

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С АЛЬТЕРНАТИВНЫМ ИСТОЧНИКОМ ЭНЕРГИИ

Ет-Тудар Зубаир, ст. гр. А-48-18

Научовий консультант: Волков В.П., проф., д.т.н.

Введение. В конце первого и начале второго десятилетий ХХІ века в мировом автомобилестроении произошли весьма заметные знаковые события, которые были прокомментированы прессе: ряд крупных автомобилестроительных компаний на престижных автосалонах представили первые опытные образцы легковых транспортных средств (ТС), созданных специально для работы на сжатом воздухе, а также гибридные образцы, работающие на бензине и сжатом воздухе. Так, например, на автосалоне в Лос-Анжелесе 19–28 ноября 2010 г. были представлены сразу три пневмомобиля: Cadillac Aera, Honda Air и Volvo Air Motion. Примеров много, и о них пойдет речь позже [1, 2, 3].

Появление на автосалонах таких серьезных разработок ряда крупных автомобильных компаний можно оценить как своего рода сигнал о том, что проблема внедрения на автомобильном транспорте сжатого воздуха в качестве движущей силы признается актуальной и, можно сказать уже поставлена на повестку дня развития экологически чистого автомобильного транспорта, в первую очередь легкового.

Целью статьи является определение основных параметров пневматического двигателя для ТС.

Результаты исследования. В качестве объекта исследования принят пневмодвигатель поршневой, четырехцилиндровый, с рабочим объемом $V_h = 0,2994 \text{ дм}^3$, с золотниковым воздухораспределителем вращающегося типа [1]. Конструктивные параметры ε_0 , ε_1 и ε_3 определяют в пневмодвигателе совершенство рабочего процесса, полноты преобразования потенциальной энергии поступающего сжатого воздуха в полезную индикаторную работу. Таким образом, эти три конструктивных параметра, их наиболее благоприятное сочетание, служат основой высоких экономических показателей работы пневмодвигателя – удельного, $\text{кг}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$, расхода энергоносителя и коэффициента полезного действия.

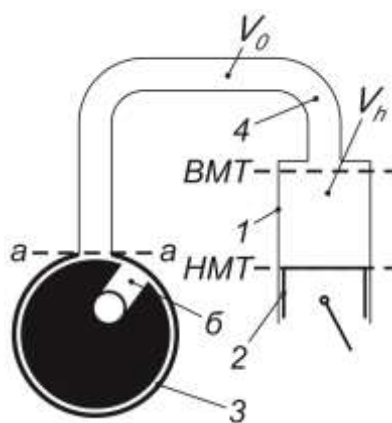
С увеличением давления сжатого воздуха на входе $p_{\text{вх}}$ (режимный параметр) растут мощность двигателя и часовой расход энергоносителя. Удельный расход и КПД двигателя могут улучшаться и ухудшаться в зависимости от уровня частоты вращения коленчатого вала двигателя. Величина $p_{\text{вх}}$ является средством регулирования режима работы двигателя, его мощности N_e и частоты вращения n . Выбор конструктивных параметров ε_0 , ε_1 и ε_3 обеспечивает высокая эконо-

мичность двигателя на рабочих режимах работы при рабочих мощностях и частотах вращения коленчатого вала.

Конечная цель исследования заключается в обосновании рекомендаций по выбору рациональных значений безразмерных конструктивных параметров [4] – относительного вредного пространства $\varepsilon_0 = V_0 / V_h$, степени наполнения $\varepsilon_1 = V_1 / V_h$ и степени обратного сжатия $\varepsilon_3 = V_3 / V_h$ в рабочем диапазоне давлений сжатого воздуха на входе $p_{вх} = 0,5 - 1,1$ МПа.

Критерием выбора параметров принимается минимальный удельный эффективный расход сжатого воздуха g_e на режиме максимальной мощности пневмодвигателя $N_e^{\max}$ для принятых параметров сжатого воздуха на входе.

Рассмотрим кратко роль относительного вредного объема ε_0 и абсолютной величины вредного объема V_0 на рабочий процесс поршневого пневмодвигателя с золотниковым воздухораспределением [1]. Объем V_0 состоит из надпоршневого объема цилиндра в верхнем крайнем положении поршня и объема канала, соединяющего цилиндр с золотником (рис. 1). Через канал 4 происходит поступление сжатого воздуха в цилиндр в процессе наполнения и выпуск отработавшего воздуха в процессах выхлопа и вытеснения его из цилиндра при обратном перемещении поршня.



1 - цилиндр; 2 - поршень; 3 - золотниковое устройство;

4 - соединительный канал между цилиндром и золотником

Рис. 1 - Схема соединения цилиндра пневмодвигателя с золотником

В периоды процессов расширения и обратного сжатия, когда золотник перекрывает соединительный канал в сечении $a-a$ объем V_0 вместе с объемом рабочей камеры цилиндра составляет одно целое. В этом объеме как составной части закрытой термодинамической системы в одно и то же время происходят одни и те же газовые тепловые и динамические

процессы, что и в основной рабочей камере. Влияние величины V_0 на протекание процессов рабочего цикла, на энергетические и экономические показатели работы пневмодвигателя велико. Это наиболее наглядно можно иллюстрировать теоретическими индикаторными диаграммами (рис. 2), построенными для двух различных по величине V_0 , но при одинаковых начальных давлениях $p_1 = p_{вх}$ и одинаковых степенях наполнения $\varepsilon_1 = idem$ и предельно максимальных степенях обратного сжатия ε_3^{max} , которые, как уже было представлено ранее, зависят от величин $p_{вх}$ и ε_0 [5].

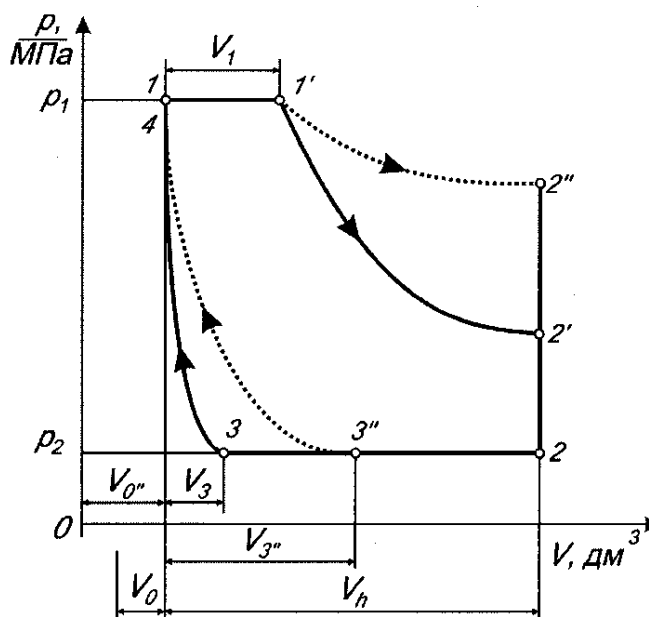


Рис. 2- Теоретическая индикаторная диаграмма пневмодвигателя при двух различных по величине объемах вредного пространства и одинаковых степени наполнения и давлениях на впуске

Диаграмма для меньшего вредного объема выполнена сплошными линиями, а диаграмма с большим V_0 – пунктиром. Процесс сжатия и расширения протекают более плавно при большем вредном объеме V_0 . В сравниваемых процессах показатели политропы одинаковы, а их протекание существенно различается, так как расширяются и сжимаются различные объемы газа. При большем начальном объеме интенсивно изменяется давление газа в зависимости от изменения его объема. В точке 1' (рис. 3.2) объем рабочего тела $V_1 + V_0 = (\varepsilon_1 + \varepsilon_0)V_h$, а в точке 3 объем составляет $V_3 + V_0 = (\varepsilon_3 + \varepsilon_0)V_h$. При большем вредном объеме процесс расширения происходит по линии 1'–2'', а процесс обратного сжатия – по линии 3''–4. Опыт показывает, что при любом увеличении вредного пространства V_0 приращение положительной площади индикаторной

диаграммы в процессе расширения всегда значительно больше приращения отрицательной площади в процессе сжатия.

Поэтому увеличение вредного пространства всегда влечет за собой возрастание полезной площади индикаторной диаграммы, т. е. полезной индикаторной работы, а, следовательно, и возрастание индикаторной N_i и эффективной N_e мощностей пневмодвигателя. Однако этот положительный эффект от увеличения вредного объема получается сравнительно небольшим, по сравнению с отрицательным – увеличением расхода сжатого воздуха.

Следующим этапом является обоснование выбора наиболее рациональной величины степени наполнения ε_1 . На рисунке 3 представлен теоретический рабочий цикл пневматического двигателя с различной по величине степенью наполнения $\varepsilon_1 = V_1 / V_h$ (минимально целесообразной до максимально возможной).

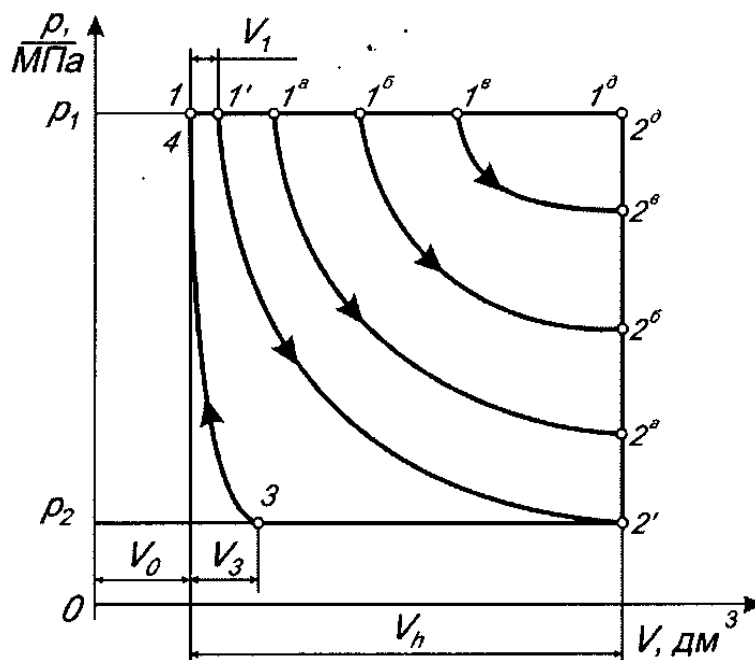


Рис. 3 - Теоретический рабочий цикл пневмодвигателя с различной степенью наполнения $\varepsilon_1 = V_1 / V_h$

Минимально целесообразной степени наполнения соответствует случаю, когда процесс политропного расширения будет заканчиваться в точке 2', т. е. когда конечное давление процесса p_2 будет равным противодавлению на выпуске p_2 .

В этом случае располагаемая потенциальная энергия рабочего тела будет полностью превращена в положительную работу процесса расширения. Потерь располагаемой энергии рабочего тела на момент конца расширения не будет, энергия сжатого воздуха в объеме $V_1 + V_0$ (объем рабочей камеры в точке 1') будет максимально использованной.

Индикаторный рабочий процесс при прочих равных условиях будет наиболее экономичным, удельный индикаторный расход сжатого воздуха g_i будет наименьшим. При дальнейшем уменьшении ε_1 доля превращенной в положительную работу потенциальной энергии будет уменьшаться. Она будет уменьшаться и при каком-либо увеличении ε_1 выше рассмотренного случая соответствующего равенства $p_{2'} = p_2$.

В случае 1^a-2^a располагаемая потенциальная энергия воздушного заряда используется не полностью. Эта часть потенциальной энергии теряется в процессе на участке 2^a-2 . Если в процессе $1'-2'$ потери (в теоретическом процессе) отсутствовали, то здесь они имеют место. Площадь индикаторной диаграммы увеличилась и, соответственно, выросли мощности N_i и N_e , но выросла и масса циклового воздушного заряда, возросло часовое потребление сжатого воздуха, а недоиспользование энергии сжатого воздуха отрицательно отразилось на удельных показателях: удельном расходе энергоносителя g_e , удельной работе l , индикаторном η_i и эффективном η_e КПД пневмодвигателя.

Наибольшая площадь индикаторной диаграммы, а значит и наибольшая мощность пневмодвигателя N_e будет достигнута, если степень наполнения будет максимальной $\varepsilon_1^{\max} = 1,0$ (точка 1^A). В этом случае расширения рабочего тела не будет происходить, цилиндровая работа будет равна только работе наполнения. Мощность двигателя будет самой высокой, а его экономичность – самой низкой. Так как сжатый воздух будет выпускаться из цилиндра с теми же параметрами и с той же потенциальной энергией, с которыми он и поступил в рабочую камеру в процессе наполнения.

Следующим этапом является оценка эффекта при рекомендуемых значениях определяющих конструктивных параметров. Определение положительного эффекта от применения рекомендуемых рациональных конструктивных параметров ε_0 , ε_1 и ε_3 на существующем пневмодвигателе можно путем сравнения показателей его работы на режиме максимальной мощности по четырем рассмотренным выше скоростным характеристикам при одних и тех же значениях конструктивных параметров.

Такие сравнительные данные представлены в [1], где приведены конструктивные параметры и показатели рабочего процесса существующего пневмодвигателя (объекта исследования), а в графах Б – данные этого же двигателя, но с рекомендуемыми по критерию $g_e^{\max}$ конструктивными параметрами ε_0 , ε_1 и ε_3 . Из представленных расчетных данных следует, что определяющие конструктивные параметры соответствуют минимальному удельному расходу сжатого воздуха g_e в

первую очередь снизило удельный расход воздуха на 25 % при $p_{\text{вх}} = 0,5$ МПа и с увеличением $p_{\text{вх}}$ до $p_{\text{вх}} = 1,1$ МПа снижается на 32,4 %. Существенно снизился часовой расход сжатого воздуха на 42,7 % при $p_{\text{вх}} = 0,5$ МПа.

Закономерности изменения g_e и N_e в зависимости от конструктивных параметров ε_0 , ε_1 и ε_3 и от давления $p_{\text{вх}}$ различны. В данном случае суммарное влияние изменений конструктивных параметров по отношению к их исходному значению (ε_0 – снизилось более чем в два раза, ε_1 – увеличилось почти на 40 %, ε_3 – увеличилось почти на 43 %) обеспечило заметное снижение эффективной мощности двигателя, т.к. мы более чем в два раза снизили вредный объем. При $p_{\text{вх}} = 0,5$ МПа снижение N_e (табл. 8.4) составило 22,9 %. При $p_{\text{вх}} = 1,1$ МПа понижение N_e составило уже 8 %. Тем не менее, речь идет о существенном ухудшении энергетических качеств двигателя – его мощности и развиваемого крутящего момента.

Следует отметить, что неотвратимым спутником использования более рациональных конструктивных параметров было бы резкое снижение положительного эффекта повышения $p_{\text{вх}}$. В действительности понижение мощности и крутящего момента, без каких-либо проблем восстанавливается путем некоторого повышения давления

Выводы. В статье выполнен ретроспективный анализ и современное состояние исследований по применению пневматических двигателей на транспортных средствах. Усовершенствован метод организации рабочих процессов пневматического двигателя на основе динамической расчетной модели, позволяющий оценить влияние конструктивных и регулируемых параметров на действительное значение индикаторной работы и циклового массового заряда для пневматического транспортного средства.

Литература

1. Рабочий процесс автомобильного пневмодвигателя: монография / А.И. Воронков, И.Н. Никитченко. – Х.: ХНАДУ, 2015. – 200 с.
2. Воздухомобили. Автомобили, работающие на воздухе / Редакционная статья // Еженедельник «АвтоФотоПродажа». – 2008. – № 46. – С. 2–3.
3. Toyota создала быстрый автомобиль на сжатом воздухе [Электронный ресурс]: // Новости Newsland – 28.09.2011. Режим доступа: <http://www.newsland.ru/news/detail/id/790286/>.
4. Зиневич В.Д. Пневматические двигатели горных машин / В.Д. Зиневич, Г.З. Ярмоленко, Е.Г. Калита. – М.: Недра, 1975. – 344 с.
5. Дьяченко В.Г. Теория двигателей внутреннего сгорания / В.Г. Дьяченко. – Х.: ХНАДУ, 2009. – 500 с.