

# Проект «Модернизация дизеля»



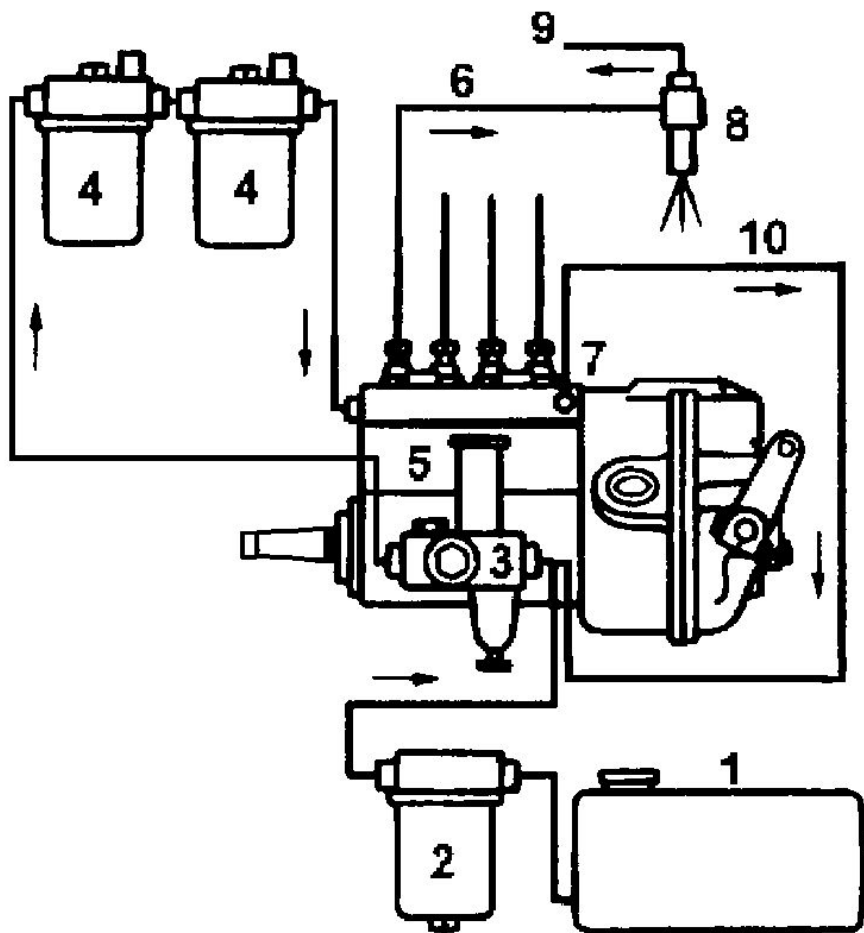
**Рисунок 1 - Трактор «Агромаш-90ТГ» с модернизируемым дизелем А-41СИ**

- Одним из направлений совершенствования топливных систем дизелей является обеспечение лучшего их функционирования в условиях эксплуатации, так как при стендовых испытаниях дизелей не достигаются параметры впрыска топлива, полученные при безмоторных испытаниях топливных систем. Кроме проблем линии низкого давления, качества топлива, существуют другие отличия условий работы: влияние противодавления, **подогрева топлива**, менее благоприятные характеристики привода топливного насоса высокого давления.



**Рисунок 2 - Модернизируемый  
дизель А-41СИ**

- Кроме проблем линии низкого давления, качества топлива, существуют другие отличия условий работы: влияние противодавления, подогрева топлива, менее благоприятные характеристики привода топливного насоса высокого давления.
- Решение этих проблем поможет обеспечить более высокий технический уровень дизелей.
- Подогрев топлива увеличивает его сжимаемость. Хорошо известно, что даже при безмоторных испытаниях топливо нагревается. Это приводит к изменению его параметров. Чем больше сжимаемость, тем меньше закон движения плунжера влияет на характеристику впрыска. Коэффициент сжимаемости увеличивается с ростом температуры, уменьшением давления и плотности топлива.



**Рисунок 3 - Схема топливной системы дизеля А-41СИ в составе трактора «Агромаш-90ТГ»**

- Таким образом, рост температуры топлива - существенный отрицательный фактор, снижающий давление впрыска топлива. Существенными тепловыми факторами в процессе топливоподачи являются: разогрев топлива в результате сжатия, теплоподвод к топливу от стенок, диссипация механической энергии, фазовые переходы. До недавнего времени учет тепловых факторов не осуществлялся.
- Рисунок 4 показывает кривые давлений впрыска, рассчитанные с учетом и без учета тепловых эффектов. Видно, что в дизеле Д49 при их учете давление впрыскивания уменьшилось на 7,3 МПа, изменилась фаза топливоподачи. Что является доказательством необходимости учета тепловых эффектов.

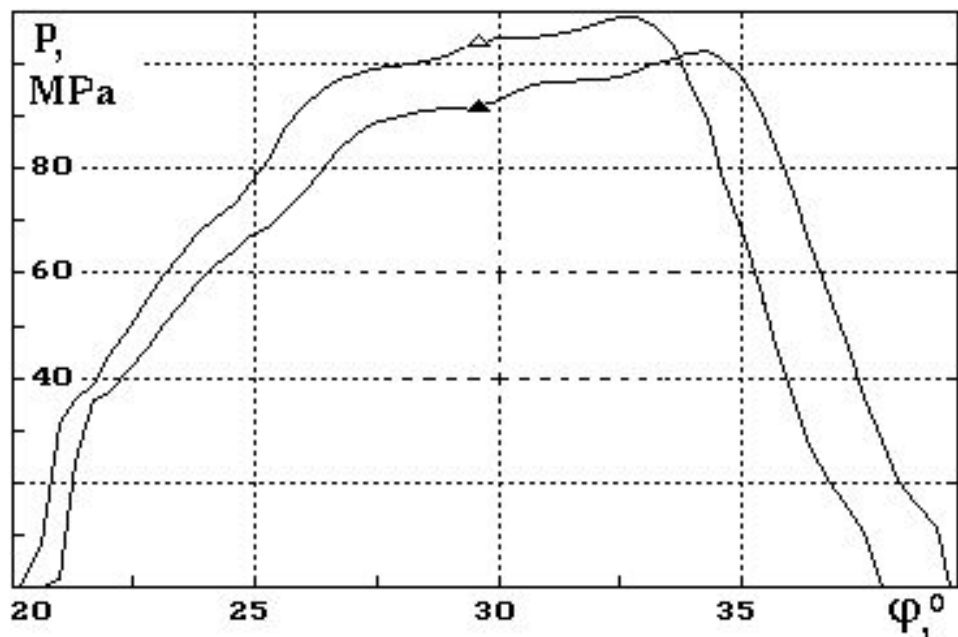


Рисунок 4 - Расчет давления впрыска в дизеле Д-49: без расчета тепловых эффектов, температура топлива и всех деталей топливной системы равна  $+30^\circ\text{C}$ ; с расчетом тепловых эффектов, температура насоса и топлива в нем  $+30^\circ\text{C}$ , температура топлива в форсунке  $+100^\circ\text{C}$ , температура форсунки  $+120^\circ\text{C}$ ;  $\varphi$  – угол поворота кулачкового вала

Известно об исследовании с искусственным подогревом дизельного топлива в топливопроводе высокого давления на безмоторном стенде и при стендовых испытаниях дизеля Д144. Подогрев приводил чаще всего к негативным результатам. Например, цикловая подача снизилась с 50 до 31 мг, максимальное давление впрыска с 45 до 27 МПа. После компенсации цикловой подачи максимальное давление впрыска составило 31,5 МПа, но появилось интенсивное подвпрыскивание (Рисунок 5). В первую очередь, это обусловлено увеличением сжимаемости топлива. Экономичность дизеля на стенде ухудшалась, и лишь в узкой области на частичных нагрузках нагрев до  $100^\circ\text{C}$  привел к снижению удельного эффективного расхода топлива на 4 г/кВт·ч.

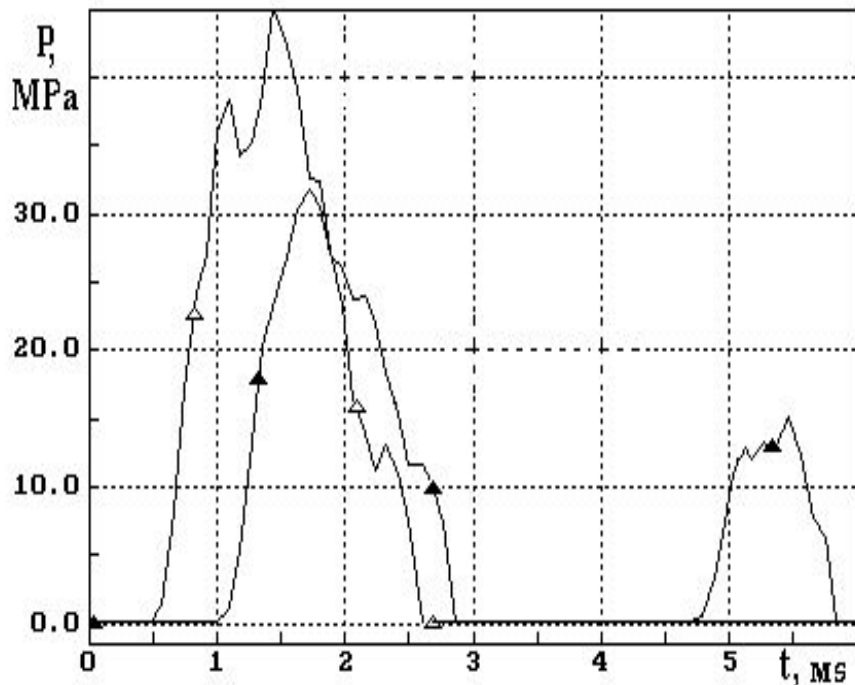


Рисунок 5 - Давление впрыска при безмоторном испытании и подогреве топливопровода: температура топливопровода + 35°C; температура топливопровода + 180°C; t – время процесса, ms.

Одна из составляющих подогрева топлива – разогрев в результате сжатия (см. рисунок 6).

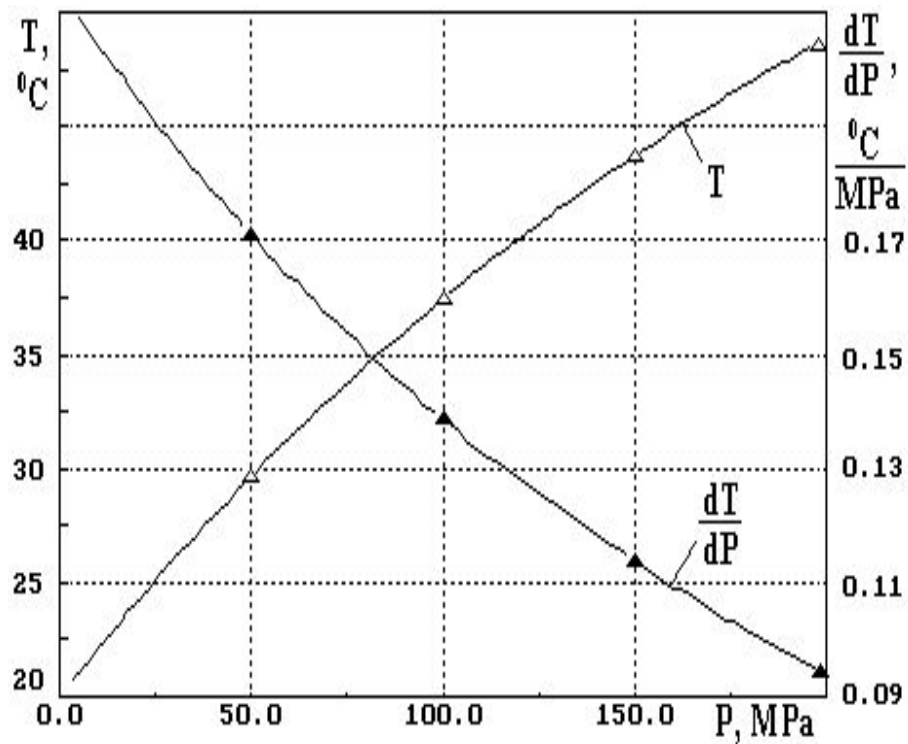


Рисунок 6 – Адиабатный разогрев дизельного топлива в результате сжатия

- Исследование с подогревом и измерением температуры топливопровода, измерением мгновенной температуры дизельного топлива в процессе топливоподдачи проводилось в Московском государственном техническом университете им. Баумана на топливной системе дизеля В-46 (см. рисунок 7).
- При температуре топливопровода не выше начальной температуры топлива замечено следующее: измеренная температура топлива ниже вычисленной по формуле для адиабатной работы сжатия. В первую очередь это свидетельствует о значимости теплообмена со стенками топливопровода.
- Если температура топливопровода и топлива близки, то сжатое топливо передает тепло стенкам, в результате максимальная и конечная температура уменьшается.
- Если стенки топливопровода более горячие, чем топливо, то имеется необратимый рост температуры топлива в процессе топливоподдачи.

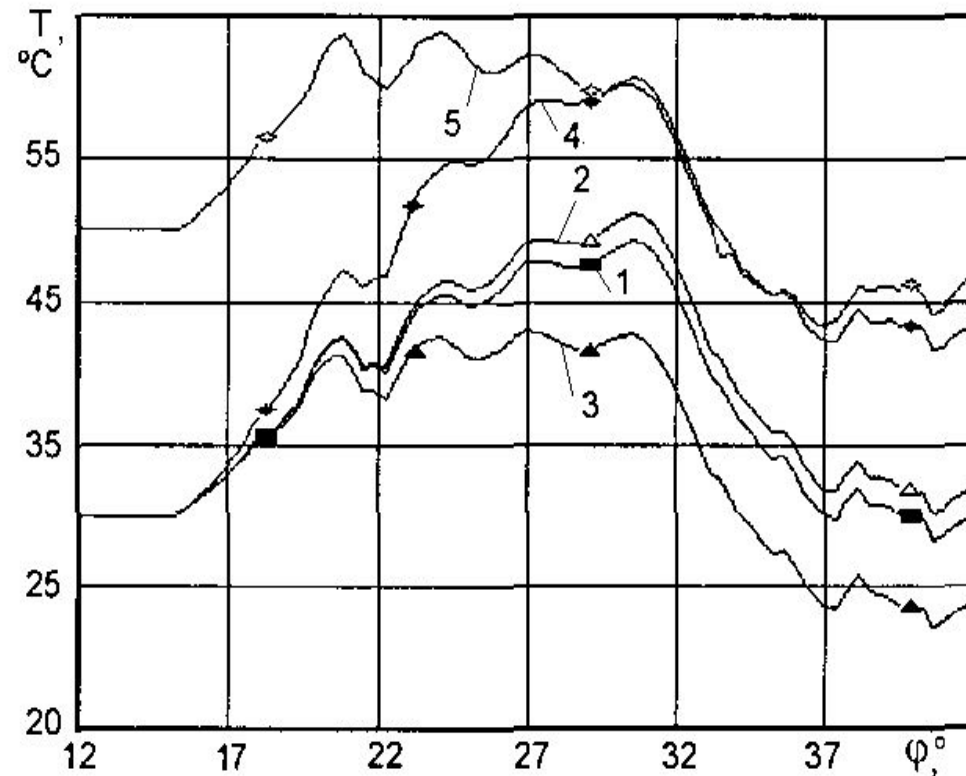


Рисунок 7 - Расчетная мгновенная температура топлива в середине топливопровода при топливоподдаче с давлением 146 МПа: 1 - учет нагрева в результате сжатия; 2 - то же и теплота трения; 3 - то же и теплообмен при начальной температуре топлива и деталей топливной системы равной  $+30^\circ\text{C}$ ; 4 - то же при начальных температурах топлива  $+30^\circ\text{C}$  и деталей топливной системы равной  $+65^\circ\text{C}$ ; 5 - то же при начальных температуре топлива и ТНВД равной  $+30^\circ\text{C}$ , температуре форсунки  $+120^\circ\text{C}$  и топлива в ней равной  $+70^\circ\text{C}$ .

- Больше соответствует реальности случай, когда температуры топлива и топливопровода увеличиваются от насоса к форсунке. Несмотря на то, что в этом случае температура стенки в середине топливопровода выше температуры топлива (75 и 50°C соответственно), температура топлива после впрыска меньше начальной. Это объясняется поступлением новой холодной порции топлива от насоса. Далее эта порция топлива прогреется до начальной температуры.
- Всё вышесказанное четко показывает важность изучения и учета тепловых эффектов при проектировании и эксплуатации топливной аппаратуры дизелей.
- В одном источнике делается вывод об отсутствии необходимости учета тепловых эффектов для топливной аппаратуры с максимальными давлениями впрыска 20...50 МПа без интенсивного газообразования. Этот вывод, вероятно, делается по причине меньшего разогрева топлива от сжатия в такой аппаратуре.
- Однако, если посмотреть на рисунок 7 и сравнить кривые (3) и (5), то можно увидеть, что даже при давлении подачи 146 МПа около 40% составляет доля повышения температуры от сжатия и около 60% - доля подогрева от стенок. То есть наиболее значимым фактором является подогрев от стенок. Он не зависит от давления и повышает температуру топлива при давлении до 50 МПа.
- Автор этой статьи предполагает, что при эксплуатации дизеля в моторном отсеке трактора «Агромаш-90ТГ-А», подогрев топлива будет еще больше, чем при стендовых испытаниях дизеля. Основанием для этого предположения являются данные: воздух в моторном отсеке автомобиля в жаркое время нагревается до 80...100°C.
- Известно, что сертификационные испытания дизелей тракторов и сельскохозяйственных машин проводятся на моторных стендах без моторного отсека, вентилятора, радиаторов.

- Автор проекта предполагает, что при эксплуатации дизеля в моторном отсеке трактора подогрев топлива будет еще выше, чем при стендовых испытаниях дизеля, что еще ухудшит мощностные, экономические и экологические показатели дизеля.
- В системах непосредственного действия с блочным ТНВД с подогревом топлива борются только в линии низкого давления (ЛНД). Это осуществляется с помощью выбора схемы циркуляции топлива в ЛНД и параметров топливоподкачивающего насоса (ТПН). Он проектируется с запасом по производительности и напору. Это необходимо для подавления, вымывания газовой фазы и охлаждения ТНВД. Подача ТПН в 3...10 раз превышает номинальную цикловую подачу через форсунки, напор обычно равен 0,1...0,5 МПа.
- По схеме циркуляции топлива в ЛНД топливные системы традиционного типа классифицируют на тупиковые, проточные и замкнутые. Каждая из схем находит своё применение, имеет достоинства и недостатки.
- В замкнутой системе (рисунок 3) топливо циркулирует, минуя бак, слив осуществляется на вход ФГО или ТПН. Такая схема больше подходит для холодного климата и хуже - для теплого. В ней отсутствуют условия для отделения из топлива пузырьков воздуха и газов. Топливная система дизеля А-41СИ-01 трактора «Агромаш-90ТГ» является замкнутой.
- В проточной и замкнутой схемах циркуляции топлива дренаж форсунок осуществляется через топливопроводы 9 (рисунок 3). При этом топливо может отводиться в топливный бак, впускной коллектор или в любую точку ЛНД до ТПН.



- Замкнутую схему применяют в большинстве дизелей для сельскохозяйственных машин, например, на тракторах МТЗ-82, Т-40, ДТ-75М, Агромаш-90ТГ-А» и др.
- В проточной схеме топливо циркулирует по кругу, в который последовательно включены все агрегаты топливной системы, т.е. ТНВД непрерывно промывается топливом. Все топливо, проходящее через перепускной клапан 7, направляется в бак 1. Для устранения перегрева топлива, бак используют как радиатор, и слив осуществляется в верхней его части. Напротив, для улучшения эксплуатации зимой перепускаемое топливо подается к нижнему заборному штуцеру бака, разогревая пространство вокруг него – это решение применяется в судовой и авиационной технике.
- В тупиковой системе, в отличие от остальных схем, отсутствует слив топлива после ТПН через перепускной клапан 7 и отсутствует слив топлива в бак 1. Один из недостатков такой системы - завоздушивание пузырьками газа, попавшими в топливо или выделившегося из него при работе дизеля. Такая схема применяется, например, на тракторах Челябинского тракторного завода.
- Наибольший нагрев топлива характерен для тупиковой и замкнутой топливных систем. Для уменьшения подогрева топлива в них необходимо применение дополнительных мероприятий, кроме схемы циркуляции и параметров ТПН. При рядовых условиях дизельное топливо нагревается от 20...40°С до 70...100°С, двигаясь к соплам распылителя.

- Ни одна из схем циркуляции не влияет на подогрев топлива в линии высокого давления (ЛВД).
- Автор проекта предлагает для уменьшения подогрева топлива применить теплоизоляцию элементов линии низкого и высокого давления, что предположительно, снизит теплоподвод к топливу от стенок деталей топливной аппаратуры. Нагрев стенок, предположительно, происходит в основном от горячего воздуха вокруг деталей топливной системы.
- Предложенное мероприятие позволит снизить температуру топлива, приблизить параметры впрыска при эксплуатации к тем, которые получают при безмоторных испытаниях топливной аппаратуры дизелей. Это улучшит эксплуатационный расход топлива, мощность и уменьшит количество выбросов вредных веществ с отработавшими газами.

- Остальная информация изложена в описании проекта.

### Список литературы

- 1. Bazhenov, S. P.; Kaz'min, B. N.; Nosov, S. V. Bases of operation and car repairs and tractors (Основы эксплуатации и ремонта автомобилей и тракторов). Moscow: Tsentr «Akademiya», 2005. 400 p. URL://[http://www.stu.lipetsk.ru/files/materials/1453/at\\_oerat\\_uch.pdf](http://www.stu.lipetsk.ru/files/materials/1453/at_oerat_uch.pdf). (in Russian).
- 2. Gabitov, I. I.; Grekhov, L. V.; Negovora, A. V. Maintenance operation and preliminary treatment of the fuel equipment of autotractor diesel engines (Техническое обслуживание и диагностика топливной аппаратуры автотракторных дизелей). Moscow: Legion–Autodate, 2008. 248 p. (in Russian).
- 3. Grekhov, L.V. Accumulative fuel systems of internal-combustion engines such as Common Rail (Аккумуляторные топливные системы двигателей внутреннего сгорания типа Common Rail). Moscow: Moscow State Technical University, 2000. 64 p., (in Russian).

- 4. Grekhov, L.V.; Ivaschenko, N.A.; Markov, V.A. The fuel equipment and control systems of diesel engines. (Топливная аппаратура и системы управления дизелей). Moscow: Legion–Autodate, 2004. 344 p. (in Russian).
- 5. Tausenev, E.; Svistula, A. The research into the disaxial cam mechanism for diesel fuel-injection pump // TRANSPORT. Vilnius: Technika, 2005, Vol XX. Nr. 6. p. 225-231. ISSN 1648 - 4142.
- 6. Applied software INJECTION. Moscow State Technical University, 2011. URL://http://energy.power.bmstu.ru/e02/inject/i01eng.htm.
- 7. Kostin, A. K.; Pugachev, B. P; Kochinev, U. U. Work of diesel under operating conditions (Работа дизелей в условиях эксплуатации). Leningrad: Mashinostroenie, 1989. 284 p. (in Russian).
- 8. Kuznetsov, G. F. Thermal isolation (Тепловая изоляция). Moscow: Stroyizdat, 1985. 421 p. (in Russian).
- 9. Tyunin, A. A. Preliminary treatment of electronic control systems by engines of cars (Диагностика электронных систем управления двигателями легковых автомобилей). Moscow: SOLON-PRESS, 2007. 352 p. (in Russian).
- 10. Car operation in adverse conditions. (Эксплуатация автомобиля в неблагоприятных условиях) Article from the Website on automotive industry, 2011. URL://http://www.alechenkov.ru/zkspluatazuz/qkspluatazua/index.html. (in Russian).