

Эту тему можно было и не трогать, скорее всего она мало кому интересна, но отдав много времени исследованию влияния фазы впрыска на конечные динамические характеристики и накопив некоторый материал по теме, можно кое о чем рассказать.

В ранних системах впрыска применяемых на автомобилях производства АВТОВАЗ с ЭБУ Бош1.5.4 и Январь 5.1 с нормами токсичности Россия-83 применялась фаза впрыска топлива в открытый клапан, т.е. впрыск происходил на такте впуска, когда впускной клапан был открыт. Это потребовало применения фазированного впрыска и в комплектацию системы был добавлен Датчик Положения Распределительно Вала или проще Датчик Фазы (ДФ).

С введением на территории России норм Евро-2 от фазы впрыска в открытый клапан отказались, чему способствовали исследования *г-на Гирявеца А.К.* (см. его книгу «*Теория управления автомобильным бензиновым двигателем*»). Эти исследования показали, что фаза впрыска в открытый клапан не дает значимых преимуществ по мощности и крутящему моменту в сравнении с впрыском на еще не открывшийся впускной клапан, к тому же она имеет несколько худшие показатели по выбросу токсичных веществ. Опираясь на эти исследования (Гирявец является и разработчиком большинства ПО для АВТОВАЗа), с появлением новых систем, фазу впрыска стали уводить все раньше и раньше от момента открытия впускного клапана. Достижение определенных евро-норм на отсталых по конструкции двигателях это конечно хорошо, но за этим последовало неизбежное ухудшение выходных моментных и мощностных характеристик, а так же обозначился и увеличенный расход топлива на этих двигателях.

Наша задача при чип-тюнинге добиться улучшения динамических, мощностных характеристик и по возможности снижения необоснованно высокого расхода топлива. Из этого и будем исходить в своих рассуждениях. Для динамических (ускорение) и мощностных режимов действуют несколько другие требования и главные из них это обогащение состава смеси и впрыск на такте впуска для достижения требуемого крутящего момента и мощности. Приведу выдержку из описания системы прямого впрыска фирмы Мицубиси, из него понятно в каких режимах наиболее предпочтительно использовать разную фазу впрыска:

### «Режимы работы двигателя GDI

Всего предусмотрено три режима работы двигателя:

- Режим сгорания сверхбедной смеси (впрыск топлива на такте сжатия).
- Мощностной режим (впрыск на такте впуска).
- Двухстадийный режим (впрыск на тактах впуска и сжатия) (применяется на евромодификациях).

**Мощностной режим** (впрыск на такте впуска). Так называемый "режим однородного смесеобразования" используется при интенсивной городской езде, высокоскоростном загородном движении и обгонах. Топливо впрыскивается на такте впуска коническим факелом, перемешиваясь с воздухом и образуя однородную смесь, как в обычном двигателе с распределенным впрыском. Состав смеси - близок к стехиометрическому (14,7:1)

**Двухстадийный режим** (впрыск на тактах впуска и сжатия). Этот режим позволяет повысить момент двигателя в том случае, когда водитель, двигаясь на малых оборотах, резко нажимает педаль акселератора. Когда двигатель работает на малых оборотах, а в него вдруг подается обогащенная смесь, вероятность детонации возрастает. Поэтому впрыск осуществляется в два этапа. Небольшое количество топлива впрыскивается в цилиндр на такте впуска и охлаждает воздух в цилиндре. При этом цилиндр заполняется сверхбедной смесью (примерно 60:1), в которой детонационные процессы не происходят. Затем, в конце такта сжатия, подается компактная струя топлива, которая доводит соотношение воздуха и топлива в цилиндре до "богатого" 12:1.

Почему этот режим введен только для автомобилей европейского рынка? Да потому, что для Японии присущи невысокие скорости движения и постоянные пробки, а Европа - это протяженные автобаны и высокие скорости (а следовательно, высокие нагрузки на двигатель).»

Из чего делаем вывод о преимуществе впрыска на такте впуска при динамичных и мощностных режимах. Увеличению мощности и крутящего момента способствует то, что **«капли топлива не испаряются до тех пор, пока впускной клапан открыт, что способствует увеличению плотности заряда в камере сгорания... (из ChipTuningPRO)»**. Некоторые выводы можно сделать и проанализировав эволюцию фазы впрыска начиная с норм Россия-83 по сегодняшний день.

Преимущество впрыска в открытый клапан для динамичных режимов заметил давно, при ускорении двигатель быстрее и легче набирает обороты, даже звук его работы как-то меняется.

Но, в то время, не смог настроить прошивки должным образом т.к. много чего не знал в калибровках и не совсем понимал их. Потратив более года на откатку своих карт фазы впрыска для всех разновидностей ЭБУ, в итоге забросил это направление. Только недавно вернулся к фазе впрыска, уже после того как изучал софты и калибровки, откатал свои прошивки для всех ЭБУ и двигателей. Вначале, ради интереса, подставил свои карты фазы впрыска и дал прошивки на тестирование друзьям и коллегам, установил сыновьям на их десятки... Все единогласно подтвердили наличие более динамичного ускорения в зоне средних нагрузок и оборотов от 1500 до 4500. Особенно прирост момента ощущается у шестнадцатиклапанных двигателей в зоне указанных оборотов.

Пришлось вновь браться за откатку и настройку прошивок т.к. появились некоторые моменты, требующие перекалибровки динамических и переходных режимов топливоподачи.

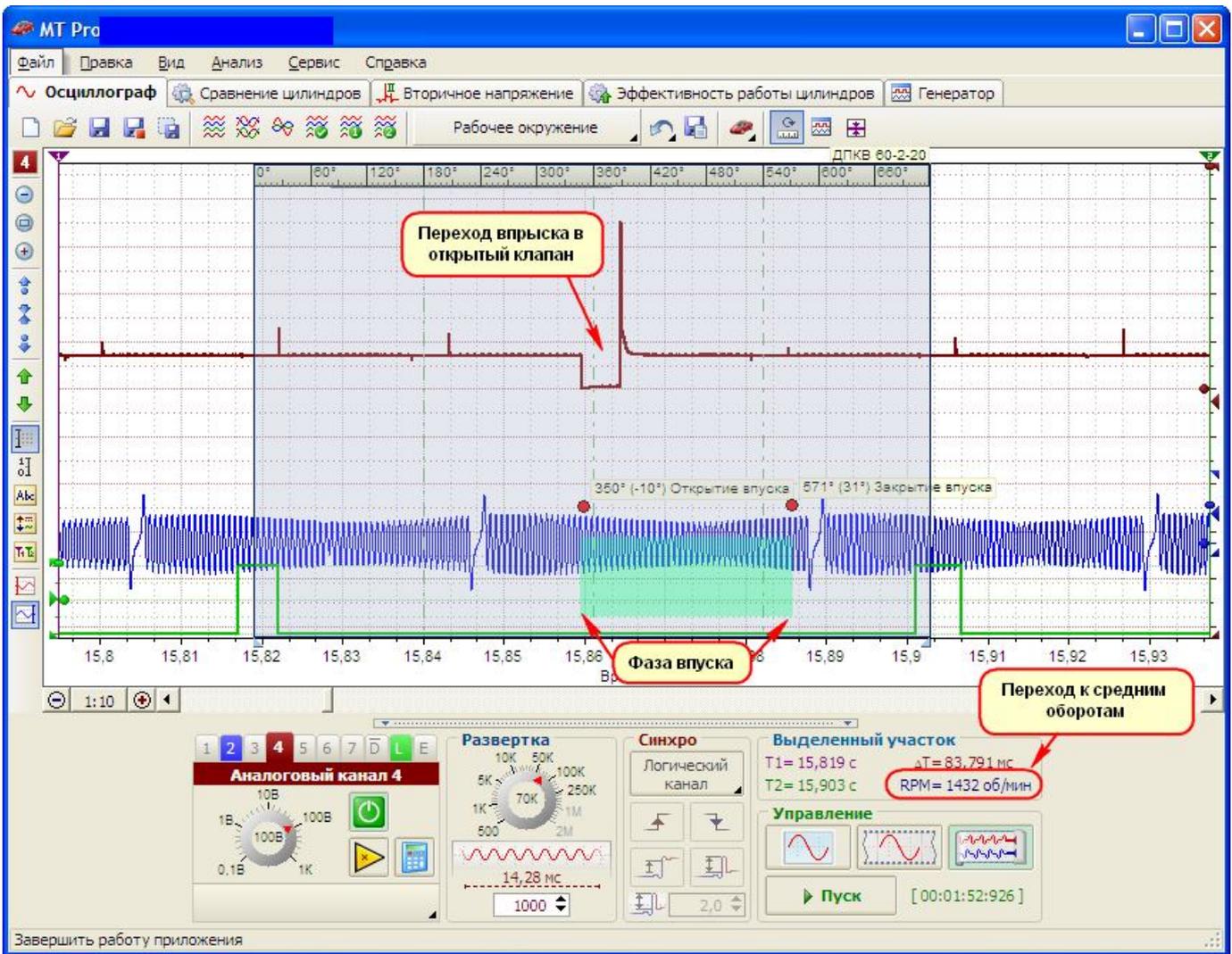
Не буду описывать все свои эксперименты, это займет слишком много времени и страниц, только логов сканера и осциллограмм накоплено несколько гигабайт. Расскажу о результатах экспериментов на которых остановился и применяю в своих прошивках.

### ***Комбинированная фаза впрыска:***

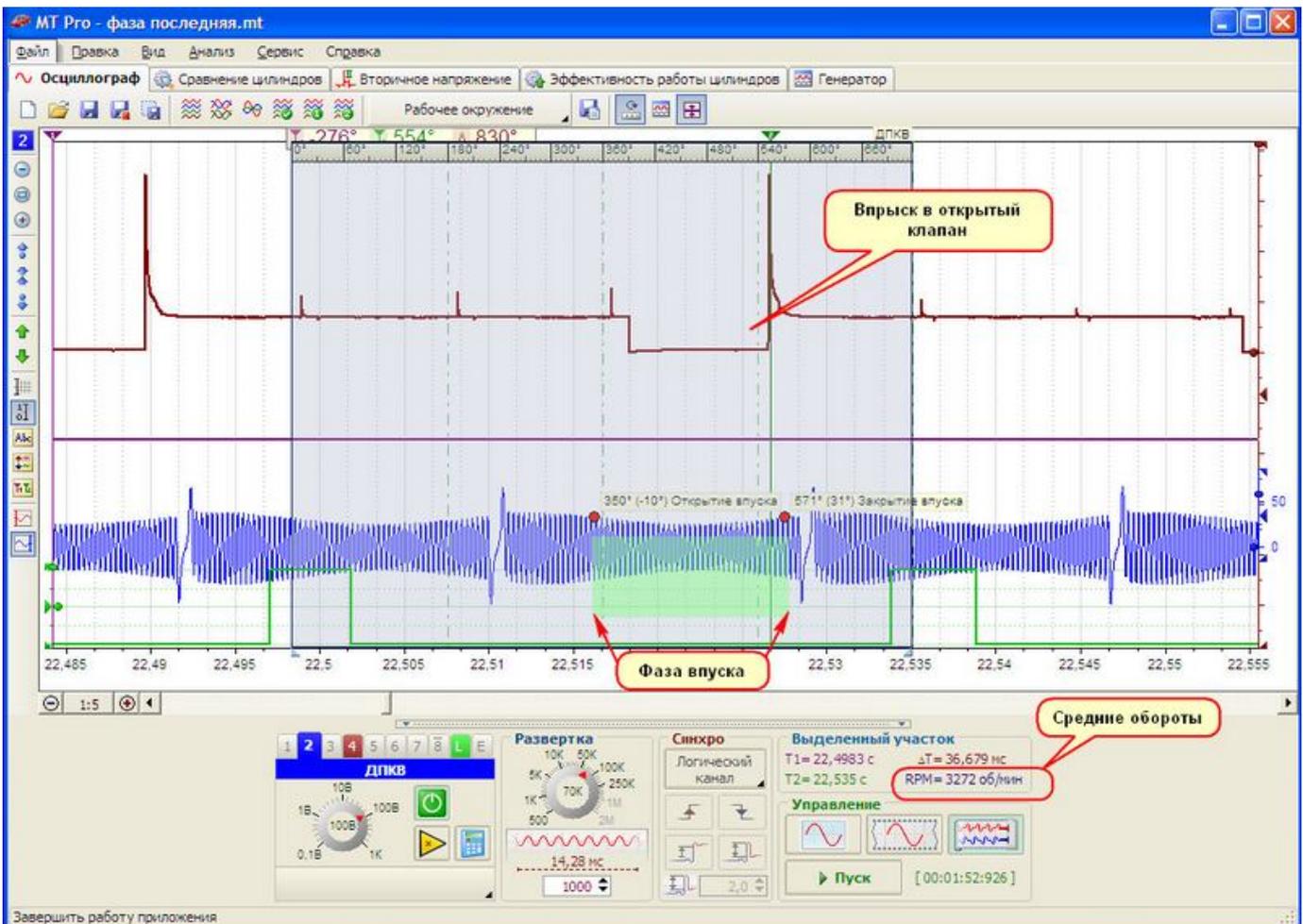
**Холостой ход.** На холостых оборотах фаза впрыска производится на еще закрытый впускной клапан, причем отодвигаю момент впрыска немного дальше от открытия впускного клапана, чем сделано в заводской прошивке, результатом стала более мягкая и ровная работа двигателя на холостом ходу:



**Малые нагрузки.** При малых нагрузках и оборотах фаза впрыска плавно смещается к точке открытия впускного клапана и переходит ее. Это позволяет избежать всяких нестабильностей в переходном режиме от холостого хода к частичным нагрузкам:

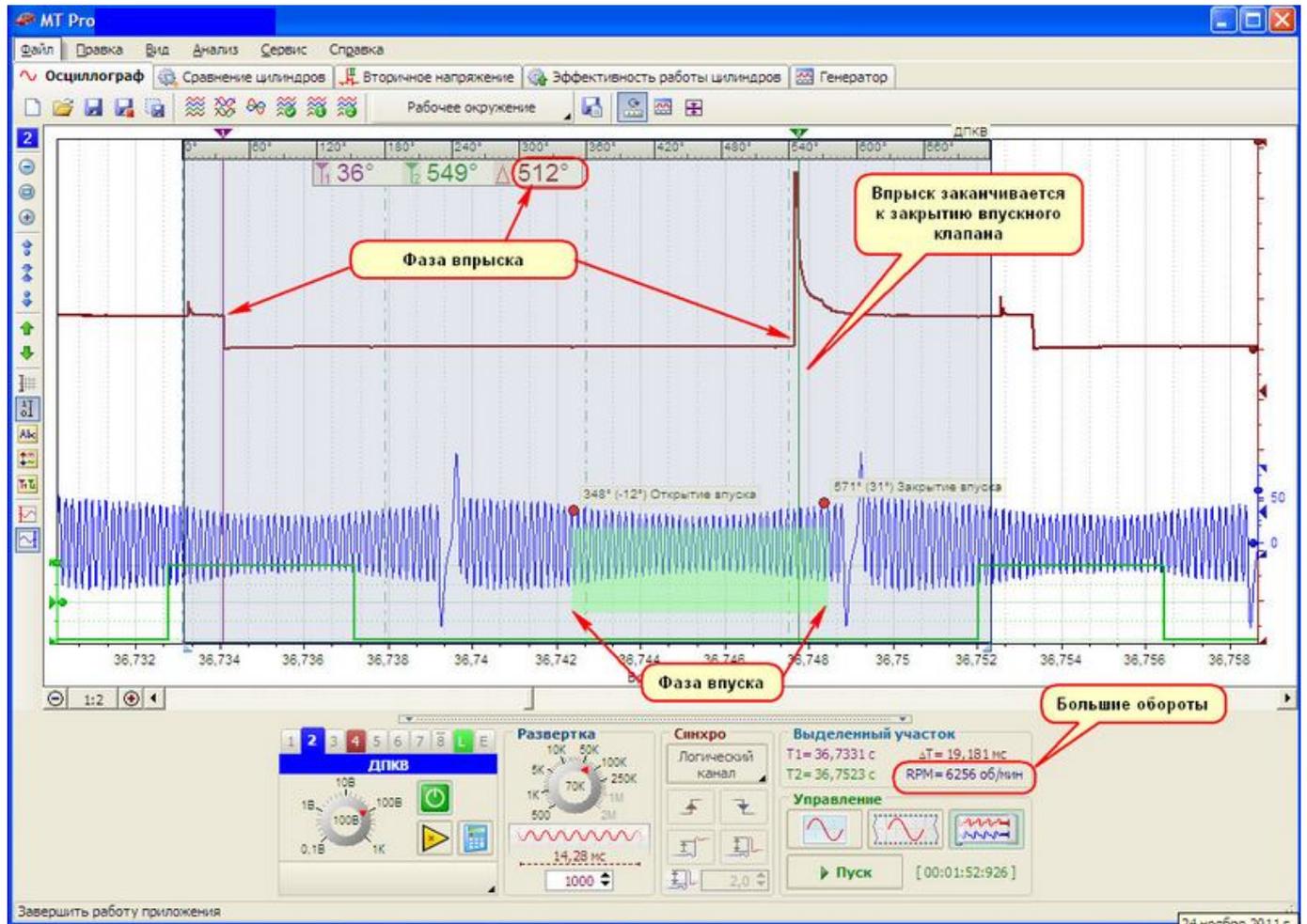


**Средние нагрузки.** Самый часто используемый режим движения в городской черте и тут желателен наиболее высокий крутящий момент для достижения хорошей динамики ускорения:



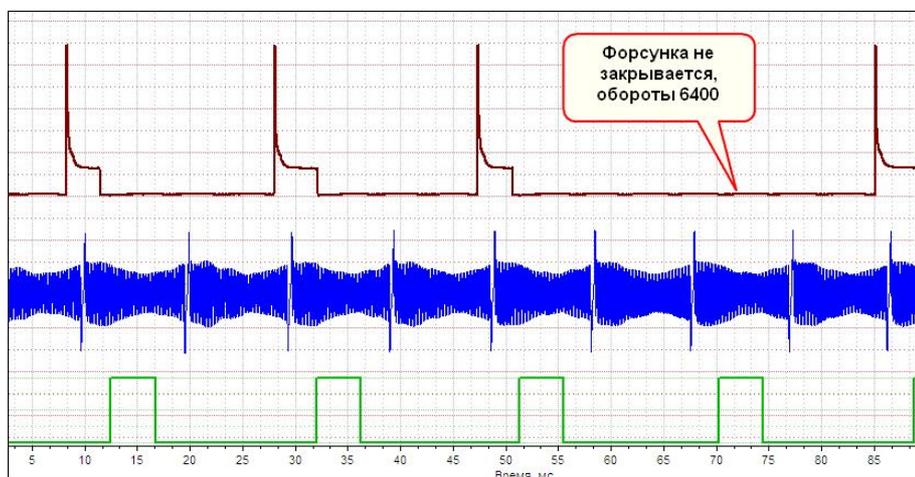
Переход фазы впрыска в открытый впускной клапан, в сочетании с перекалибровкой переходного режима, дает чувствительную прибавку в динамике ускорения при средних нагрузках. Потребовалась и перекалибровка некоторых динамических коррекций в прошивке. В противном случае, можем получить провалы и подергивания при разгоне. Парадоксально, но факт – всеми, кому пришлось тестировать прошивки, отмечено не только увеличение динамики, но и снижение среднего расхода топлива. Мне объяснить это особо нечем т.к. занят только практическими изысканиями и экспериментами, которые занимают все время и не оставляют его на теоретические обоснования, да и отсутствие высшего образования не позволяет...

**Большие нагрузки.** На больших нагрузках фаза впрыска настроена так, чтобы всегда заканчивалась к закрытию впускного клапана:

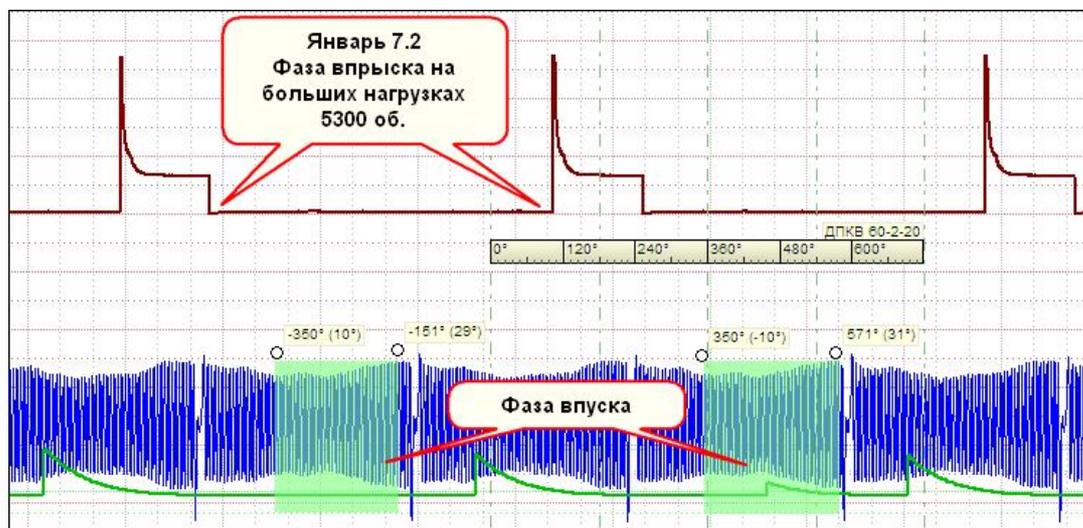


Оценить результат такой настройки фазы впрыска при больших нагрузках трудно, мощностного стенда нету... пусть будет такая. Думается, будет лучше, если больше топлива попадет в цилиндр в текущем цикле, а не уйдет в пленку и попадет в цилиндр только в последующих.

На больших нагрузках, а особенно когда форсунки на пределе своей производительности, фаза впрыска особой роли уже не играет, форсунка может вообще не закрываться:



Пример фазы впрыска на больших нагрузках у Январь 7.2 с заводской прошивкой, система просто льет топливо без всякой логики:



На тему фазы впрыска перечитал все найденное на просторах интернета, но конкретного исследования ее воздействия на выходные характеристики в динамических режимах при частичных нагрузках не нашел. Кроме, конечно, труда *Гирявеца А.К.* ставшего бестселлером всех диагностов и тюнеров. Труд сильный, но там тоже не нашел желаемого.

Во-первых, исследования фазы впрыска проводились даже не для вазовского двигателя, что имеет решающее значение.

Во-вторых, они проводились на оборотах холостого хода, когда впрыск двигался в пределах фазы впуска.

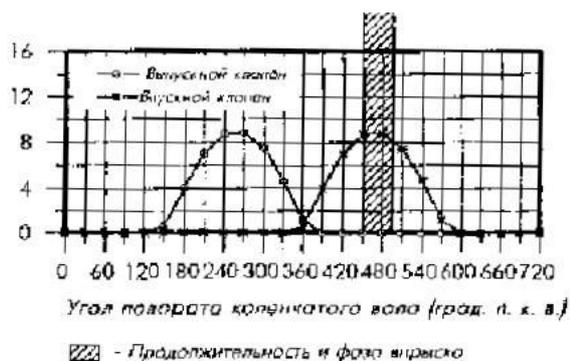


Рис. 4.1.3 Влияние фазы впрыска на показатели рабочего процесса двигателя. ( $V_d = 2.3л$ ,  $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$ ,  $G_{mij} = 1.10 \text{ мг/цикл}$ )

В-третьих, не найдено никаких исследований о влиянии фазы впрыска на динамические режимы ускорения при частичных нагрузках.

Существуют разные мнения о фазе впрыска, которые добыл в интернете, одно выражено так:

*«Опыты с настройками фазы впрыска показали сильное влияние этого параметра на реакцию автомобиля на дроссель на низких оборотах двигателя. Если топливо впрыскивается в момент открытия впускного клапана - реакция на дроссель у системы очень хорошая но в некоторых зонах на частичных нагрузках могут появляться рывки и провалы. В случае впрыска в момент закрытого клапана эти проблемы уходят но двигатель становится более пенсионерским что ли, при этом на многих двигателях еще и резко увеличивается расход топлива.»*

*«Что же такое фаза впрыска и как она влияет. Для ответа следует немножко ознакомиться с теорией двигателя. Наверно все знают, что на режимах частичных нагрузок, особенно в зонах*

малых дросселей, предел обеднения смеси фактически определяется пределом ее воспламеняемости. Если мы будем обеднять смесь дальше - возникнут пропуски в работе двигателя, провалы и рывки. Для холостого хода таким пределом является порог, когда обороты двигателя в результате пропусков будут дестабилизироваться. Но как не странно двигатель работающий в фазированном режиме допускает гораздо более бедные смеси на режимах как низких нагрузок так и хх. В принципе это несложно объяснить. Впускной клапан обычно открывается с некоторым опережением ВМТ а выпускной закрывается с запаздыванием от ВМТ, это состояние называется перекрытием (overlap). Мы возьмем для примера попарно параллельный режим, - часть топлива в любом случае попадает на закрытый впускной клапан, некоторые фракции испаряются некоторые находятся в виде взвеси. Если нагрузка не велика - в ресивере как правило давление небольшое (20-40кра), а в цилиндре в конце такта выпуска давление все еще может сохраняться достаточно высоким. В этом случае при открытии впускного клапана возникает мощный обратный выброс, топливовоздушная смесь, которая находилась перед клапаном выбрасывается в ресивер, в результате этого отдельные фракции топлива могут конденсироваться на стенках ресивера и вовлекаться в процесс сгорания гораздо позднее, чем это нужно. Еще одна аномальная ситуация может возникать в режимах где перекрытие обеспечивает продувку камеры. В этом случае часть концентрированной топливовоздушной смеси находящейся перед впускным клапаном может пролететь в выпуск в несгоревшем виде, что ведет к росту СН и расхода топлива. Все это возможно не так важно если вы пытаетесь получить от двигателя максимальную отдачу, но для гражданского двигателя очень желательно еще обеспечить минимальный эксплуатационный расход топлива.

Проанализировав сказанное несложно сформулировать критерии выбора "фазы впрыска", исключая описанные нежелательные эффекты:

1) На низких оборотах и нагрузках оптимальный момент открытия форсунки должен совпадать с закрытием выпускного клапана (либо чуть-чуть раньше за счет ее лага и скорости движения воздуха)!

2) Если время впрыска больше фазы впуска момент открытия надо сдвигать раньше от прежней точки с таким расчетом, чтоб форсунка закрылась чуть раньше, чем закроется впускной клапан.»

Другое так:

«Как было написано выше, при резком изменении подачи топлива в текущем рабочем цикле мы получаем обеднение смеси, тем большее, чем меньше KINJ. Разумеется, что это плохо. Но есть одно НО: процесс обеднения смеси длится очень недолго. Топливо быстро начинает "усваиваться" двигателем из пленки, запасенной в прошлых циклах. Как показывает опыт, даже самая "неоптимальная" фаза впрыска слабо влияет на крутящий момент. В квазистационарных режимах работы, когда подача топлива медленно меняется во времени, влияние неоптимальной фазы вообще незаметно. Применительно к серийному мотору, разгон на 4 передаче с полностью открытым дросселем можно считать квазистационарным режимом, обороты растут медленно, подача топлива тоже. В таком режиме двигатель показывает одинаковые характеристики независимо от фазы впрыска. С другой стороны, неоптимальная фаза может ухудшить картину токсичности выбросов. Неучтенная топливная пленка и кратковременные обеднения и обогащения из-за нее не лучшим образом сказываются на выполнении норм токсичности.»

Эти разноречивые мнения подтверждают факт отсутствия единого, доказанного утверждения о влиянии фазы впрыска на конечные характеристики в динамических режимах частичных нагрузок. Видимо поэтому, производители программ для он-лайн настройки нестандартных двигателей, предоставляют пользователям самим выбирать фазу впрыска – на закрытый впускной клапан, в открытый впускной клапан или комбинированную. Как вам покажется лучше на практике, так и делайте.

**Мои опыты показали положительное влияние фазы впрыска в открытый клапан для динамических режимов ускорения при частичных нагрузках. Доказывать ничего не собираюсь, спорить тоже - предоставляю возможность поэкспериментировать самим.**