

01, январь 2016

УДК 621.436

Повышение технико-экономических показателей транспортного дизеля с регулируемой степенью сжатия

***Гуртовой А. В.**, магистр*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Поршневые двигатели»*

*Научный руководитель: Чайнов Н.Д., д.т.н, профессор
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Поршневые двигатели»*

bauman@bmstu.ru

Основными проблемами современного двигателестроения являются: ограничение тепловой и механической напряженности; повышение мощности двигателей; запуск дизельных двигателей; обеспечения многотопливности; применение двигателей нетрадиционных схем; проблема токсичности и вредных выбросов; проблема повышения степени сжатия. Большинство из этих проблем можно решить при помощи регулирования степени сжатия.

Проблема повышения (регулирования), степени сжатия непосредственно связана с проблемой повышения эксплуатационной экономичности дизелей. Дело в том, что в силу технологических условий эксплуатации двигателя значительную часть времени, примерно от 60 до 70 %, работают с неполной нагрузкой. Принимая во внимание то, что большинство строительно-дорожных циклического действия (повторяют одни и те же операции), целесообразно выделить те операции, на которых необходима наибольшая мощность двигателя. В качестве прототипа выбран фронтальный погрузчик Кировского завода К-702.

Погрузчики предназначены для механизации погрузочных и строительно-монтажных работ при помощи сменного рабочего оборудования. Главным типом рабочего оборудования является ковш, кроме него погрузчики имеют и другие виды навесного оборудования. Цикл работы фронтального погрузчика, оборудованного ковшом, состоит из следующих операций: внедрение ковша в материал; транспортировка материала к месту разгрузки; разгрузка ковша опрокидыванием; холостой ход.

Таким образом, выполнив анализ циклов работы фронтального погрузчика, можно сделать вывод, что наибольшая мощность двигателя необходима при внедрении ковша в штабель материала.

Цель использования в дизелях автоматического регулирования степени сжатия, в зависимости от назначения двигателя, может выражаться в ограничении максимального давления сгорания, улучшении пусковых качеств, экологических показателей и расширении диапазона пригодных для работы данного двигателя сортов топлива. С осуществлением автоматического регулирования степени сжатия появляется возможность создания высокофорсированного дизеля с высоким давлением наддува, обладающего способностью легко запускаться при низких температурах и работать на различных сортах топлива [4,5].

Развитие двигателей с переменной степенью сжатия началось чуть ли не с самого создания двигателя. Первым попытку предпринял Август Отто, а за ним Роберт Дизель и Г. Р. Рикардо, но эти двигатели использовались для оценки детонационной стойкости различных видов топлив. В транспортных двигателях ступенчатое регулирование степени сжатия было использовано в 30-х годах XX века [3].

Высокая (по сравнению с карбюраторными двигателями) степень сжатия, а также повышенная вязкость моторного масла в холодном дизеле обуславливает увеличение момента сопротивления вращению коленчатого вала и ухудшение пусковых качеств [3].

Известно большое число устройств, нашедших применение для регулирования степени сжатия в карбюраторных и дизельных двигателях. Они отличаются друг от друга. По ряду признаков их можно объединить в группы и классы [3].

Классификация таких устройств может быть проведена по следующим признакам:
По назначению.

По этому признаку можно выделить устройства, предназначенные:

- для исследовательских целей;
- для обеспечения пуска двигателей;
- для улучшения экономичности двигателей (преимущественно карбюраторных при работе на частичных нагрузках);
- для ограничения величины максимального давления рабочего тела;

- По области применения.

Можно выделить устройства, пригодные для использования:

- в карбюраторных двигателях;
- в дизелях;

– в исследовательских установках;

По конструктивным признакам:

– поршеньковые;

– эксцентриковые;

– клапанные (регулирующие ϵ посредством изменения фазы работы клапанов или посредством увеличения объёма камеры сгорания);

– регулирующие ϵ посредством перемещения цилиндра и головки.

- По расположению изменяющего ϵ органа:

– в головке цилиндров;

– в поршне;

– в шатуне;

– в блоке цилиндров;

- По способу управления органом, регулирующим степень сжатия. По этому признаку можно выделить два больших класса:

– устройства с регулированием ϵ вручную;

– автоматические устройства, – каждый из которых, в свою очередь, может быть подразделён на ряд подклассов (рис. 1).



Рис. 1. Классификация механизмов регулирования степени сжатия по способу управления

К настоящему времени известно достаточно большое количество способов регулирования степени сжатия ϵ и рабочего объема V_h , классификация которых дана на рисунке 2.

В двигателях могут регулироваться только степень сжатия ϵ или только рабочий объем V_h ; возможно также совместное регулирование ϵ и V_h . Такое регулирование может осуществляться только при переходе с одного скоростного и (или) нагрузочного режима работы двигателя на другой (т.е. дискретно) или осуществляться на каждом таком режиме. С целью расширения номенклатуры режимов работы двигателя, предпочтительно бесступенчатое регулирование ϵ [2]. Среди рассматриваемых двигателей особое место занимают такие, в которых степень сжатия ϵ отлична от степени расширения; в таком случае степень сжатия изменяется в течение длительности рабочего цикла двигателя. Эти двигатели называют также двигателями с продолженным расширением, работающими по циклу Кристиансена (К-циклу) [1].

Количество предложенных конструкций, позволяющих регулировать степень сжатия и рабочий объем двигателя очень велико. Однако, подавляющее большинство из них, позволяя решать поставленные задачи по управлению ϵ и V_h , оказались не пригодными для практической реализации из-за невозможности обеспечить приемлемую работоспособность двигателя, или по технологическим причинам. Поэтому только ограниченное число двигателей было реализовано в металле, и лишь единичные конструкции производились серийно (см. рис.2)

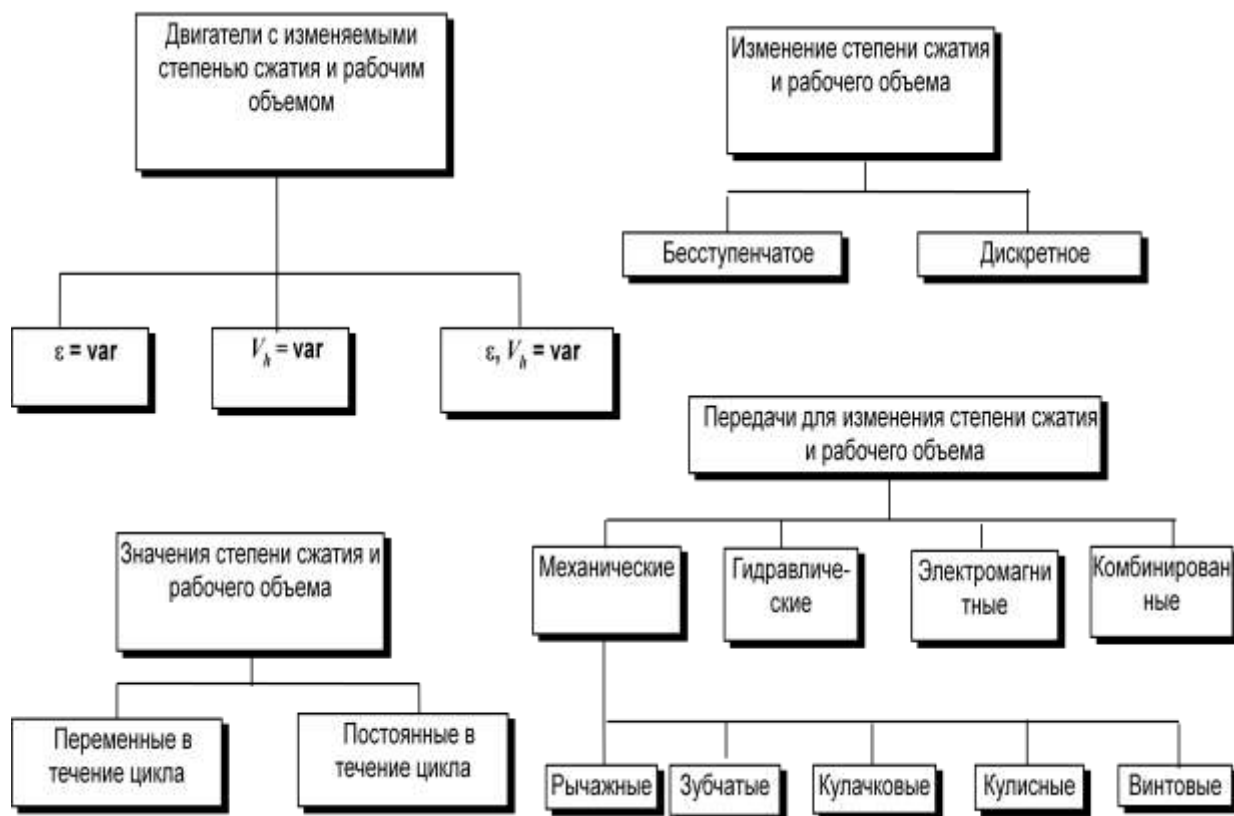


Рис. 2. Классификация способов регулирования степени сжатия и рабочего объема и механизмов для их осуществления

Рассмотрим некоторые конструкции по изменению степени сжатия. На рисунке 3 показана двухступенчатая система для двигателей с переменной степенью сжатия, основанная на переменной длине шатуна с поршневым пальцем, расположенным эксцентрично по отношению к оси поршня.

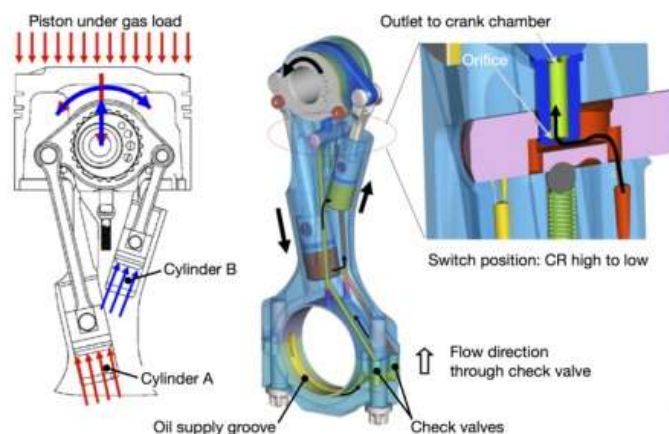


Рис. 3. Двухступенчатая система для двигателей с переменной степенью сжатия

На рисунке 4 представлен один из наиболее распространенных вариантов двигателя с изменяющейся степенью сжатия. Это двигатель с траверсным механизмом (дополнительным шатуном). [6]

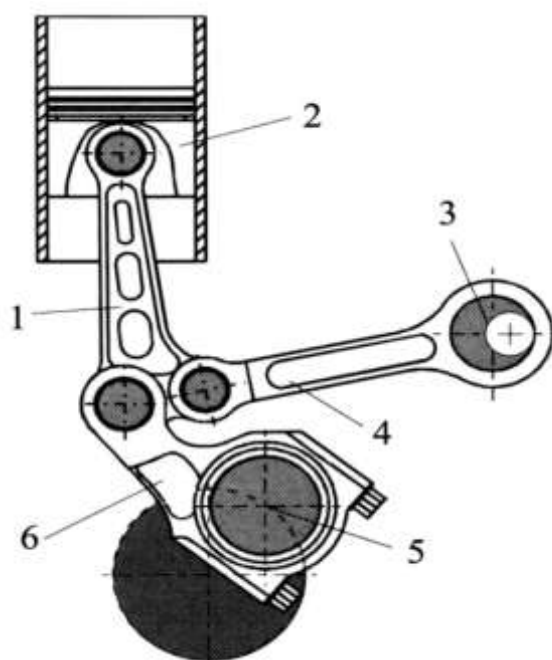


Рис. 4 Схема двигателя с изменяемой степенью сжатия с дополнительным шатуном: 1 - шатун; 2 - поршень; 3 - эксцентриковый вал; 4 - дополнительный шатун; 5 - шатунная шейка коленчатого вала; 6 - коромысло

Помимо выше представленных конструкций, отличающихся своей сложностью в изготовлении, существуют более простые конструкции двигателей с изменяемой степенью сжатия. Например, двигатель МСЕ-5 (см. рис. 5). Объем камеры сгорания корректируется по принципу изменения пропускной способности масляных клапанов.



Рис. 5 Двигатель MSE-5

Двигатель Caterpillar с переменной степенью сжатия (см. рис. 6). Следует заметить, что предыдущие разработки относятся к маломощным двигателям с небольшим рабочим объемом.

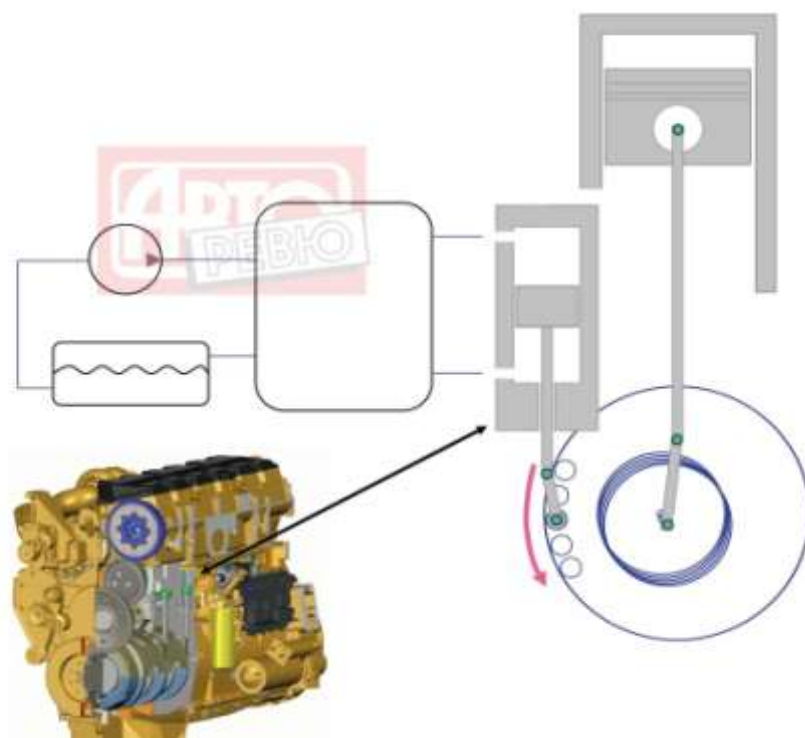


Рис. 6 Схема двигателя Caterpillar

Принимая за основу конструкцию двигателя с переменной степенью сжатия фирмы Caterpillar. Принцип работы заключается в следующем: Коленчатый вал установлен в эксцентрично поворачивающейся постели. При ее повороте коленчатый вал

перемещается относительно блока цилиндров, из-за чего изменяется объем камеры сгорания и, соответственно, степень сжатия. Поворот постели осуществляют гидравлические поршни.

Для того чтобы произвести тепловой расчёт необходимо выбрать прототип двигателя для которого будет впоследствии применён механизм изменения степени сжатия. В качестве прототипа выбран двигатель ЯМЗ 238, который производится Ярославским моторным заводом. Двигатели данного завода распространяются в странах СНГ и устанавливаются на автомобили К-702, Урал 5323-20, КРАЗ 6443 и Урал 4320.

Для теплового расчёта необходима техническая характеристика двигателя-прототипа приведены в таблице.

Наименование параметра	Единицы измерения	Значение
Число цилиндров		8V90
Мощность	кВт (л.с.)	183 (249)
Частота вращения	мин^{-1}	1700
Максимальный крутящий момент	Н·м (кгс·м)	1108 (113)
Частота максимального крутящего момента	мин^{-1}	1100-1400
Минимальный удельный расход топлива	г/кВт·ч (г/л.с·ч)	220 (162)
Степень сжатия		16,5
Рабочий объём	л	14,86
Диаметр и ход поршня	мм	130*140

Тепловой расчёт предусматривает выполнение следующих разделов:

1. Обоснование и выбор исходных данных;
2. Расчёт рабочего цикла двигателя;
3. Определение индикаторных и эффективных показателей;
4. Определение размеров цилиндра и других параметров двигателя;
5. Тепловой баланс двигателя;
6. Расчёт и построение внешней скоростной характеристики.

Так как рассчитывается двигатель с изменяемой степенью сжатия необходимо выбрать диапазон её изменения (Рисунок 7).

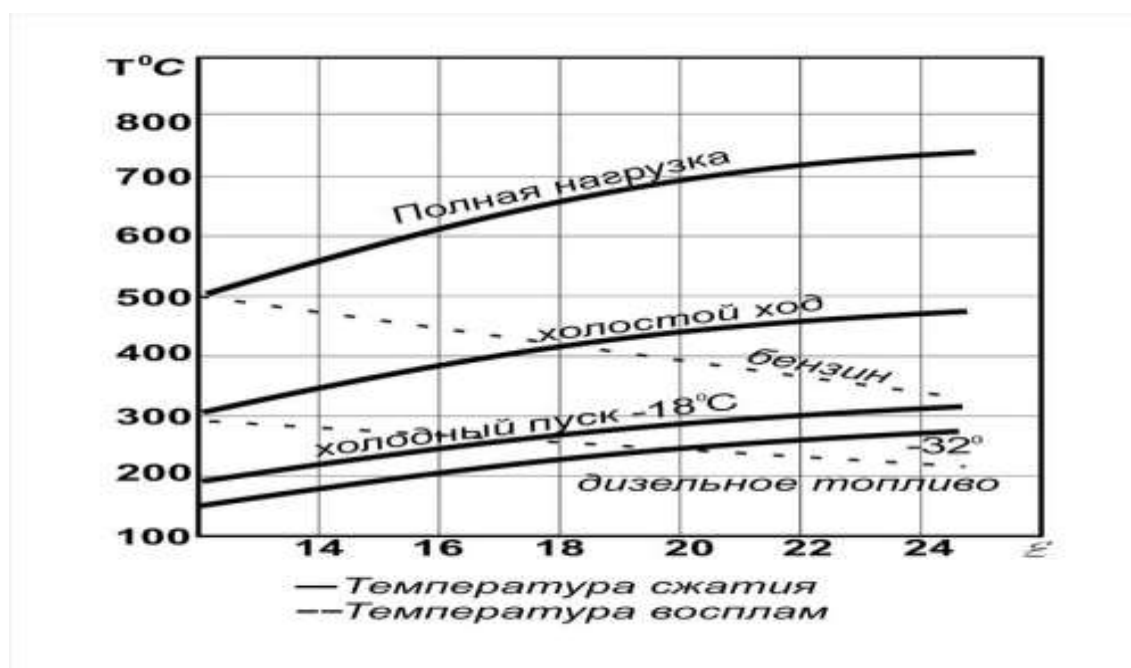


Рис. 7. График температуры сжатия и воспламенения для разных степеней сжатия

Данный график (График температуры сжатия и воспламенения для разных степеней сжатия) показывает, что воспламенение смеси при работе на дизельном топливе со стандартной степенью сжатия, равной 16,5, возможно при температуре окружающего воздуха (-18°C), в то время как необходимая степень сжатия, требуемая для воспламенения этой смеси при температуре (-32°C), составляет 19,5. Как видно из графика, после запуска двигатель будет работать со степенью сжатия 12. Таким образом из вышесказанного следует принять диапазон $\pm 30\%$ от стандартной степени сжатия выбранного двигателя. Принимаем этот интервал потому, что при степени сжатия, равной двенадцати значительно снизится его мощность и моторесурс. Поэтому принимаем нижний предел степени сжатия 13,5. Для того, чтобы запустить двигатель при низких температурах необходима более высокая степень сжатия. Исходя из принятого диапазона изменений степени сжатия, производится тепловой расчёт двигателя и построены графики внешней скоростной характеристики. [5]

После проведённого теплового расчёта были построены графики мощности. На графике видно, что при уменьшении степени сжатия крутящий момент двигателя падает, а при увеличении возрастает, следовательно можно выполнять ступенчатую регулировку степени сжатия для получения различных значений мощности и крутящего момента.

Внедрение ступенчатой регулировки позволит использовать энергетические резервы

двигателя для выполнения технологического процесса и преодоления сопротивлений возникающих в процессе работы, крутящий момент (см. рис. 8) аналогичная ситуация с удельным расходом топлива (см. рис. 9). Из графиках видно, что при наименьшей допустимой степени сжатия (13,5) расход топлива возрастает, а при наибольшей допустимой степени сжатия (19,5) расход топлива минимальный на всех режимах работы.

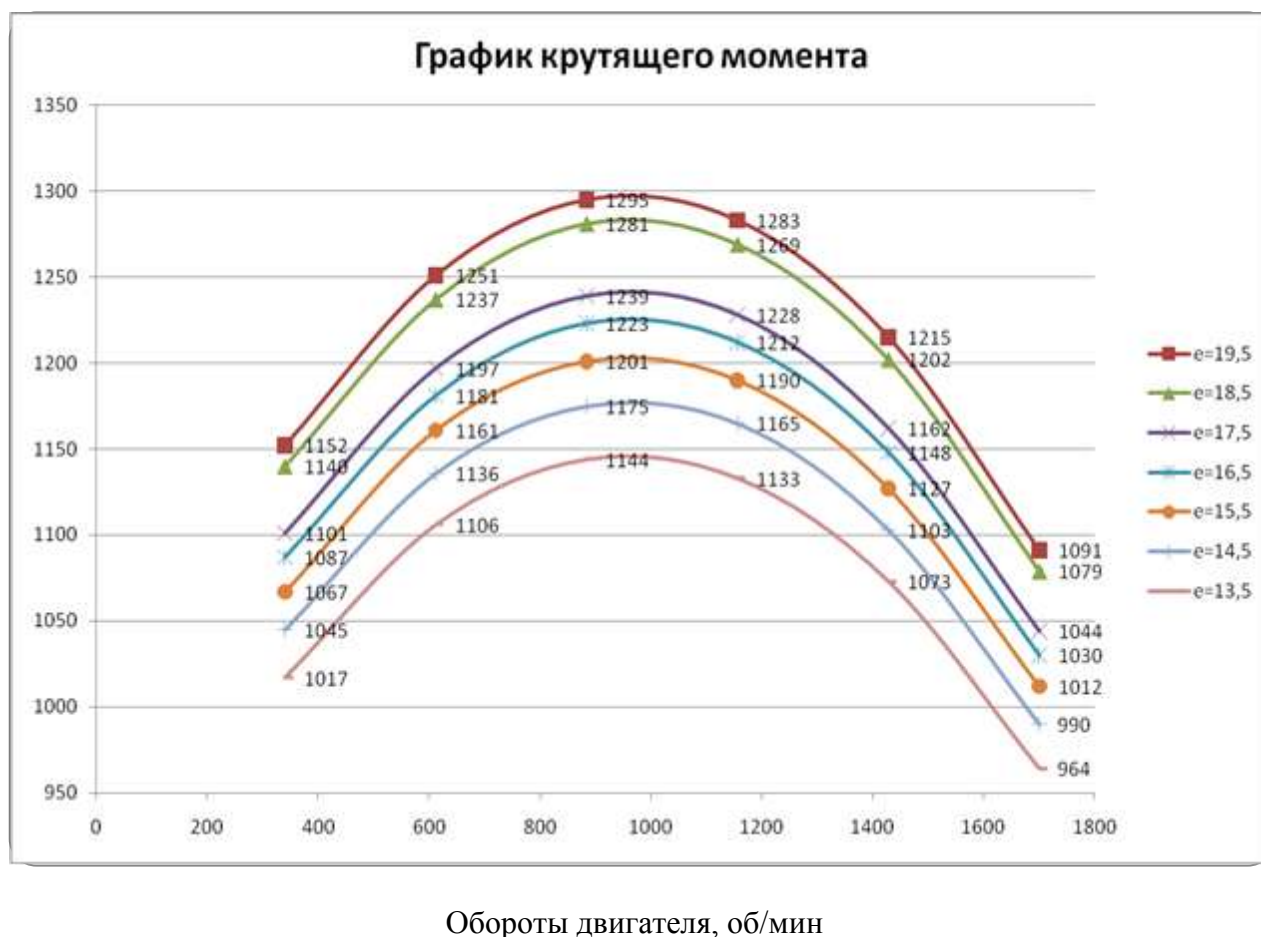


Рис. 8. График крутящего момента при различных степенях сжатия

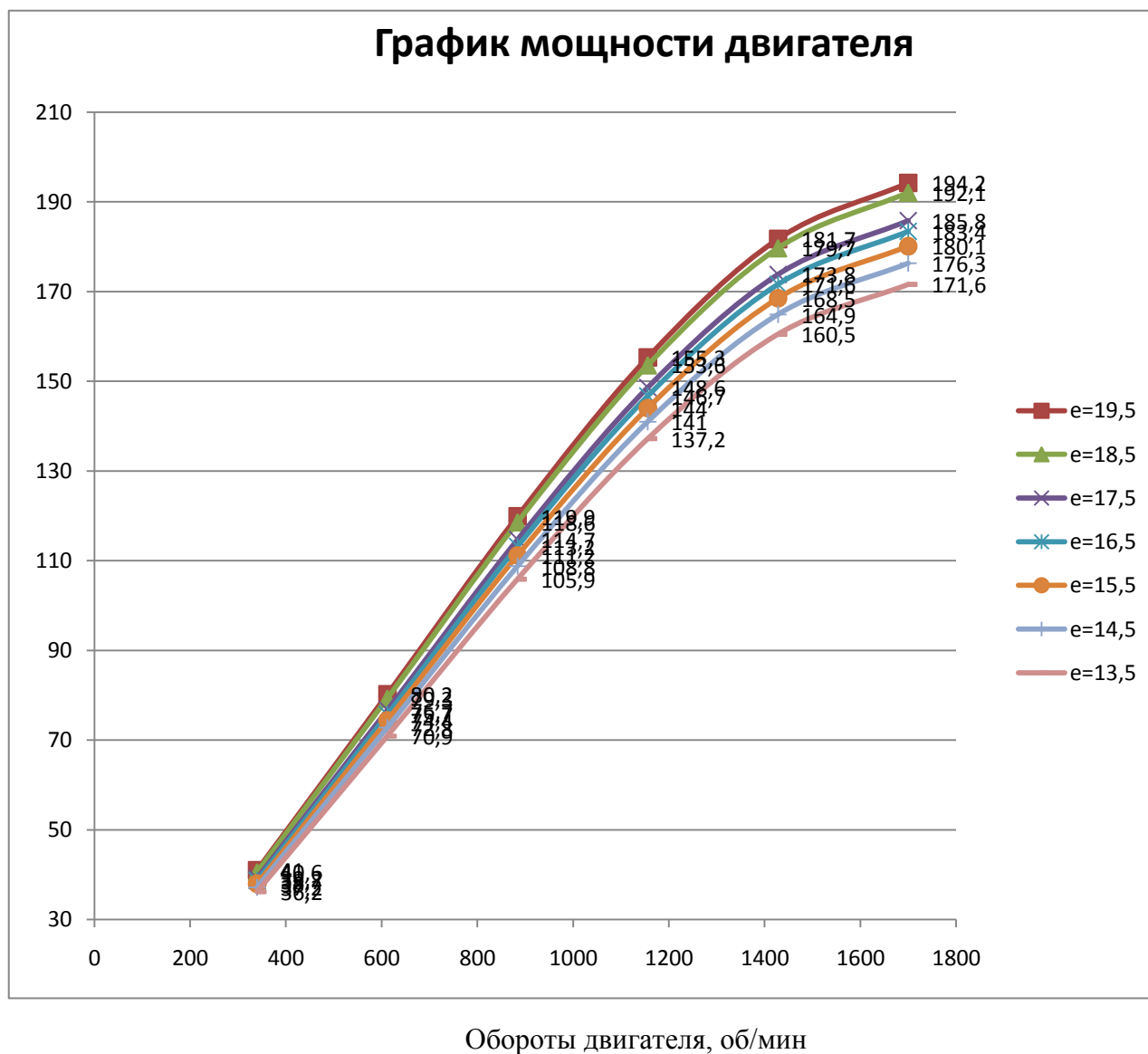


Рис. 9. График крутящего мощности при различных степенях сжатия

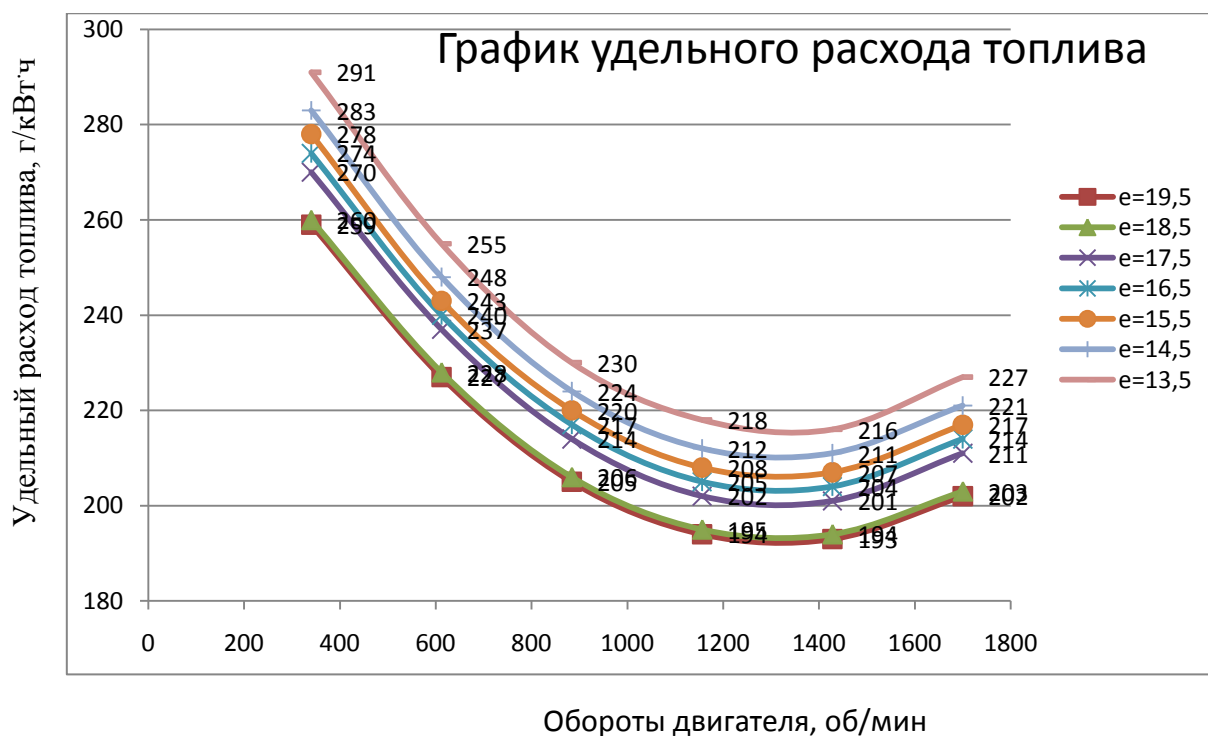


Рис. 10 График удельного расхода топлива при различных степенях сжатия

Для того, чтобы адаптировать двигатель с изменяемой степенью сжатия для фронтального погрузчика, необходимо составить алгоритм, по которому будет работать двигатель с изменяемой степенью сжатия применимо к циклу погрузчика (см. рис. 11).

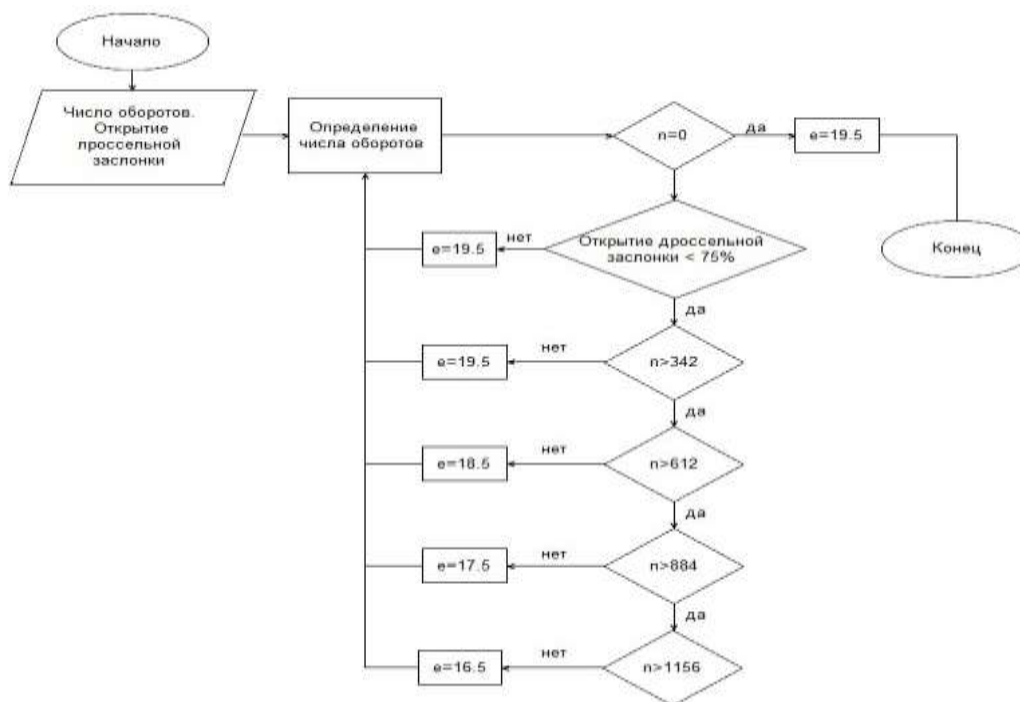


Рис. 11. Алгоритм управления двигателем с изменяемой степенью сжатия

После построения алгоритма двигателя необходимо построить графики по которым предварительно будет работать двигатель с изменяемой степенью сжатия, установленный на погрузчике (см. рис. 12,13,14).



Рис. 12. График крутящего момента двигателя с изменяемой степенью сжатия работающего по алгоритму

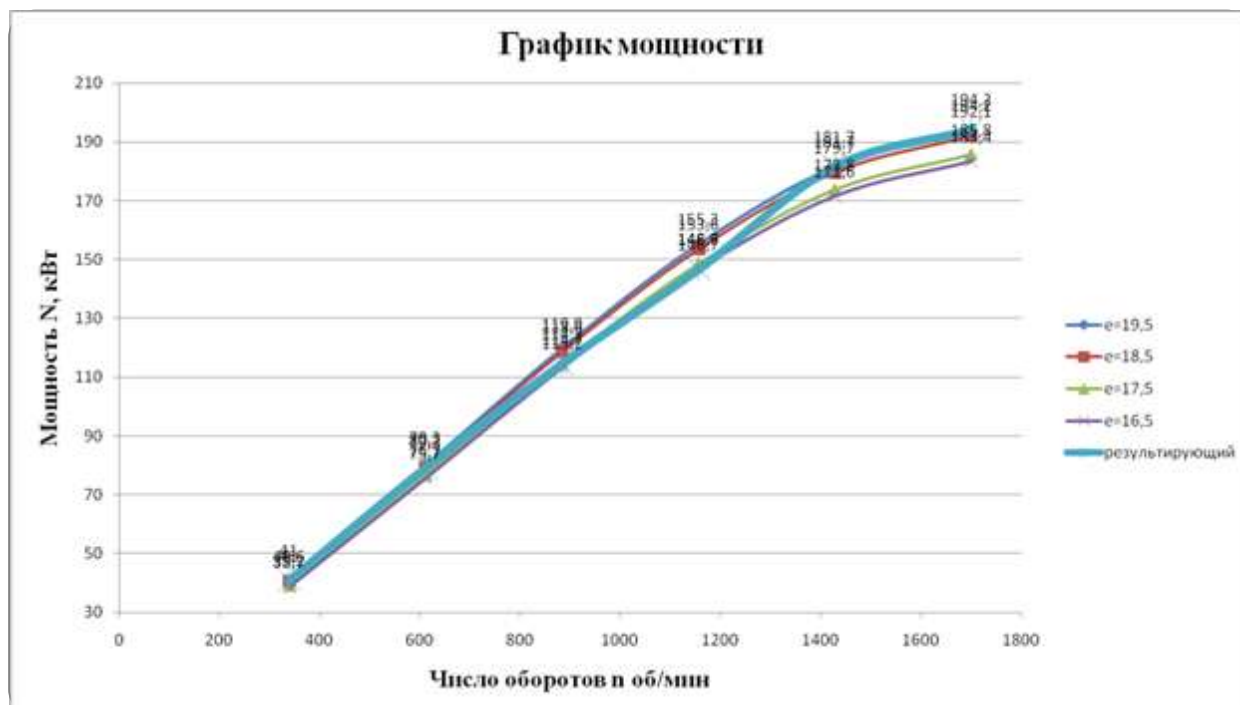


Рис. 13. График мощности двигателя с изменяемой степенью сжатия работающего по алгоритму



Рис.14 График удельного расхода топлива двигателя с изменяемой степенью сжатия работающего по алгоритму

На данный момент произведен анализ конструкций двигателей с изменяемой степенью сжатия различных фирм и годов выпуска, выявлены недостатки конструкций, выбрана конструкция механизма по изменению степени сжатия и прототип двигателя, на котором будет установлен данный механизм.

Используя конструкцию по изменению степени сжатия двигателя Caterpillar как базовую, выполнен тепловой расчёт двигателя с разными степенями сжатия при помощи программного комплекса Дизель РК, проанализированы графики крутящего момента, мощности и удельного расхода топлива.

Исходя из результатов теплового расчета, выберем целевую функцию для оптимизации двигателя внутреннего сгорания с регулируемым процессом сжатия.

В качестве целевой функции будет принят удельный расход топлива. Построен график зависимости удельного расхода топлива от различных значений степени сжатия.

В результате того, что регулирование степени сжатия позволяет работать на различных видах топлива, будет спроектирован топливный насос высокого давления позволяющий, подавать в цилиндры двигателя различные сорта топлив без потери давления во впускном трубопроводе.

В дальнейшем построен алгоритм управления двигателем с регулируемой степенью сжатия, приведены графики мощности, крутящего момента и удельного расхода топлива с учетом алгоритма управления двигателем с регулируемым процессом сжатия.

Список литературы

- [1] Пат. 4022167 США, МКИ F02B 57/00. Internal combustion engine and operating cycle/Kristiansen Н.Н, 1977.
- [2] Тер-Мкртчян Г.Г., Кутенев В.Ф., Яманин А.И. Вопросы теории двигателей с управляемым движением поршней с плоскими преобразующими механизмами. М.: Изд-во НАМИ, 2004. 240 с.
- [3] Шароглазов Б. А., Фарафонов М. Ф., Клементьев В.В. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчёт процессов. Челябинск: ЮУрГУ, 2004. 344 с.
- [4] Хуциев А.И. Двигатели внутреннего сгорания с регулируемым процессом сжатия. М.: Машиностроение, 1986. 103 с.
- [5] Махалдиани В.В., Эджибия И.Ф., Леонидзе А.М., Двигатели внутреннего сгорания с автоматическим регулированием степени сжатия. Тбилиси, Мецниерба, 1973. 270 с.
- [6] Нагайцев М.В. Двигатели с регулируемой степенью сжатия и рабочим объемом // Автомобильная промышленность. 2014. № 10. С 8-10.