявляются высокие требования к компонентам дизельных топливных систем (ДТС) – инжекторам впрыска, топливным насосам высокого давления (ТНВД) [1]. От их состояния зависит экологичность выхлопа транспортного средства, равномерность работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС), экономический фактор эксплуатации транспортного средства (ТС) или сельскохозяйственной машины. Еще большие требования должны предъявляться к системам (стендам), контролирующим состояние компонентов ДТС.

Существует достаточное количество стендов для тестирования инжекторов и ТНВД COMMON RAIL (CR) [2]. Как правило, их производят компании, которые обеспечивают инжекторами сборочные конвейеры мировых производителей транспортных средств, сельскохозяйственных, строительных и специальных машин. Например, EPS 708 (BOSCH), CRI-PC (HARTRIDGE-DELPHI). Стоимость этого оборудования зачастую составляет ~50-100 тыс. евро и выше.

Имеется много вариантов дооснащения и модернизации уже существующих стендов предыдущих

поколений, которые еще довольно успешно справляются с поставленными задачами: поддерживать заданную температуру тестовой жидкости и заданную частоту вращения главного привода, точно отсчитывать необходимое количество циклов. Используя необходимые блоки управления и блоки измерения, можно достигнуть положительного экономического эффекта без ущерба качеству работ по тестированию компонентов ДТС CR [3-6].

Вопросы проектирования, расчета и методы исследования процессов топливоподачи современных аккумуляторных систем рассматривались в трудах МГТУ им. Баумана, МАДИ, МАМИ, БНТУ, БГАТУ, БашГАУ, Южно-Уральского ГУ, Владимирского ГУ, ХНАДУ, концернами ЯЗДА, АЗПИ, Bosch, Denso, Delphi, Siemens, Caterpillar. Это нашло отражение в работах ученых – Баширова Р.М., Врублевского А.Н., Габитова И.И., Грехова Л.В., Голубкова Л.Н., Душкина П.В., Мазинга М.В., Неговора А.В., Пинского Ф.И., Погуляева Ю.Д., Тер-Мкртчянна Г.Г., Прохоренко А.А., Курманова П.В., Cavina N, Beirer P, Guzzella F, Payri J, Wang A, Takamura S, Yong-Kwam Kim Y, Hayakawa и многих других [7-11].

Цель настоящей работы – анализ изменения стабильности пульсаций давления в топливном рейле CR в зависимости от изменяемой частоты главного привода (чаще всего это асинхронный двигатель, управляемый преобразователем частоты) и собственной частоты впрыска тестируемого инжектора.

**Основная часть**

Объектом исследования являлась топливная система COMMON RAIL дизельного двигателя.

Испытания проводились на стенде SPP-SPOLNOTA-1 (рис. 1) производства PL, модер-

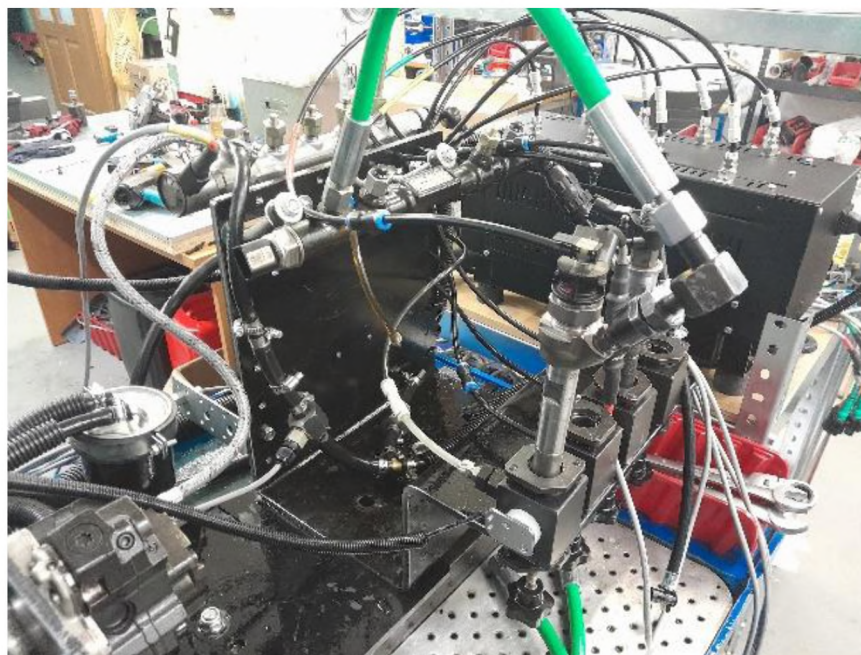


Рисунок 1. Модернизированный стенд SPP-SPOLNOTA-1

низированном до уровня тестирования системы CR, с использованием блока управления «ПОТОК CR4» (Республика Беларусь), блока измерения «ПОТОК FM8», измененной системы термостабилизации и фильтрации тестовой жидкости. Установлены топливные фильтры высокой степени очистки, дополнительные радиаторы с управляемыми вентиляторами и топливный насос для создания специального прокачиваемого дополнительного контура охлаждения, асинхронный двигатель (11кВт) и управляющий им

частотный преобразователь (11кВт). Также произведены работы по электромагнитной совместимости системы электрообеспечения стенда путем установки сетевого дросселя 11 кВт.

В качестве тестового инжектора использовался грузовой инжектор №0445124015 (BOSCH).

В качестве изменяемых факторов эксперимента приняты: частота впрысков и обороты привода. Их регулировка осуществлялась путем изменения настроек блока управления, также производилась запись осциллограмм пульсаций давления. Данные принимаемых режимов испытаний приведены в таблице 1.

Постоянное значение давления для всех тестов – 100 МПа и постоянное значение длительности управляющего импульса – 1000 мкс.

После проведения испытаний построены графики в программе Microsoft Excel (рис. 2-10).

Для определения параметра наименьшего разброса по значениям пульсаций осциллограмм, в рамках одной выборки определяли среднее значение дисперсий всех выборок [11].

$$s^2 = \frac{\sum_i^n (x_i - x_{cp})^2}{n - 1},$$

где  $s^2$  – дисперсия выборки;  
 $x_{cp}$  – среднее значение выборки;

$n$  – размер выборки (количество значений данных);

$(x_i - x_{cp})$  – отклонение от средней величины для каждого значения набора данных.

$$s_{cp}^2 = \frac{s_1^2 + s_2^2 + \dots + s_i^2}{n},$$

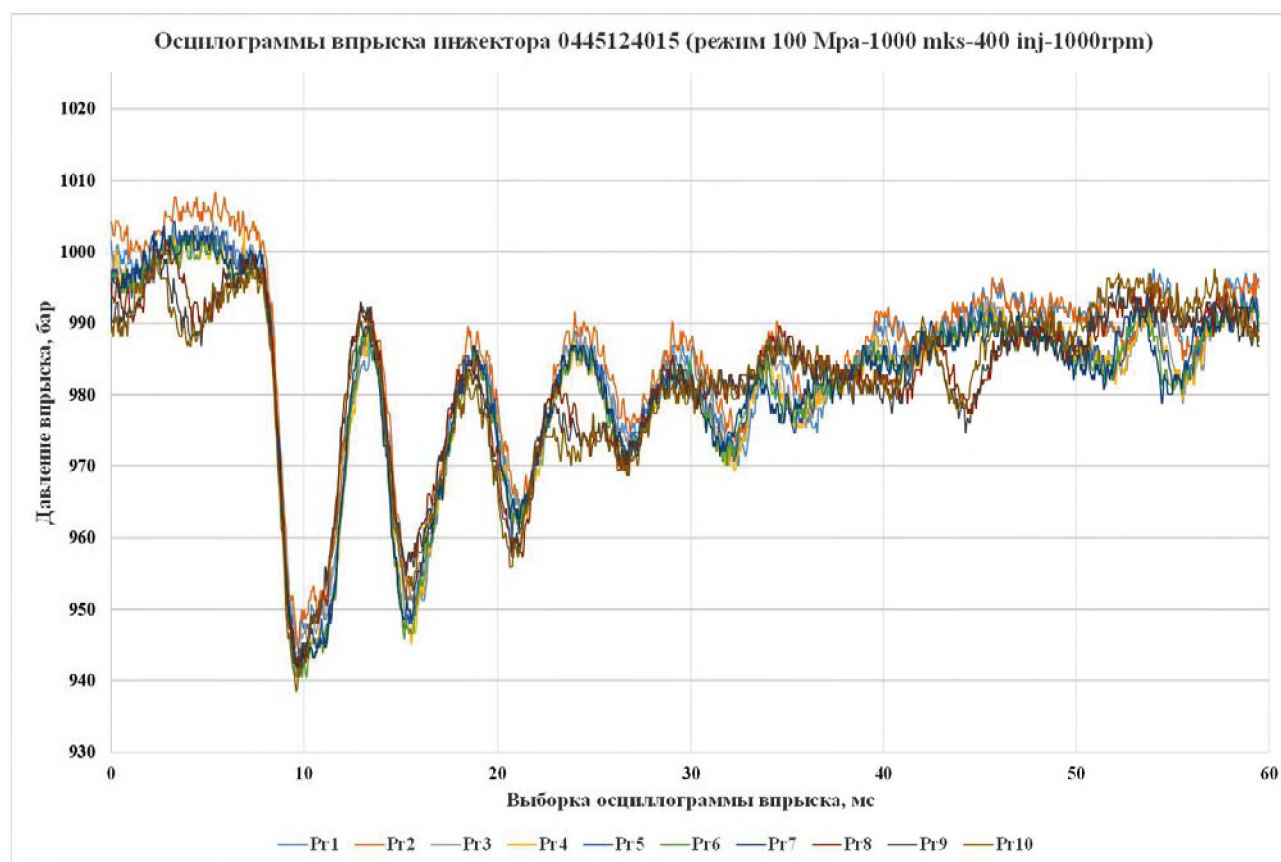
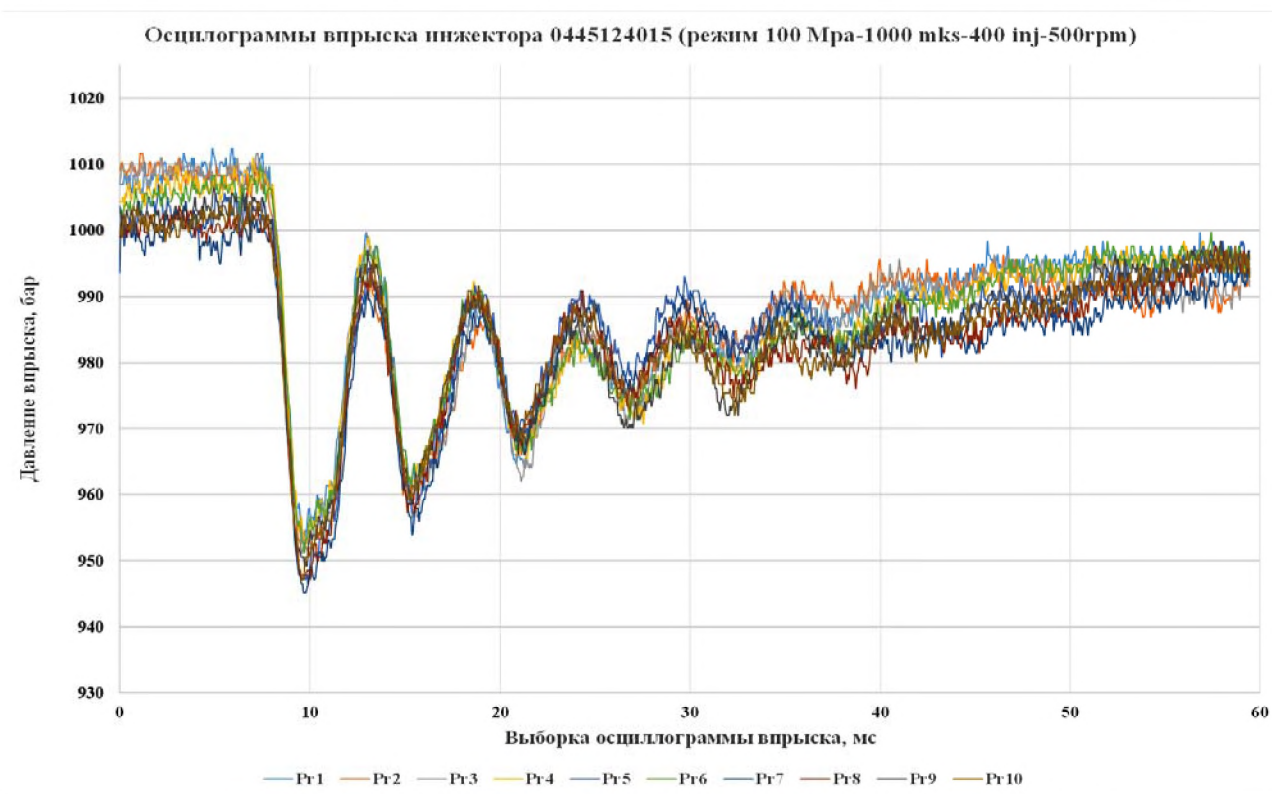
где  $s_{cp}^2$  – среднее значение дисперсий всех выборок.

Полученные данные приведены в таблице 2.

Из таблицы 2 можно видеть, что оптимальное сочетание параметров частоты вращения привода и

**Таблица 1. Параметры проводимых испытаний**

Частота вращения привода, мин <sup>-1</sup>	Частота впрысков в минуту	Давление в рейле, МПа	Длительность импульса, мкс	Количество повторений (выборок)
500	400	100	1000	10
1000	400	100	1000	10
1500	400	100	1000	10
500	500	100	1000	10
1000	500	100	1000	10
1500	500	100	1000	10
500	1000	100	1000	10
1000	1000	100	1000	10
1500	1000	100	1000	10



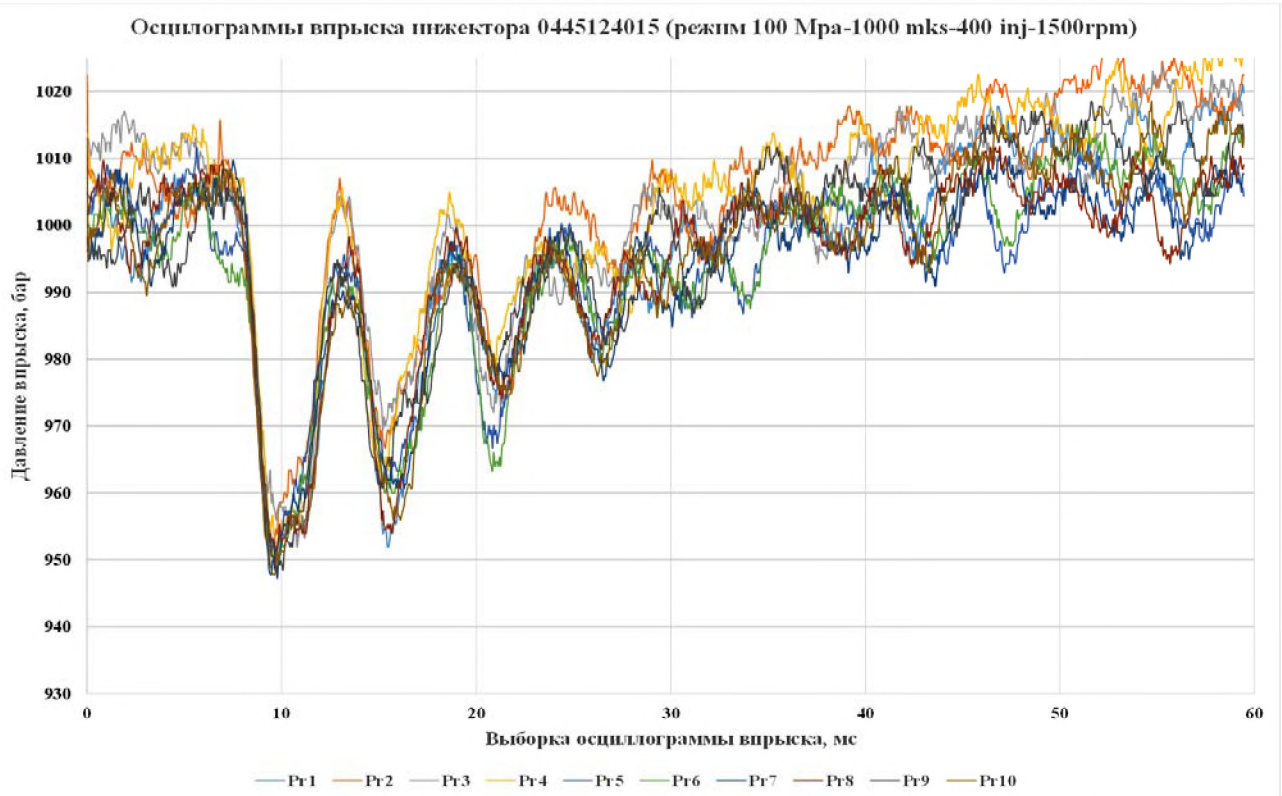


Рисунок 4. Частота вращения привода – 1500 мин<sup>-1</sup>; частота впрысков – 400

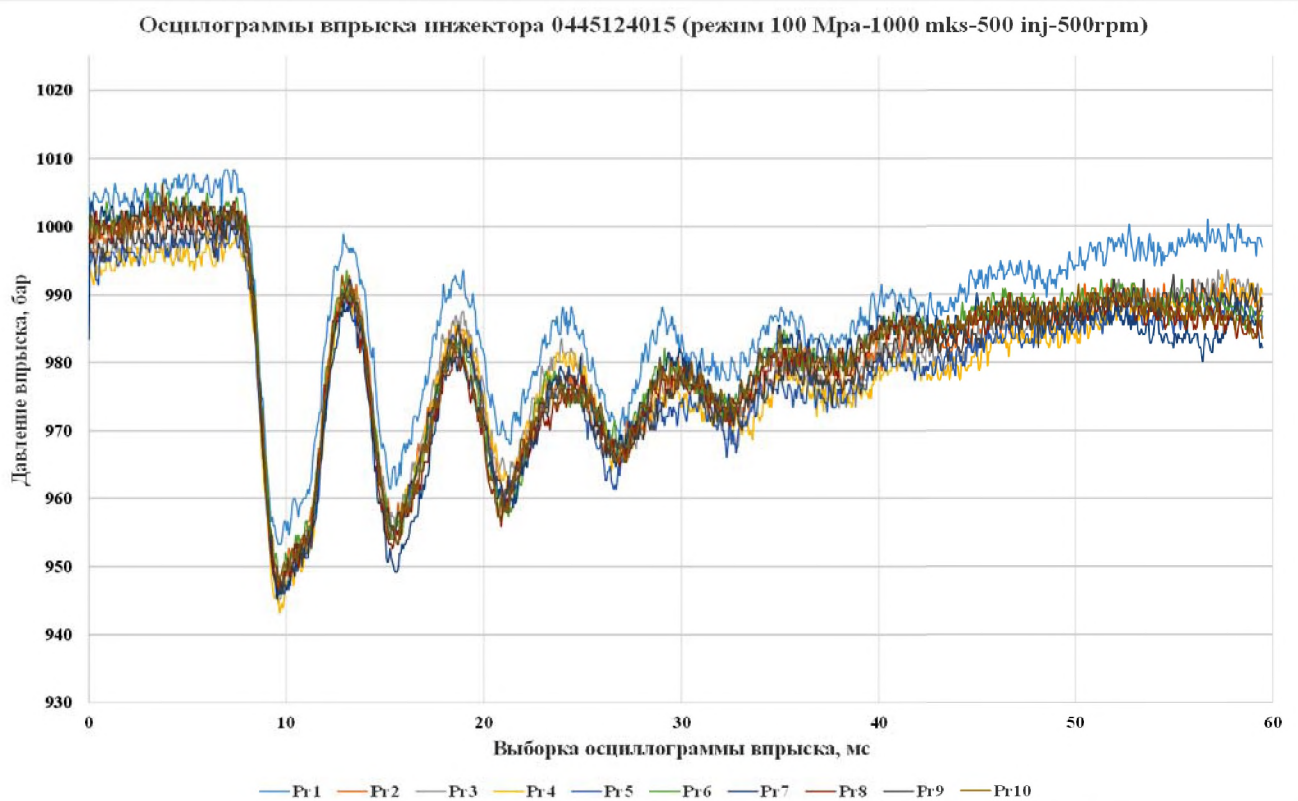


Рисунок 5. Частота вращения привода – 500 мин<sup>-1</sup>; частота впрысков – 500

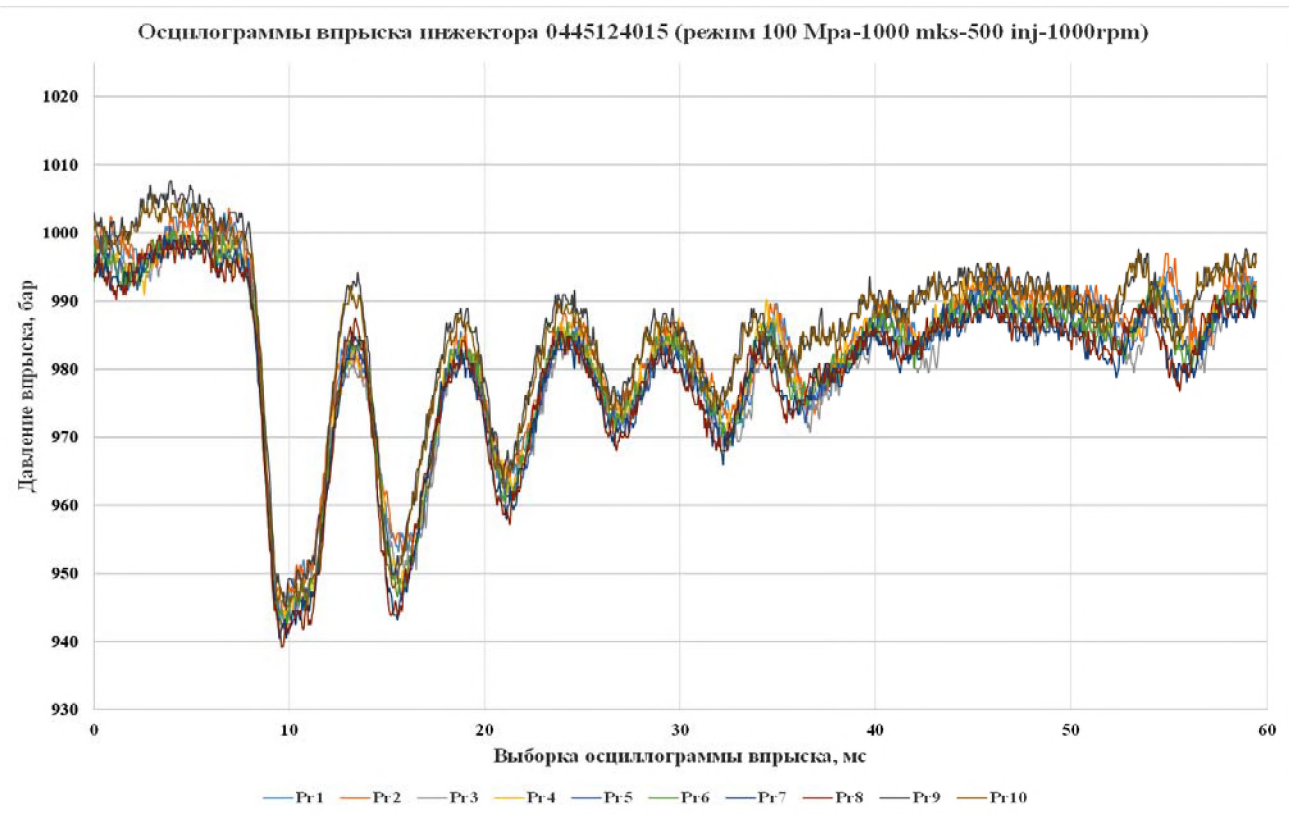


Рисунок 6. Частота вращения привода –  $1000 \text{ мин}^{-1}$ ; частота впрысков – 500

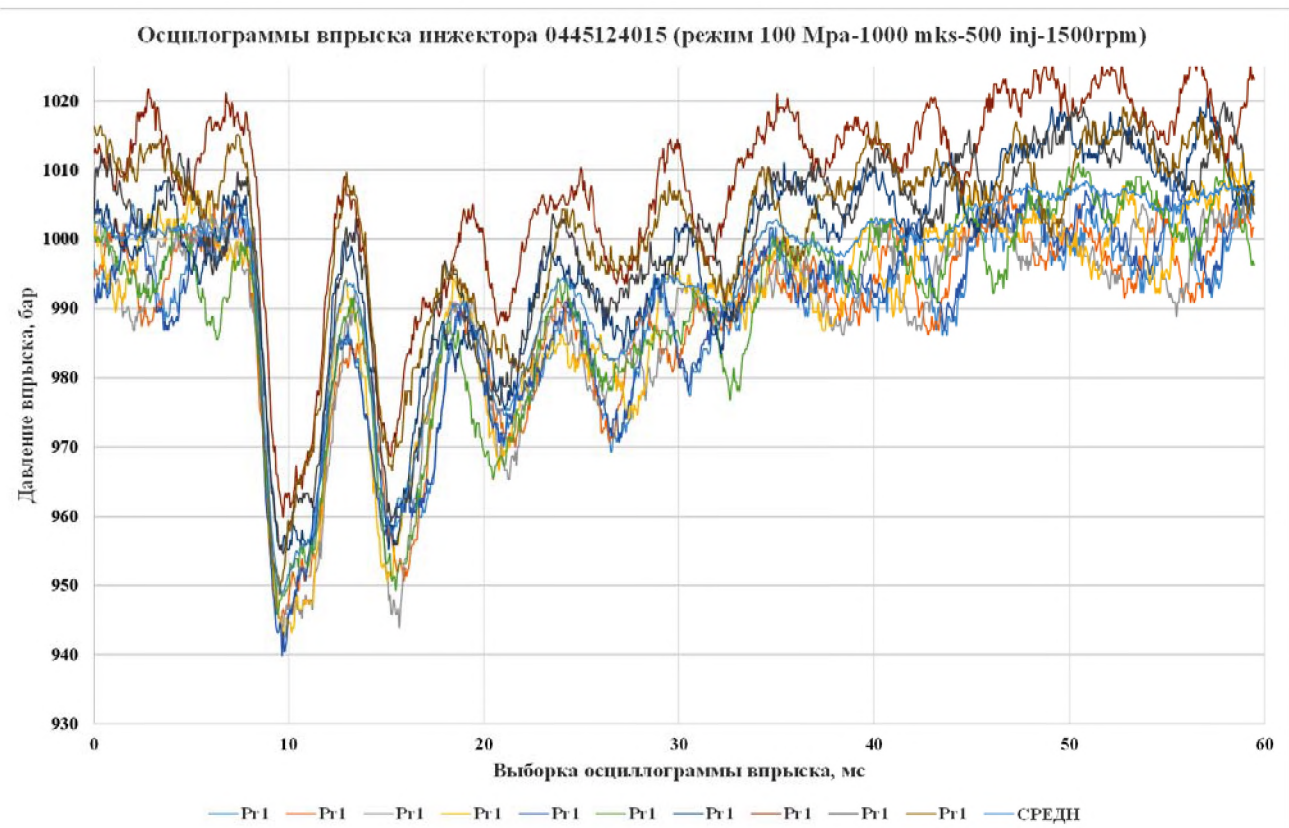


Рисунок 7. Частота вращения привода –  $1500 \text{ мин}^{-1}$ ; частота впрысков – 500

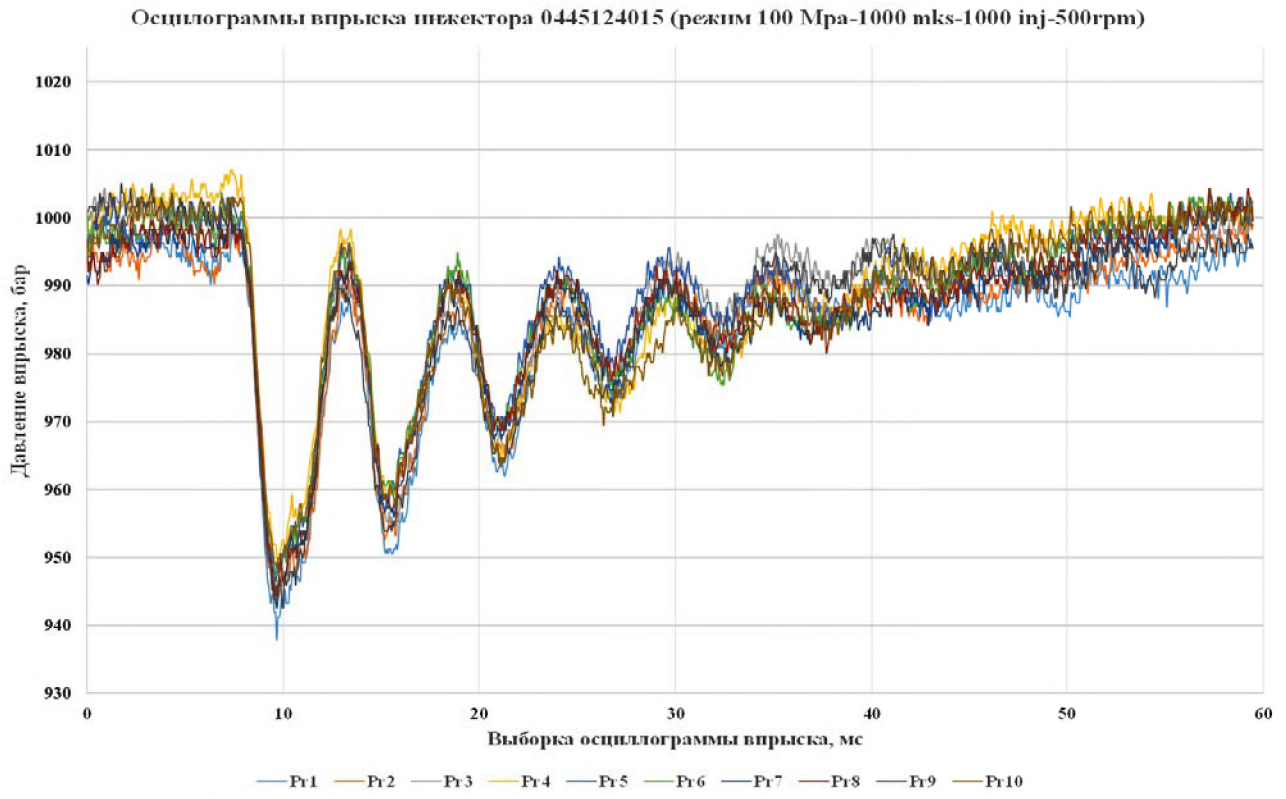


Рисунок 8. Частота вращения привода – 500 мин<sup>-1</sup>; частота впрысков – 1000

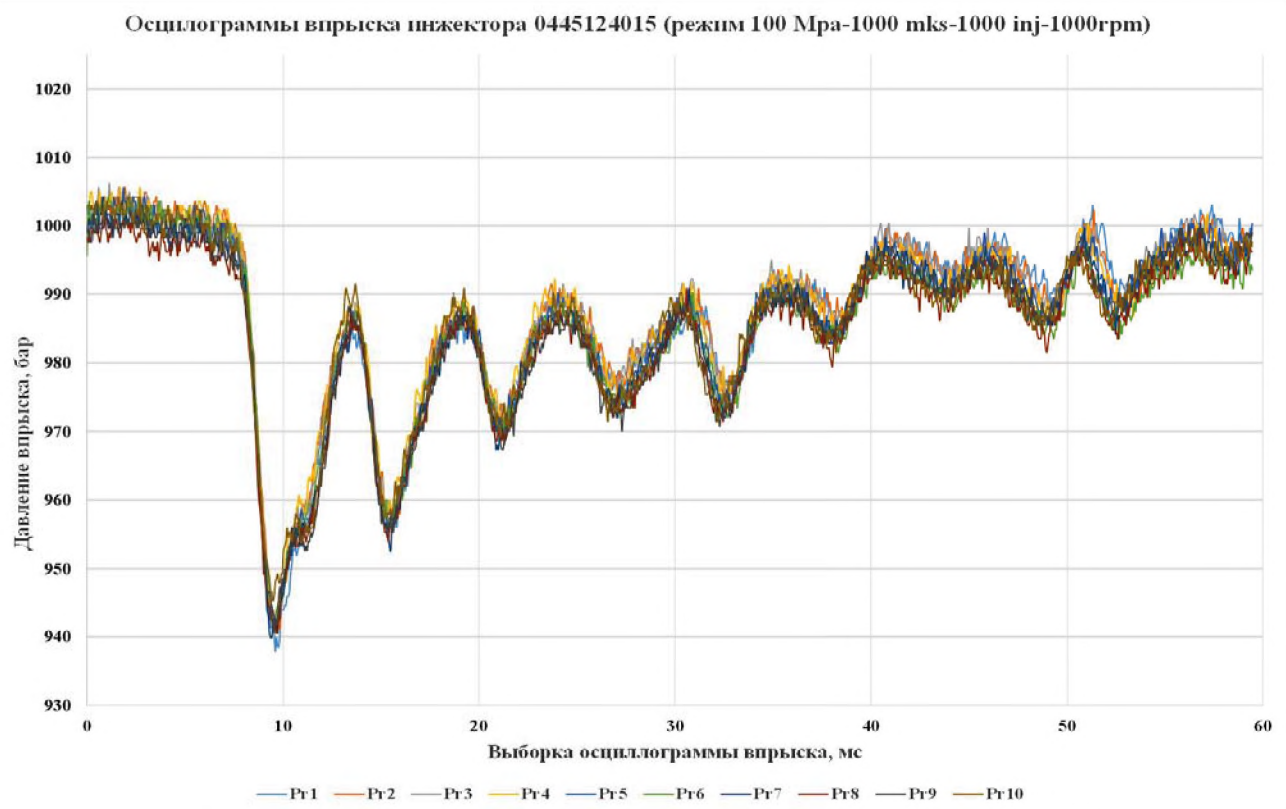


Рисунок 9. Частота вращения привода – 1000 мин<sup>-1</sup>; частота впрысков – 1000

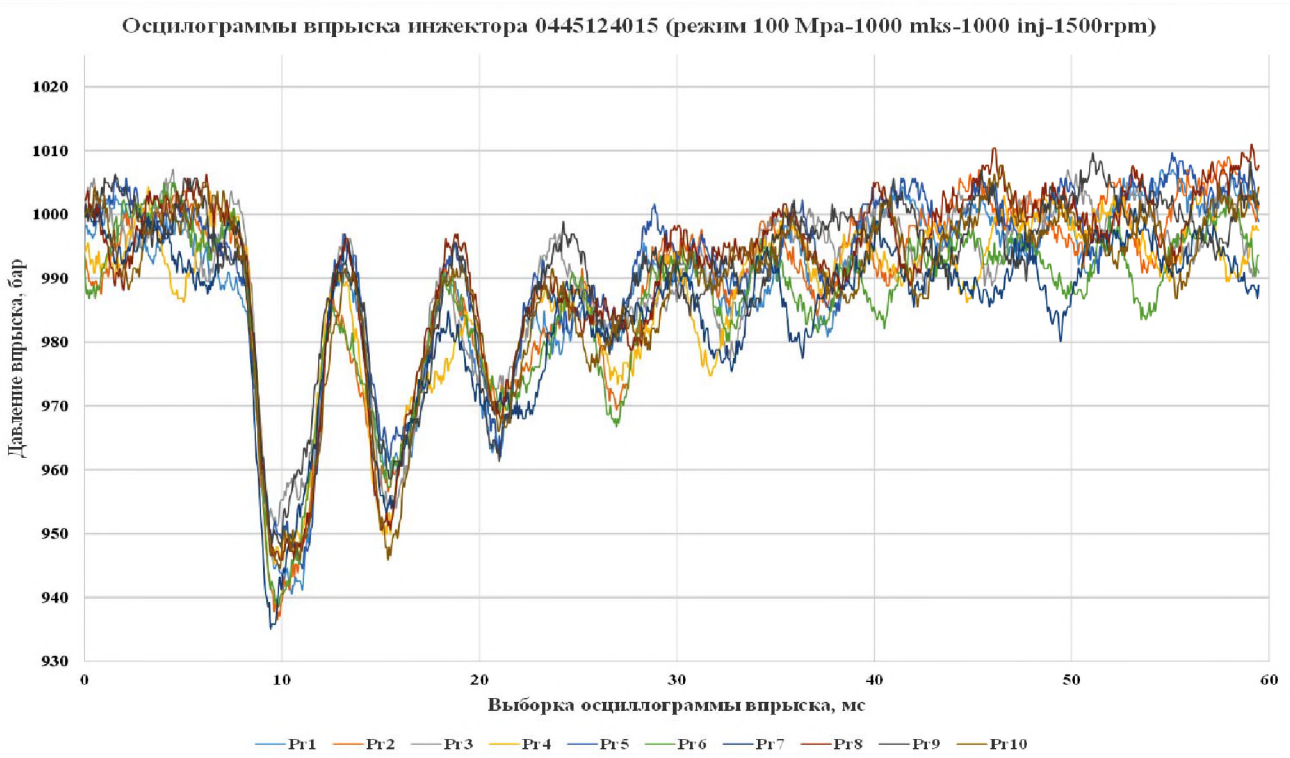


Рисунок 10. Частота вращения привода – 1500 мин<sup>-1</sup>; частота впрысков – 1000

частоты впрысков достигается в режиме 1000 мин<sup>-1</sup> и 1000 впрысков, где средняя дисперсия всех выборок минимальная и составляет 4,05368 МПа, а наихудшее сочетание параметров – 1500 мин<sup>-1</sup> и 500 впрысков, где средняя дисперсия всех выборок максимальная и составляет 63,85611 МПа.

Таблица 2. Результаты расчетов

Частота вращения привода, мин <sup>-1</sup>	Частота впрысков в минуту	Среднее значение всех дисперсий и всех выборок для каждого опыта $s_{ср}^2$ , МПа
500	400	9,553797
1000	400	10,47108
1500	400	32,86749
500	500	10,17334
1000	500	8,192794
1500	500	63,85611
500	1000	9,181798
1000	1000	4,053468
1500	1000	23,97162

### Заключение

Полученные результаты могут быть использованы для более качественной оценки работы модернизированных стендов, предназначенных для тестирования дизельных инжекторов CR.

Необходимо учитывать влияние таких факторов, как термостабилизация, стабильность частоты вращения, объем используемого на стенде рейла, геометрические параметры трубопроводов высокого

давления и других, которые могут влиять на стабильность показаний испытуемого инжектора CR.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Жданко, Д.А. Оценка технического состояния форсунок топливной системы COMMON RAIL на примере трактора «БЕЛАРУС» с двигателем Д-243.5S3B / Д.А. Жданко, О.О. Мухля // Агропанорама. – 2021. – № 5 (147). – С. 34-39.
2. Управление надежностью сельскохозяйственной техники методами диагностики и триботехники: монография / В.П. Миклуш [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2019. – 392 с.
3. Повышение надежности и расширение функциональных возможностей диагностического стенда для работы с ТНВД систем Common Rail / В.Е. Тарасенко [и др.] // Изобретатель. – Минск. – 2019. – № 7 (235). – С. 44-47.
4. Оценка технического состояния топливных насосов высокого давления Common Rail (ТНВД CR) автотракторных дизельных двигателей: учеб.-методич. пособие / В.Е. Тарасенко [и др.]. – Минск, БГАТУ, 2019. – 37 с.
5. Корнеев, В.М. Обоснование целесообразности модернизации стендов для испытания и регулировки дизельной топливной аппаратуры / В.М. Корнеев, М.Ю. Устинов // Международный научный журнал. – 2009. – № 1. – С. 54-57.
6. Корнеев, В.М. Модернизация средств технологического оснащения для испытания дизельной топ-

ливной аппаратуры: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / В.М. Корнеев. – Москва, 2004. – 214 с.

7. Тышкевич, Л.Н. Анализ методов и средств для диагностирования форсунок системы питания «COMMON RAIL» / Л.Н. Тышкевич, Б.В. Журавский // NovaInfo.Ru. – 2017. – № 65. – С. 22-26.

8. Электронное управление дизельными двигателями: учеб. пособие; перевод с англ. / ЗАО «Легион-Автодата». – Москва, 2010. – 96 с.

9. Хаширов, Ю.М. Улучшение показателей работы дизелей сельскохозяйственного назначения путем создания и внедрения системы эталонирования дизельной топливной аппаратуры в ремонтно-

обслуживающем производстве: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.03 / Ю.М. Хаширов. – Санкт-Петербург, 1998. – 280 с.

10. Сенин, П.В. Методы диагностики дизельной топливной аппаратуры / П.В. Сенин, П.А. Ионов, Е.А. Нуязин, Д.А. Галин // Сельский механизатор. – 2015. – № 10. – С. 32-36.

11. Курицкий, Б.Я. Поиск оптимальных решений средствами Excel 7.0 / Б.Я. Курицкий. – СПб.: ВНУ – Санкт-Петербург, 1997. – 384 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 27.02.2023

## **Система микропроцессорного автоматизированного регулирования положения распределительной штанги относительно обрабатываемой поверхности**

*Предназначена* для повышения равномерности внесения рабочего раствора пестицидов штанговыми опрыскивателями, снижения времени на подготовку агрегата к работе и его регулировки в процессе работы.

Система обеспечивает соблюдение постоянства расстояния между распылителями и обрабатываемой поверхностью в процессе работы опрыскивателя, как на склонах, так и на равнинной местности.



### **Основные технические данные**

Тип механизма изменения угла наклона штанги	Гидравлический
Тип системы	Микропроцессорная
Тип датчиков	Ультразвуковые
Диапазон измерения, м	0,4 – 2,0
Погрешность измерения расстояния между штангой и обрабатываемым объектом, м	0,040
Время готовности системы к работе, мин.	до 1
Напряжение питающей сети, В	=12 ± 2,5
Продолжительность постоянного измерительного сигнала, после которого вырабатывается управляющее воздействие на исполнительный привод, с	2
Масса, кг, не более	40