

УДК 621.432

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ СОВРЕМЕННЫХ $L < C$

Хомец Е.А.

Научный руководитель – Бобич А.А.

В данной теме рассмотрим четырехтактный ДВС, работающий по циклу Аткинсона и шеститактный ДВС (двигатель Кроуэра).

Цикл Аткинсона — модифицированный цикл Отто 4-х тактного двигателя внутреннего сгорания. Традиционный четырехтактный двигатель работает по циклу: впуск, сжатие, рабочий ход, выпуск. Джеймс Аткинсон в 1886 году усовершенствовал эту схему. Отличие состоит в том, что двигатель получил специальный коленвал со смещенными точками крепления. Это позволило снизить потери на трение и поднять степень сжатия мотора. Также в двигателе Аткинсона другие фазы газораспределения. Если на обычном ДВС впускной клапан закрывается практически сразу по прохождении поршнем нижней мертвой точки, то в новой схеме такт впуска значительно длиннее — клапан закрывается лишь на полпути поршня к верхней мертвой точке, то есть, когда в цикле Отто уже вовсю идет такт сжатия.

В теории такая система должна была улучшить процесс наполнения цилиндров, что в свою очередь привело бы к экономии топлива и увеличению показателей мощности мотора. В общем-то, цикл Аткинсона на 10% показательней по эффективности, чем цикл Отто. Но все же серийно автомобили с таким ДВС не выпускались и не выпускаются. А дело все в том, что обеспечить свою нормальную работу такой двигатель может только на повышенных оборотах, при холостых — он стремится заглохнуть. Чтобы этого не происходило, разработчики и инженеры пытались внедрить в систему нагнетатель с механикой, но его установка, как выяснилось, сводит практически к нулю все плюсы и достоинства двигателя Аткинсона. В виду этого серийно автомобили с таким двигателем практически не выпускались. Один из самых известных — Mazda Xedos 9/Eunos 800, выпускаемая в 1993-2002 годах. Автомобиль оснащался 2,3-литровым двигателем V6, с мощностью в 2010 л.с.. Зато цикл Аткинсона очень пригодился автопроизводителям при создании гибридных моделей (вроде Toyota Prius). Ведь на малых скоростях такие машины передвигаются, в основном, на электротяге, а бензиновый двигатель подключается только при разгоне или при больших нагрузках. Эта схема с одной стороны позволяет нивелировать врожденные недостатки мотора Аткинсона, а другой — максимально использовать его положительные качества.

Шеститактный двигатель — это тип ДВС, для которого за основу взят четырёхтактный двигатель, но в нём в конструкцию введены новые элементы, повышающие его КПД и снижающие потери. Температура газов в камере сгорания четырехтактного ДВС Отто достигает 2000°C . Внутренние стенки цилиндра, и рабочая поверхность поршня нагреваются до 1500°C . Часть тепловой энергии уходит из камеры сгорания на четвертом такте вместе с выхлопными газами. Чтобы быстро отвести тепло и охладить камеру сгорания до оптимальной температуры, применяется мощная система охлаждения, неисправность которой грозит поломкой двигателя.

Брюс Кроуэр придумал способ, как превратить тепло двигателя во вращение коленчатого вала. Изобретатель решил, что в концепции Отто не хватает еще двух тактов — рабочего и холостого. Но источником энергии для них должна служить не очередная порция топливовоздушной смеси, а избыточная температура. В качестве рабочего тела он применил простую воду. При атмосферном давлении вода, превращаясь в пар, увеличивает свой объем в 1600 раз и обладает колоссальной энергией. В двигателе Кроуэра вода впрыскивается в камеру сгорания в виде мельчайших капелек под давлением около 150 атм., когда заканчивается четвертый такт цикла Отто и поршень возвращается в исходное положение. Попадая на раскаленную поверхность поршня и гильзы цилиндра, вода превращается в пар и толкает поршень вниз, совершая рабочий пятый такт. На шестом такте отработанный пар

удаляется из камеры сгорания через выпускной клапан. Таким образом Кроуэр заставляет уже сгоревшее топливо еще раз совершить полезную работу, используя его «тепловой фантом». Эту концепцию изобретатель назвал Steam-o-Lene.

Цикл Кроуэра отличается от традиционного цикла Отто не только количеством тактов, но и отношением количества рабочих тактов к их общему числу. Так, у Отто это отношение составляет 1:4, а у Кроуэра – 1:3, дополнительные 40% полезной работы совершаются на неизменном количестве топлива. На четвертом такте раскаленные выхлопные газы не удаляются из камеры сгорания полностью, а сжимаются поршнем, создавая очень высокое давление. Вода в такой среде испаряется быстрее и равномернее. Далее отработанный пар поступает в конденсатор, где охлаждается и снова превращается в воду. Часть остаточного тепла используется для обогрева салона автомобиля.

Преимущества Steam-o-Lene перед традиционными четырехтактными ДВС очевидны. Во-первых, радикально решается проблема эффективного охлаждения внутренних стенок камеры сгорания и специальная система охлаждения весом более 100 кг оказывается не нужна. Отсутствие радиатора позволяет дизайнерам уменьшить коэффициент аэродинамического сопротивления кузова автомобиля за счет отказа от воздухозаборников и решетки радиатора. А это один из самых существенных факторов, влияющих на расход топлива при скоростях выше 60 км/ч.

Во-вторых, внутреннее охлаждение позволяет существенно, на 30–50%, форсировать двигатели по степени сжатия, избежав при этом детонации. Степень сжатия для бензиновых модификаций может быть увеличена до 14–16:1, а для дизельных – до 25–35:1. Это резко повышает эффективность сгорания топливовоздушной смеси (на 40% по сравнению с циклом Отто), тем самым улучшая экологические характеристики двигателя. Размеры и масса мотора могут быть снижены без ущерба для динамики авто.

Два рабочих такта из шести в цикле Кроуэра позволяют значительно снизить скорость вращения коленвала и получить ровную и насыщенную «полку» крутящего момента с самых низких оборотов. Steam-o-Lene может отлично работать на низкокачественном дешевом топливе без антидетонационных присадок. Топливом могут служить биоэтанол, дизель, природный газ и даже топочный мазут. Относительно низкий температурный режим в камере сгорания резко снижает образование вредной двуокиси азота. А между тем системы фильтрации и нейтрализации двуокиси азота в современных автомобилях весьма дорогостоящи. Брюс также предполагает, что горячий пар может предотвращать появление нагара на клапанах и стенках камеры сгорания, очищая их во время «парового» такта подобно парочистителю. Но для подтверждения этого эффекта требуются длительные испытания прототипа.

Разумеется, концепция Кроуэра не лишена недостатков. Основная проблема – это замерзание воды зимой. Добавление антифриза может негативно сказаться на эффективности испарения и экологических параметрах двигателя. Проблему могла бы решить термоизоляция водяного резервуара и его предварительный подогрев от аккумулятора. Но как быть, если автомобиль длительное время находится на открытом воздухе?

Другая проблема – необходимость установки на автомобиле дополнительного оборудования для хранения и конденсации воды. Правда, масса его обещает быть незначительной: в рабочем контуре пар и вода будут находиться при атмосферном давлении и максимальной температуре чуть более 100°C, что позволяет использовать вместо металла легкие пластмассы. Не исключено, что часть воды будет попадать в моторное масло и это потребует установки специального сепаратора для ее отделения. Впрочем, давно отработанные технологии смазки паровых турбин для нужд энергетики имеют целый ряд готовых решений этой проблемы. Для изготовления клапанов, поршня и гильзы цилиндра, скорее всего, потребуются нержавеющие материалы, в частности керамика.

Steam-o-Lene не может работать полноценно сразу после запуска – ему нужно время для разогрева рабочих поверхностей камеры сгорания до 450–500°C. Несколько минут он работает как обычный 4-тактный ДВС, а затем переходит на полный рабочий цикл. Перед остановкой мотор тоже должен некоторое время поработать в 4-тактном режиме для полного

удаления пара из цилиндра. Разумеется, вода должна быть дистиллированной: при использовании обычной на седле клапана со временем образуется твердая накипь, обладающая высокими абразивными свойствами. При серийном производстве двигателей цикла Кроуэра придется наладить целую инфраструктуру производства и реализации дистиллированной воды.