

## КОНТРОЛЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТОПЛИВОПОДАЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТОПЛИВОПОДАЧЕЙ ТЕПЛОВОЗНОГО ДИЗЕЛЯ ПО ДАВЛЕНИЮ В КОЛЛЕКТОРЕ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

**В.В.Грачев**

*д.т.н., профессор кафедры «Локомотивы и ЛХ» ФГБОУ ВО ПГУПС*

**А.В.Грищенко**

*д.т.н., профессор кафедры «Локомотивы и ЛХ» ФГБОУ ВО ПГУПС*

**Ф.Ю.Базилевский**

*к.т.н., доцент кафедры «Локомотивы и ЛХ» ФГБОУ ВО ПГУПС*

**Ю.Ю.Шумилов**

*ассистент кафедры «Локомотивы и ЛХ» ФГБОУ ВО ПГУПС*

**Ю.С.Федоров**

*инженер кафедры «Локомотивы и ЛХ» ФГБОУ ВО ПГУПС*

**Аннотация.** Дизели ряда выпускаемых в настоящее время тепловозов оборудуются системой электронного управления впрыском топлива ЭСУВТ разных модификаций, разработанной и изготавливаемой ООО «ППП Дизельавтоматика» (г. Саратов). Несмотря на высокий уровень надежности как электронного оборудования, так и электроуправляемых насосов высокого давления системы ЭСУВТ, в эксплуатации имеют место случаи нарушения работоспособности отдельных цилиндров. В подавляющем большинстве случаев причиной отказа является ухудшение технического состояния форсунки, тем не менее для проверки работоспособности агрегатов и локализации отказа приходится переставлять с одного цилиндра на другой (часто неоднократно) как форсунку, так и насос, что требует значительных затрат времени и может приводить к появлению отказов, связанных с нарушением технологии выполнения соответствующих операций. В статье предлагается метод контроля работоспособности топливоподающей аппаратуры по давлению в коллекторе низкого давления. Приводятся результаты экспериментальной проверки метода на стенде.

**Ключевые слова:** топливный насос высокого давления, форсунка, работоспособность, давление впрыска, преобразователь давления, коллектор низкого давления топлива.

### Постановка задачи

Широкое применение и совершенствование систем электронного управления топливоподачей является одним из основных направлений развития современного транспортного двигателестроения. Дизели выпускаемых в

настоящее время маневрового тепловоза ТЭМ18ДМ, магистральных грузовых тепловозов 2ТЭ25КМ, 3ТЭ28 оборудуются системой электронного управления впрыском топлива ЭСУВТ разных модификаций, разработанной и изготавливаемой ООО «ППП Дизельавтоматика» (г. Саратов) [1].

Не смотря на высокий уровень надежности как электронного оборудования, так и электроуправляемых насосов высокого давления (ЭУ ТНВД) системы ЭСУВТ, в эксплуатации регулярно имеют место случаи нарушения работоспособности отдельных цилиндров. В подавляющем большинстве случаев причиной отказа является ухудшение технического состояния форсунки (ЭУ ТНВД системы ЭСУВТ работают со штатными форсунками дизеля), тем не менее для проверки работоспособности агрегатов и локализации отказа приходится переставлять с одного цилиндра на другой (часто неоднократно) как форсунку, так и насос. Замена или перестановка ЭУ ТНВД представляет собой достаточно трудоемкую и ответственную операцию, связанную с демонтажом коллекторов низкого давления и проверкой установки толкателей привода для всех заменяемых или переустанавливаемых секций насосов [1]. Следствием пренебрежения этой операцией (которое, к сожалению, допускается часто и повсеместно) может быть разрушение корпуса ЭУ ТНВД плунжером.

В связи с вышесказанным актуальной является задача разработки простого и достоверного метода контроля работоспособности топливной аппаратуры высокого давления системы ЭСУВТ, не требующего их демонтажа и разборки топливной системы.

### **Выбор метода решения задачи**

В результате ряда экспериментов, выполненных в тепловозной лаборатории кафедры «Локомотивы и ЛХ» ФГБОУ ВО ПГУПС, авторами предлагается метод, основанный на контроле изменения давления топлива в коллекторах низкого давления.

Экспериментальная установка представляет собой дизель типа Д50, оборудованный системой электронного управления впрыском ЭСУВТ.01-02 [1] с дополнительно установленными на входе в питающий коллектор и на выходе из отсечного коллектора преобразователями давления типа МИДА-ПИ-51-0.2/6.0 МПа – М12-К [2], а также датчиком давления впрыска (ООО «Техтранс-Д»), установленным в трубку высокого давления топлива шестого цилиндра (рисунок 1). Питание датчиков осуществлялось от нестабилизированного источника питания во избежание зашумления сигнала импульсными помехами, для ввода сигналов использовался модуль ввода аналоговых сигналов USB-4716 (Advantech) [3].

Кроме того, регистрировались выходные сигналы преобразователя частоты вращения (ПЧВ) и преобразователя фазовой отметки (ПФО) системы ЭСУВТ для привязки кривых изменения давления к положению коленчатого вала.

Пример графического представления результатов измерения приведен на рисунке 2.

## Обсуждение результатов

На рисунке 3 представлен подробный анализ процесса топливоподачи в шестой цилиндр и соответствующие ему кривые изменения давления в питающем и отсечном коллекторах низкого давления.

Перед началом топливоподачи происходит постепенное увеличение давления в питающем коллекторе с 0,16 Мпа до 0,25 Мпа (участок 1 на рисунке 3), вызванное подъемом плунжера 1 электроуправляемого топливного насоса высокого давления (ЭУ ТНВД) при открытом перепускном канале клапана 6, через который топливо вытесняется из надплунжерной полости 10 в питающий коллектор 11 (рисунок 4).

Перед началом топливоподачи происходит постепенное увеличение давления в питающем коллекторе с 0,16 Мпа до 0,25 Мпа (участок 1 на рисунке 3), вызванное движением плунжера 1 ЭУ ТНВД при открытом перепускном канале клапана 6, через который топливо вытесняется из надплунжерной полости 10 в питающий коллектор 11 (рисунок 4).

В момент, когда поршень 6 клапана ЭУ ТНВД перекрывает сообщение надплунжерной полости 10 и питающего коллектора 11 (начало топливоподачи, рисунок 5), давление в питающем трубопроводе низкого давления начинает быстро снижаться (начало участка 2 на рисунке 3).

Это снижение вызвано инерционностью топлива в питающем коллекторе, которое в момент разобщения каналов всё еще продолжает перемещаться от ТНВД по питающему коллектору в сторону подпорного клапана, создавая область пониженного давления в районе всасывающего отверстия ТНВД, которая перемещается в сторону датчика 1 (рисунок 1) со скоростью распространения волны давления, которая для дизельного топлива в питающем коллекторе составляет 1333,84 м/с. Именно конечным значением этой скорости объясняется задержка в 0,75 мс от начала увеличения давления топлива в ТВД до начала снижения давления в питающем коллекторе (рисунок 3).

В момент отсечки поршень 6 электромагнитного клапана под действием возвратной пружины 9 перемещается влево и соединяет область высокого давления (надплунжерную полость) 10 вначале с отсечным коллектором низкого давления 16, а затем и с питающим 11 (рисунок 6), что приводит к резкому увеличению давления и волновым процессам в обоих коллекторах (рисунок 3).



Рисунок 1 – Установка преобразователей давления в топливную систему дизеля. 1 – преобразователь давления в питающем коллекторе низкого давления, 2 - преобразователь давления в отсечном коллекторе низкого давления, 3 – датчик давления впрыска шестого цилиндра.

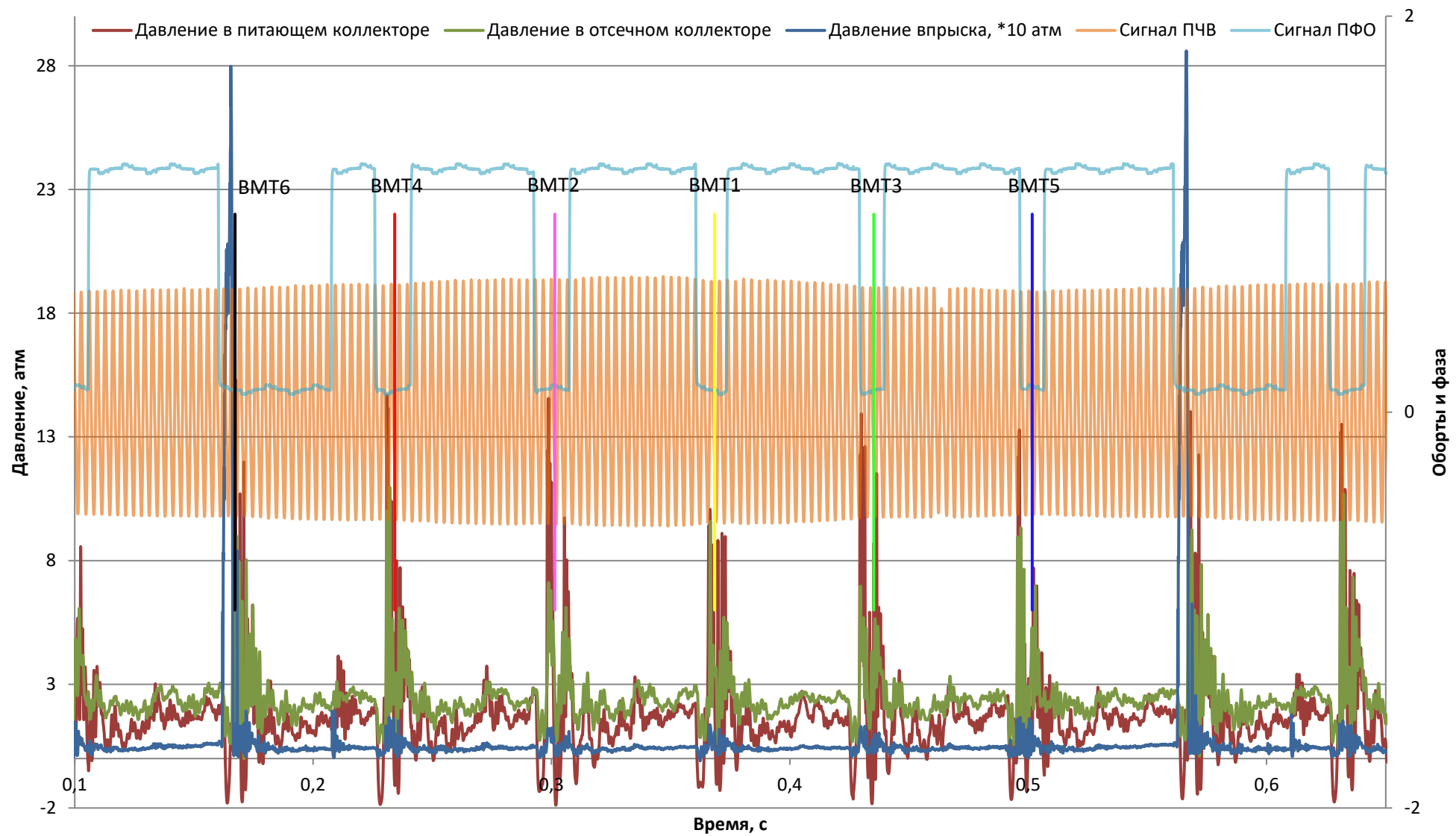


Рис.2 Результаты измерений давления в трубке высокого давления, питающем и отсечном коллекторах низкого давления за рабочий цикл; ПФО – преобразователь фазовой отметки; ПЧВ – преобразователь частоты вращения

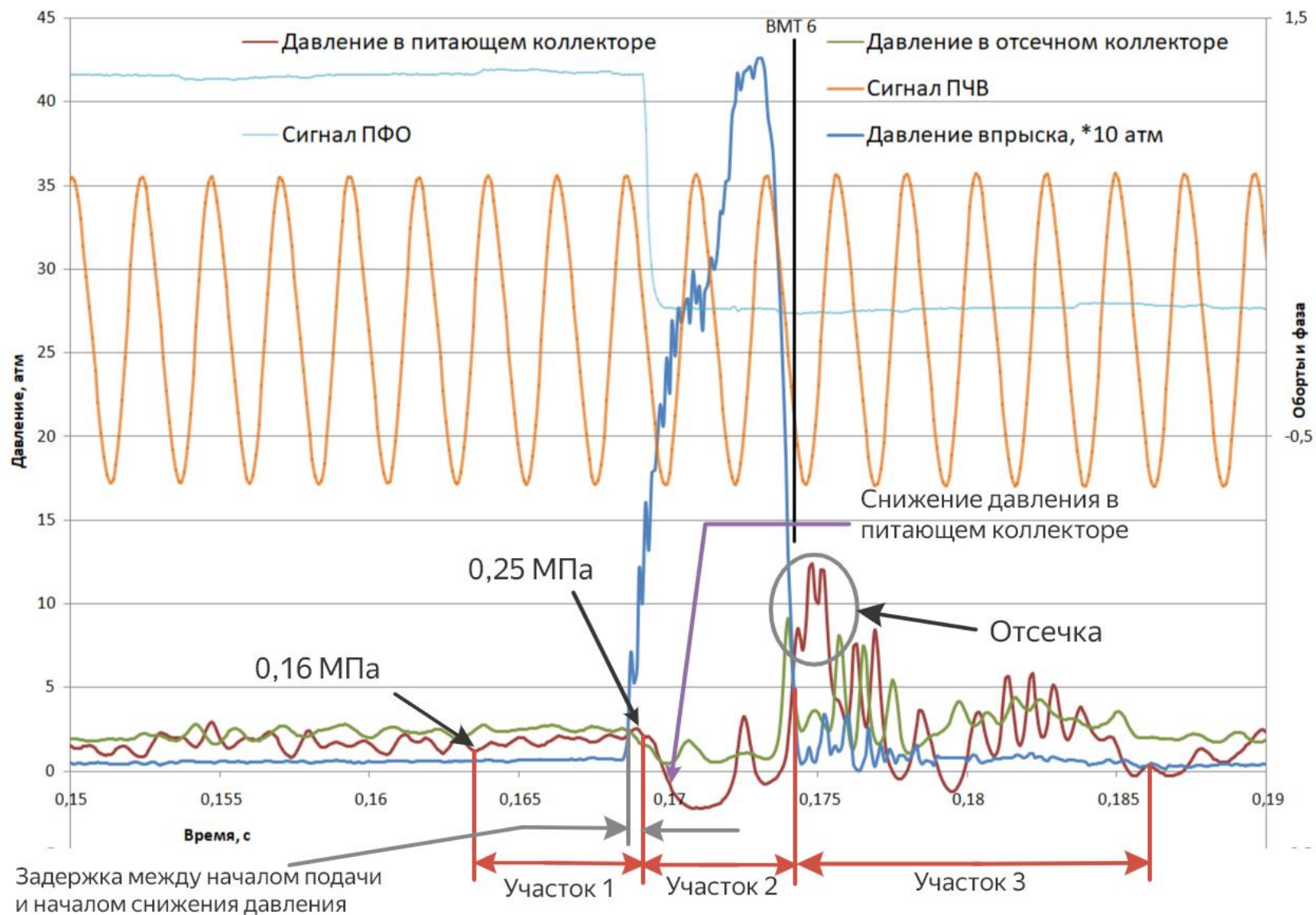


Рисунок 3 Изменение значений контролируемых параметров во время впрыска топлива в шестой цилиндр; ПФО – преобразователь фазовой отметки; ПЧВ – преобразователь частоты вращения

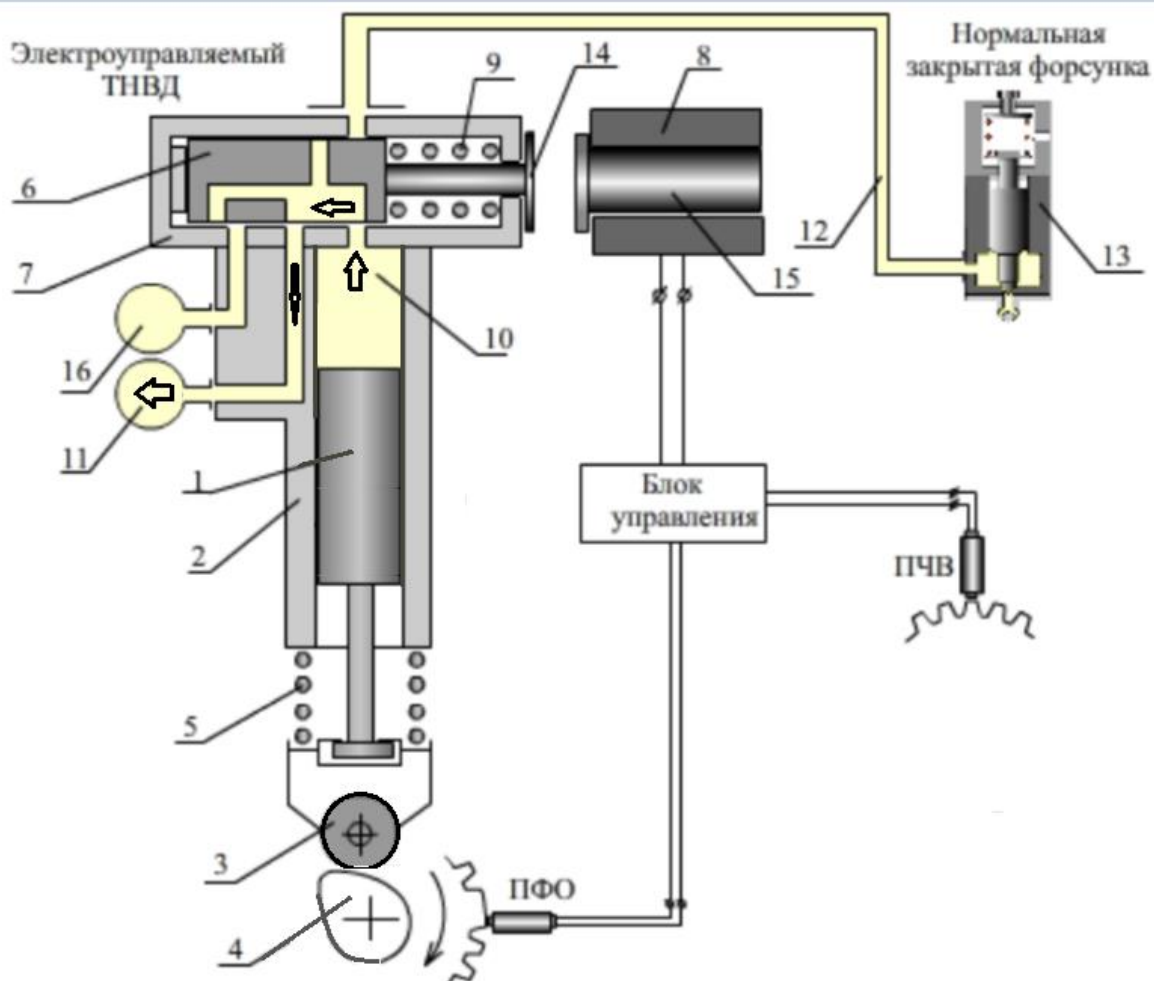


Рис.4. Схема системы электронного управления топливоподачей с электроуправляемым ТНВД (положение наполнения и начала движения плунжера). 1– плунжер; 2 – гильза плунжера; 3 – толкатель; 4 – кулачок распределительного вала; 5 – возвратная пружина плунжера; 6 – поршень клапана; 7 – втулка клапана; 8 – катушка электромагнита; 9 – пружина клапана; 10 – надплунжерный объем; 11 – питающий коллектор низкого давления; 12 – трубопровод высокого давления (ТВД); 13 – форсунка; 14 – тарелка поршня клапана; 15 – сердечник электромагнита; 16 – отсечной коллектор низкого давления.

Таким образом, изменение давления в питающем коллекторе низкого давления позволяет с высокой точностью отследить все этапы процесса топливоподачи: начало движения плунжера, момент срабатывания управляющего клапана ЭУ ТНВД, момент отключения клапана (отсечки). Амплитуда отсечного импульса давления в питающем и отсечном коллекторе косвенно характеризует давление впрыска топлива.

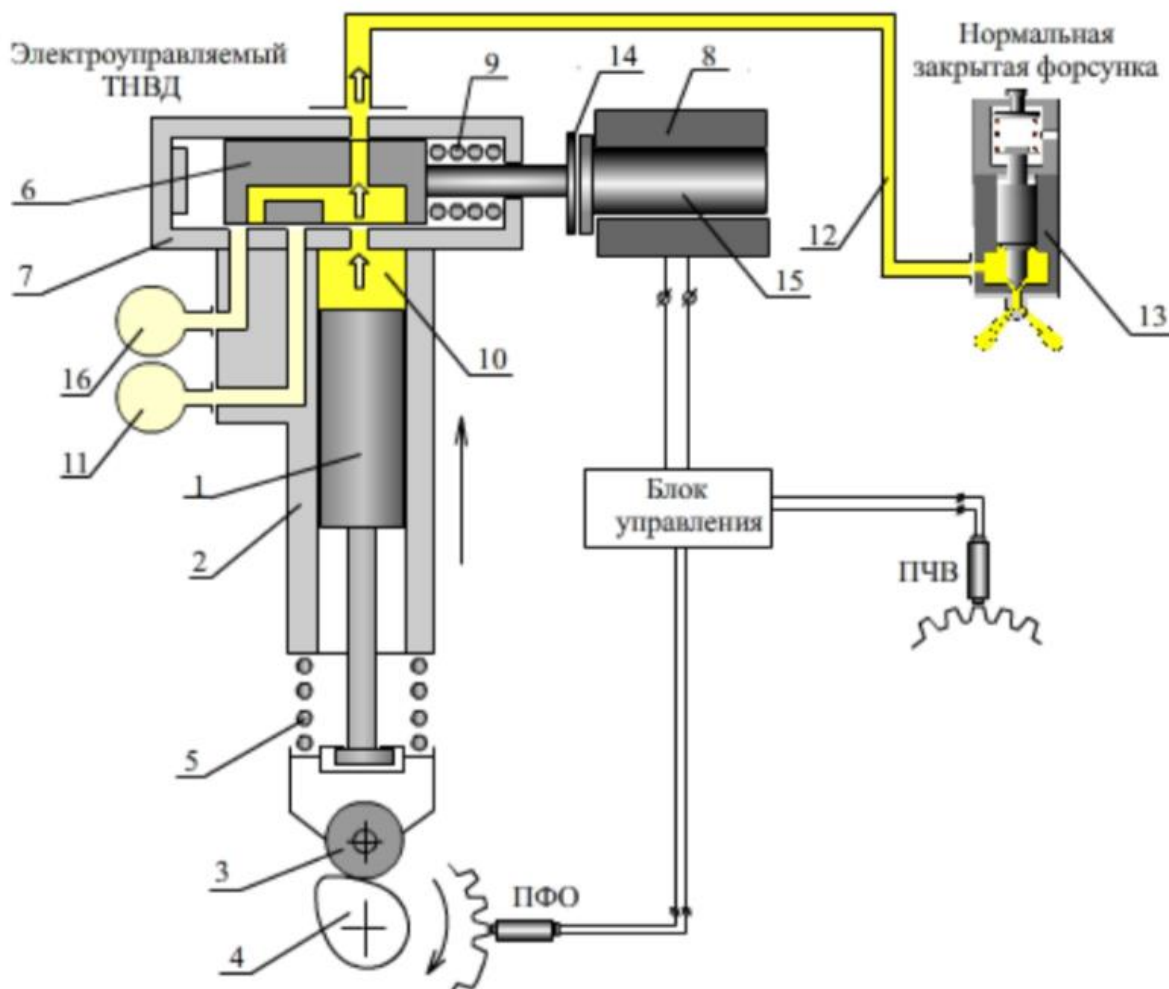


Рисунок 5- Схема системы электронного управления топливоподачей с электроуправляемым ТНВД (положение начала подачи)

Полная потеря работоспособности электроуправляемого насоса может быть вызвана двумя причинами: заклиниванием плунжерной пары или толкателя, либо неисправностью (отключением) управляющего клапана.

Контроль давления топлива в питающем коллекторе низкого давления позволяет не только надежно выявить прекращение топливоподачи насосом (рисунок 7), но и определить причину отказа.

При остановке плунжера (штатном отключении насоса остановкой толкателя), среднее давление в питающем коллекторе вблизи ВМТ соответствующего цилиндра остается примерно постоянным (рисунок 8), в то время, как при отключении насоса блоком управления ЭСУВТ (отключение электромагнита 8 управляющего клапана) наблюдается увеличение давления вследствие вытеснения топлива в коллектор движущимся плунжером (рисунок 9). После остановки плунжера давление плавно снижается.



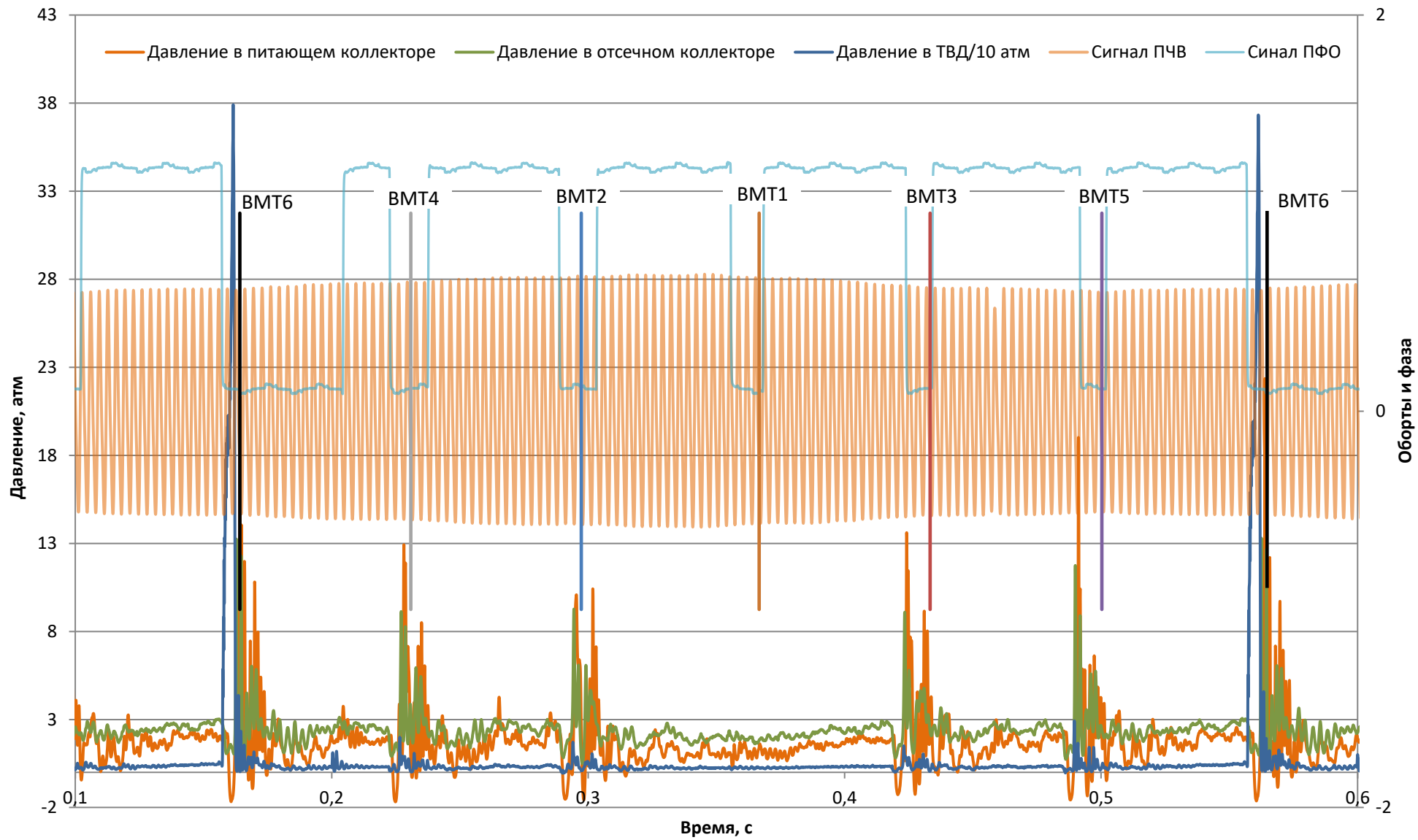


Рисунок 7 – Изменение давления в коллекторах низкого давления при отключении ЭУ ТНВД 1-го цилиндра толкателем

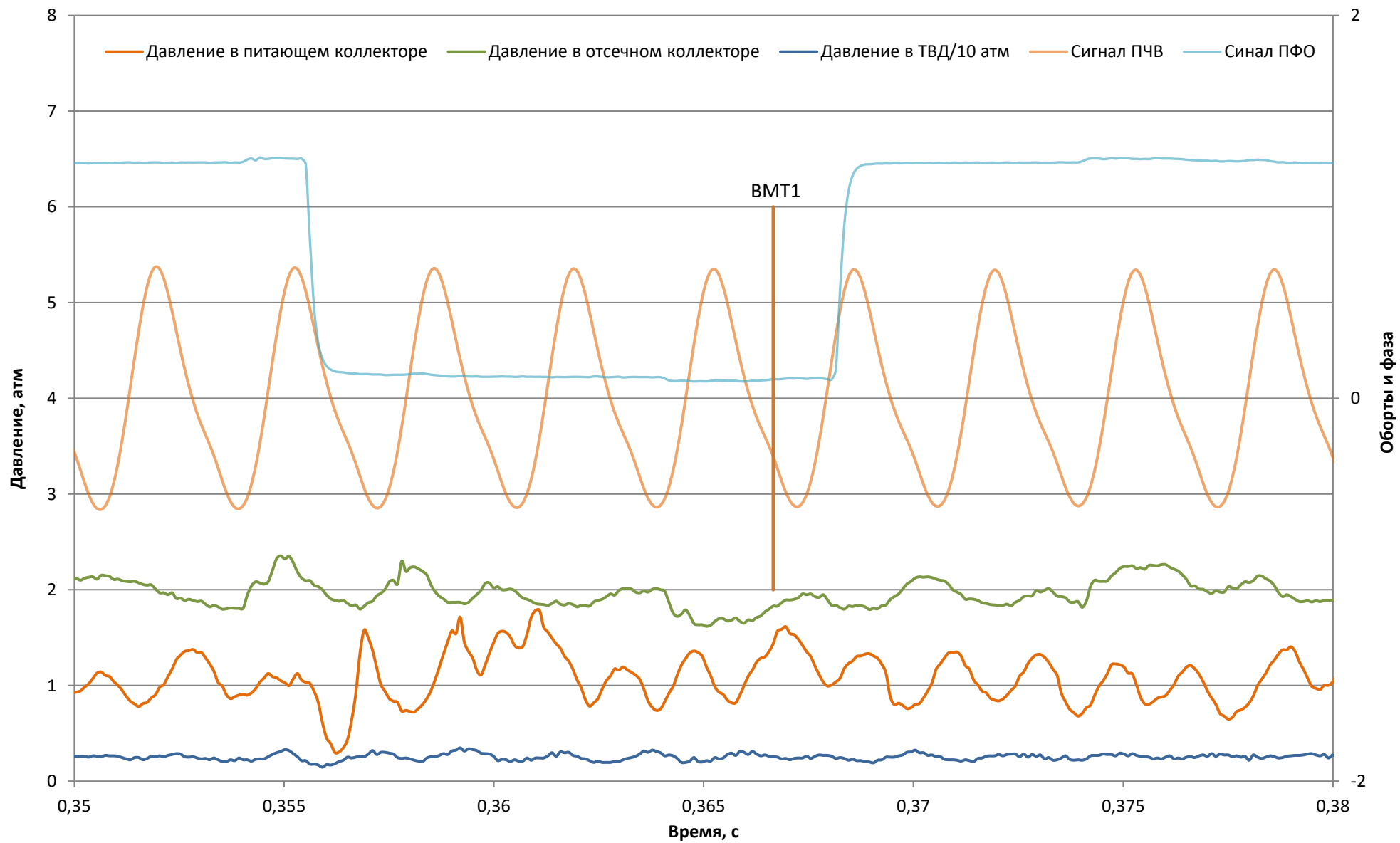


Рисунок 8 - Изменение давления в коллекторах низкого давления при отключении ЭУ ТНВД 1-го цилиндра толкателем

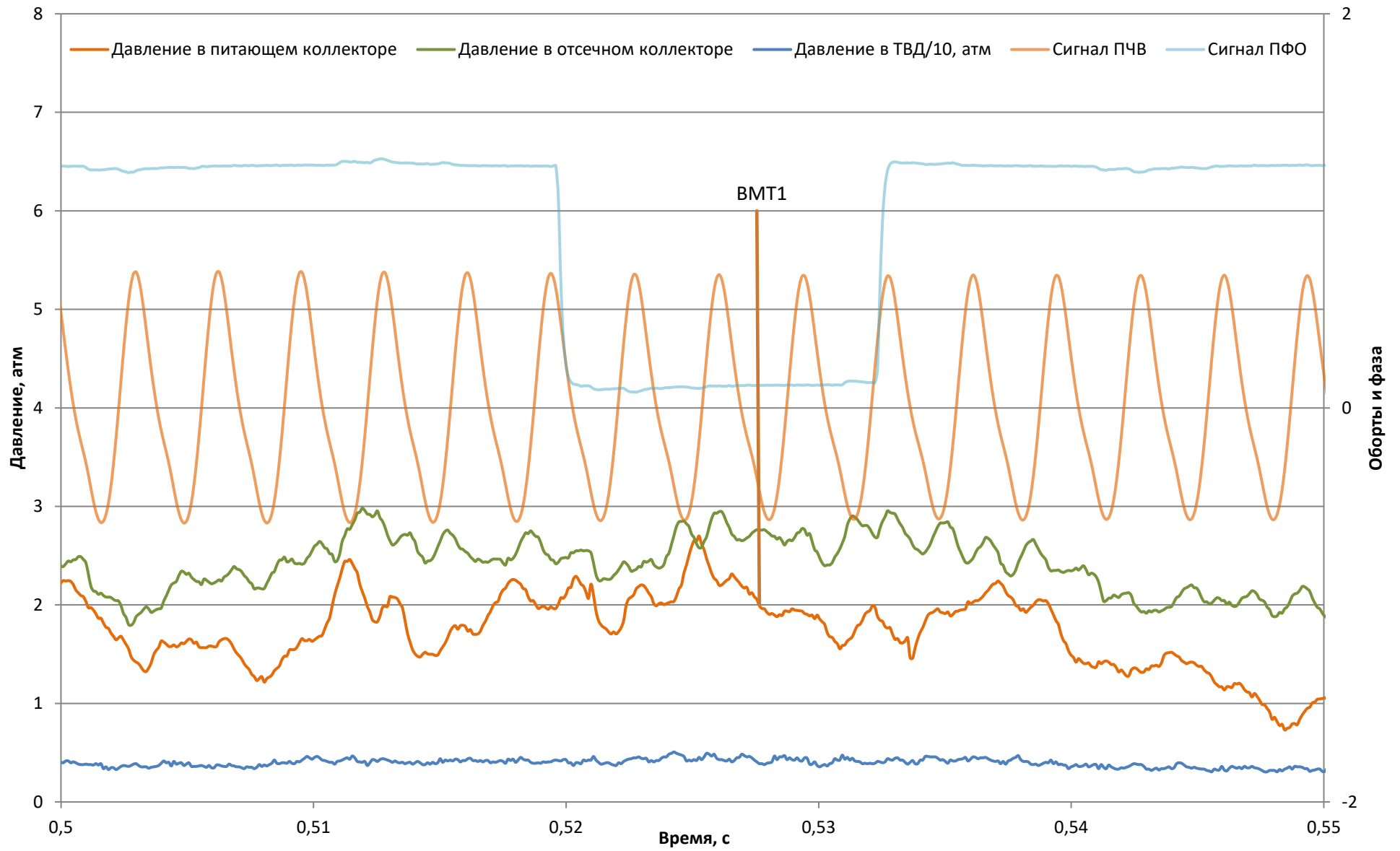


Рисунок 9 - Изменение давления в коллекторах низкого давления при отключении ЭУ ТНВД 1-го цилиндра блоком управления ЭСУВТ

3. Для контроля изменения давления в питающем коллекторе должен использоваться только быстродействующий аналоговый датчик или преобразователь давления без цифровой обработки сигнала с частотой дискретизации измерителя не менее 10 кГц.

#### Список использованных источников

1. Система электронного управления подачей топлива ЭСУВТ.01: ЭСУВТ.01.00.000 РЭ Руководство по эксплуатации // Саратов. – 2012. – 82 с., илл.

2. Преобразователи давления МИДА-ПИ-51/  
<http://www.midaus.com/katalog/preobrazovateli-davleniya/mida-pi-51.html> (дата обращения 14.03.2025).

3. USB-4716: Multifunction USB Module/ URL:  
[https://www.advantech.ru/products/1-2mlkno/usb-4716/mod\\_a3ab933c-c6d3-49eb-9d25-58cacccdef7a](https://www.advantech.ru/products/1-2mlkno/usb-4716/mod_a3ab933c-c6d3-49eb-9d25-58cacccdef7a) (дата обращения 09.08.2022)