

Оценка нелинейных свойств коэффициента избытка воздуха для построения компьютерной модели транспортного дизель – генератора

Харьковский национальный автомобильно – дорожный университет

Вступление

Из теории дизельных двигателей известно, что их экономичность в существенной мере зависит от такого параметра, как коэффициент избытка воздуха α . Влияние этого параметра на экономичность в переходных режимах целесообразно исследовать на компьютерных моделях, адекватность которых реальным объектам тем выше, чем точнее описано поведение основных параметров системы. Поэтому задача создания компьютерной модели, учитывающей как можно больше параметров и адекватной реальному объекту или его физической модели, для целей исследования путей повышения экономичности транспортных машин является актуальной.

Анализ публикаций и цель исследования

Математические модели дизелей различного назначения являются достаточно информативными при исследовании их динамики. Наиболее существенный вклад в разработку методов построения динамических моделей дизелей внес Крутов В.И. [1,2]. Процессы в агрегатах двигателя описываются системой дифференциальных уравнений, линеаризованных в окрестности точки. В зависимости от целей исследований в систему вводятся модели дополнительных устройств. Введение нелинейностей в систему основных уравнений с последующим их решением методом кусочно – линейной аппроксимации (метод сшивания) позволяет повысить точность решения ряда задач по исследованию динамических свойств объекта [3]. Однако этот подход требует большого количества экспериментальных данных.

Поэтому автор данной работы в [4] изменил подход к созданию самой модели. Автор на основе метода сеточных моделей определяет в матричной форме зависимости всех параметров мощного дизеля от частоты вращения n и положения рейки h органа топливоподачи [5]. Разработанная компьютерная модель содержит только линейные элементы и замыкается только через параметры n и h . В этой модели поверхность $\alpha(n,h)$ не была введена ни в какой контур управления и поэтому не влияла на динамические характеристики системы регулирования, такие как быстроедействие и др.

Целью проведенного в данной работе исследования является определение возможности линеаризации поверхности $\alpha(n,h)$ не в отдельной точке, а в рабочей области. Оценка понадобится в случае, если на уровне созданной компьютерной модели понадобится осуществить замыкание не только по частоте n и рейке h , но и по коэффициенту избытка воздуха $\alpha(n,h)$.

Основные материалы исследования

Поверхность $\alpha(n, h)$ задана узловыми точками, полученными в ходе сеточного моделирования и представлена для мощного дизеля 4Д80Б в табл.1. Оценим меру ее нелинейности, исходя из степени нелинейности сечений $\alpha(h)|_{n=const}$ и $\alpha(n)|_{h=const}$ в области рабочих режимов.

Если иметь матричное представление зависимости $\alpha(n, h)$ любого дизеля, то область рабочих режимов упрощенно можно определить следующим образом: рабочая область по параметру α находится между величинами 1.4 и $(3.0 \div 3.5)$.

Целью такого оценивания является определение возможности линеаризации поверхности $\alpha(n, h)$ не в отдельной точке, а в рабочей области. Оценка понадобится в случае, если возникнет необходимость осуществить замыкание системы не только по частоте и положению рейки, но и по коэффициенту избытка воздуха.

В компьютерной модели поверхность $\alpha(n, h)$ не была введена ни в какой либо контур регулирования и поэтому не влияла на динамические характеристики системы регулирования, такие как быстродействие и др. Задача замыкания системы через этот блок в работе не ставилась

Воспользуемся следующей методикой оценки меры нелинейности функций $\alpha(h)$ и $\alpha(n)$ в пределах всего рабочего интервала изменения их аргументов. Так, построим эталонную прямую, проходящую либо через крайние точки ломаных $\alpha(h)$ и $\alpha(n)$, либо получим ее по методу наименьших квадратов $\alpha(h)_{этал}$ и $\alpha(n)_{этал}$, а затем рассчитаем величину относительного отклонения исходных ломаных от этой эталонной прямой в пределах рабочего интервала изменения аргументов. Такой подход позволяет оценить меру нелинейности кривых $\alpha(h)$ и $\alpha(n)$ в процентах. В него фактически закладывается сглаживание расчетных зависимостей по методу наименьших квадратов, устраняются случайные выбросы, а поэтому полученные эталонные (аппроксимирующие) прямые, в принципе, логично будет использовать даже в целях синтеза системы регулирования с замыканием обратных связей через линеаризованный в рабочей области блок $\alpha(n, h)$.

Для оценивания степени нелинейности $\alpha(n, h)$ в рамках предложенного подхода расчетные формулы представим, как показано ниже:

$$\Delta\alpha_{пол} = \frac{\alpha_{пол} - \alpha_{этал}}{\alpha_{этал}} \cdot 100\% , \quad (1)$$

$$\Delta\alpha_{нк} = \frac{\alpha_{нк} - \alpha_{этал}}{\alpha_{этал}} \cdot 100\% , \quad (2)$$

$$\Delta\alpha_{сплайн\ куб} = \frac{\alpha_{сплайн\ куб} - \alpha_{этал}}{\alpha_{этал}} \cdot 100\% , \quad (3)$$

$$\Delta\alpha_{сплайн\ лин} = \frac{\alpha_{сплайн\ лин} - \alpha_{этал}}{\alpha_{этал}} \cdot 100\% , \quad (4)$$

где $\alpha_{пол}$ – полином, интерполирующий данные табл. 1;

$\alpha_{нк}$ – полином, полученный по методу наименьших квадратов для аппроксимации данных табл.1;

$\alpha_{сплайн\ лин}$, $\alpha_{сплайн\ куб}$ – кривые линейной и кубической сплайн-интерполяции данных табл.1;

$\alpha_{этал1}$ – прямая, проведенная через крайние точки интервала изменения аргументов;

$\alpha_{этал2}$ – прямая, полученная по методу наименьших квадратов для аппроксимации данных табл.1;

$\Delta\alpha_{пол}$, $\Delta\alpha_{нк}$, $\Delta\alpha_{сплайн\ куб}$, $\Delta\alpha_{сплайн\ лин}$ – соответствующие величины отклонения

кривых α от эталонной прямой $\alpha_{этал}$.

Набор формул (1) – (4), возможно, несколько избыточен, однако он дает возможность получить полное представление о мере нелинейности зависимостей $\alpha(n,h)$ в рабочей области.

Результаты расчетов по приведенным выражениям представим в виде графиков и в результате их анализа сделаем обобщающие выводы.

Из рис. 1, видно, что графики $\alpha_{пол}$, $\alpha_{нк}$, $\alpha_{сплайн\ куб}$, $\alpha_{сплайн\ лин}$ практически сливаются и образуют достаточно прямую линию.

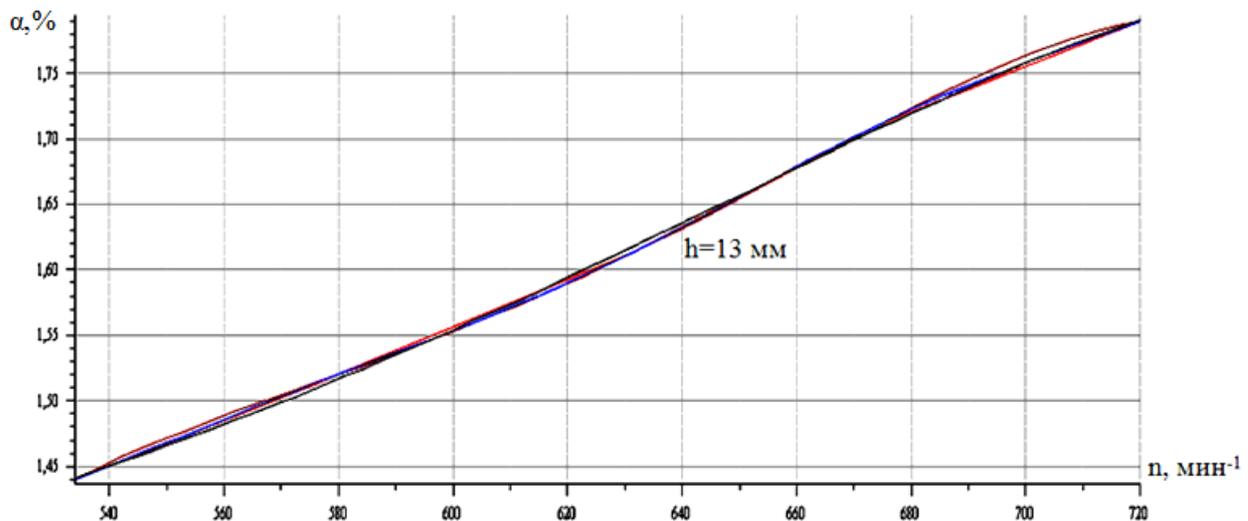


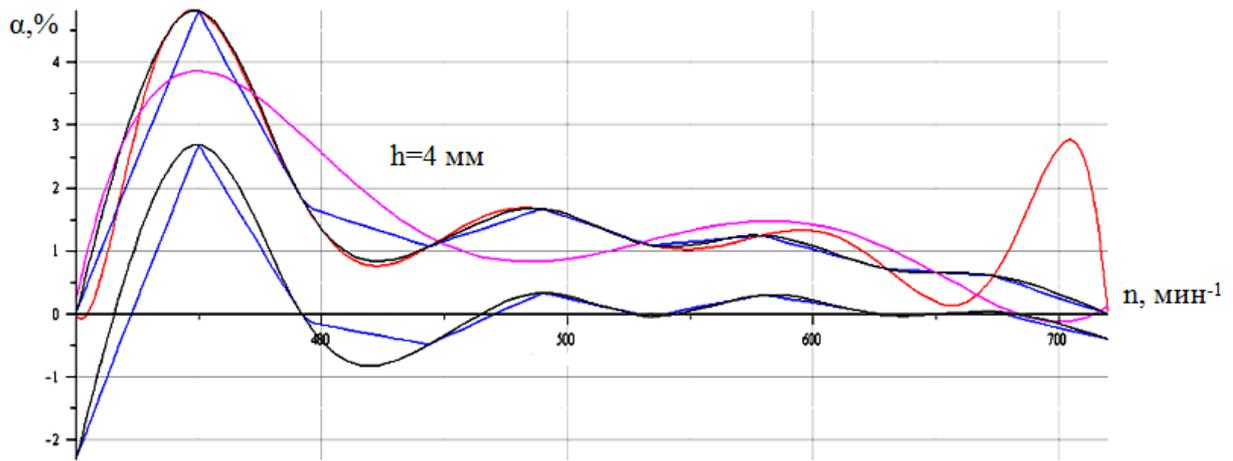
Рис. 1. Аппроксимация по методу наименьших квадратов, интерполяция полиномом и сплайнами коэффициента наддува $\alpha(n)$ при ходе рейки $h=13$ мм

На рис. 2–4 представлены результаты оценки текущих отклонений от линейного закона для разных сечений поверхности $\alpha(n,h)$ в рабочей области. (графики $\Delta\alpha_{пол}$, $\Delta\alpha_{нк}$, $\Delta\alpha_{сплайн\ куб}$, $\Delta\alpha_{сплайн\ лин}$). Значения $n=const$ и $h=const$ указаны на рисунках.

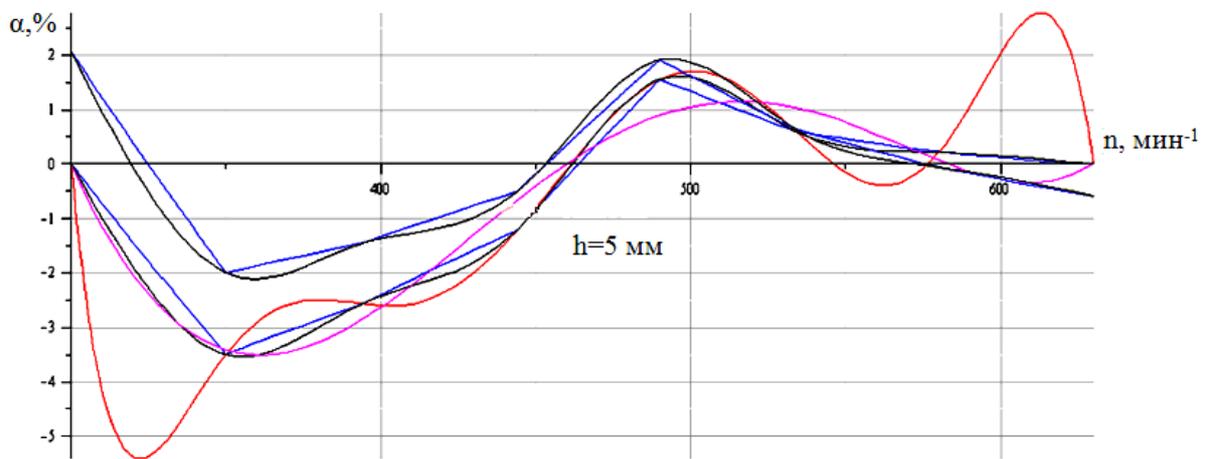
Таблица 1

Зависимость коэффициента наддува α от положения рейки h и частоты вращения коленчатого вала n

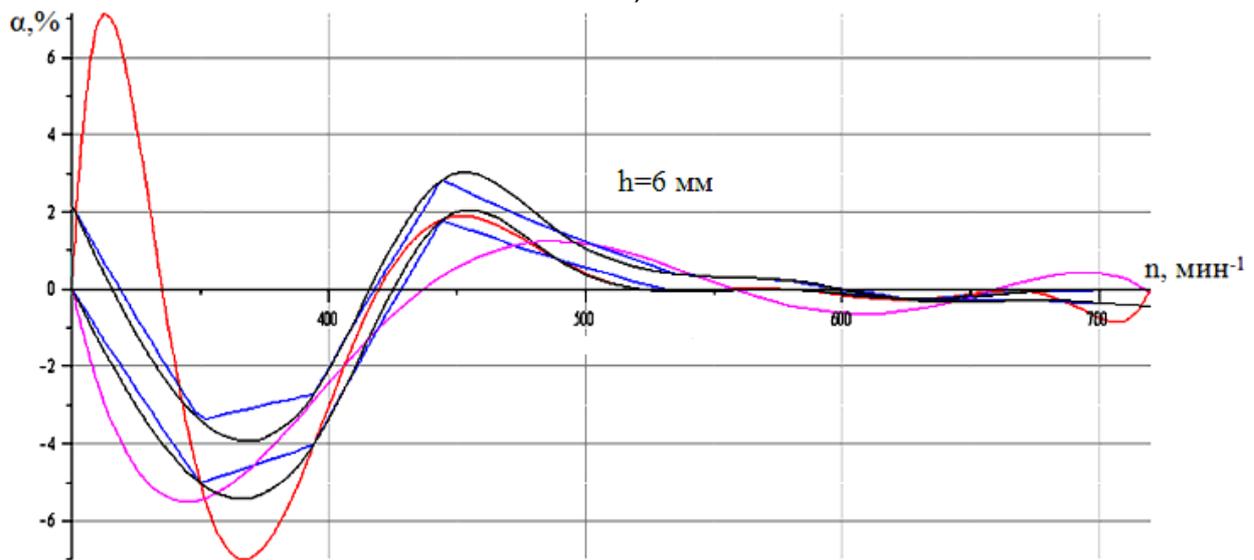
h, мм	Частота вращения коленчатого вала n, 1/ мин										
	300	350	394	444	490	534	580	630	674	720	770
16											1.805
15											1.823
14											1.853
13						1.44	1.52	1.61	1.71	1.79	1.882
12					1.38	1.46	1.55	1.66	1.75	1.83	1.926
11	1.01		1.235	1.33	1.415	1.5	1.6	1.71	1.79	1.88	1.98
10	1.07	1.17	1.28	1.38	1.47	1.55	1.65	1.75	1.84	1.93	2.022
9	1.15	1.23	1.345	1.455	1.54	1.63	1.72	1.835	1.92	2.013	2.112
8	1.3	1.3	1.44	1.53	1.62	1.71	1.795	1.89	1.98	2.085	2.181
7	1.41	1.41	1.5	1.68	1.76	1.845	1.93	2.03			2.29
6	1.6	1.6	1.69	1.88	1.94	2	2.08	2.16	2.24	2.32	
5	1.77	1.79	1.88	1.99	2.125	2.18	2.25	2.33			2.546
4	1.95	2.13	2.14	2.21	2.3	2.36		2.51	2.58	2.64	
3	2.34	2.53	2.48	2.56		2.78	2.87				
2	3.64	3.24	3.3	3.43	3.55						
1	15.2	8.95	7.78	6.4							



а)

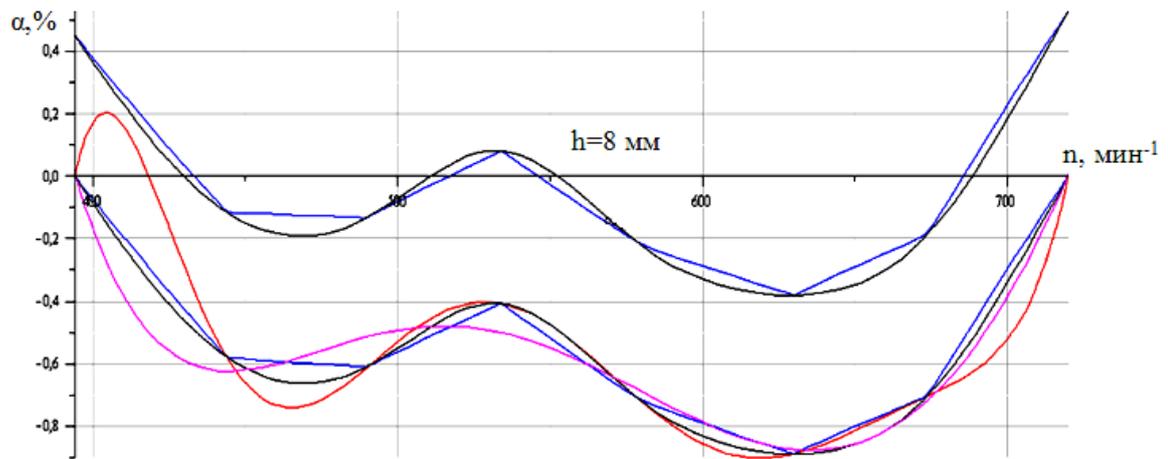


б)

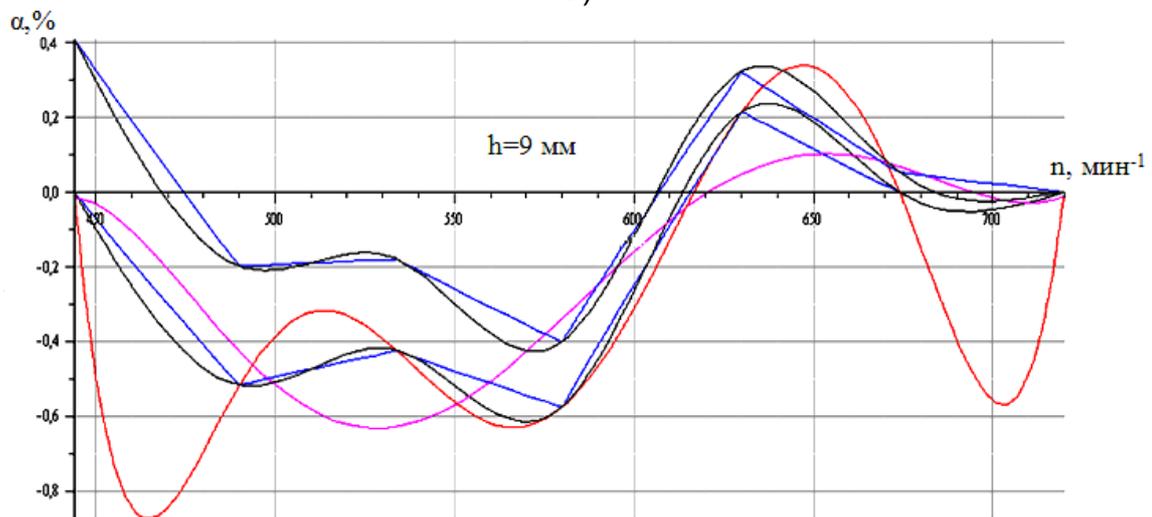


в)

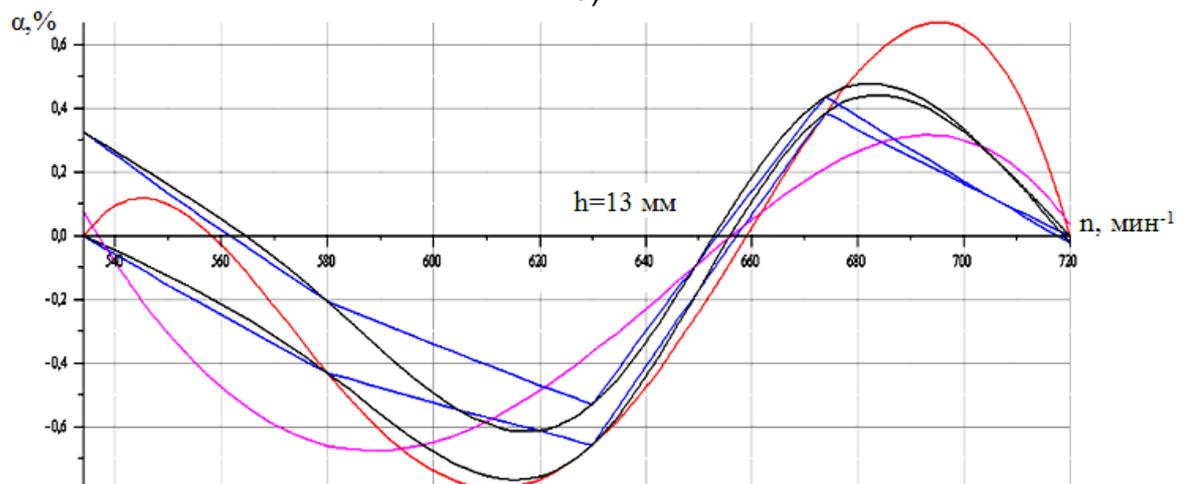
Рис. 2. Отклонения коэффициента наддува, $\alpha(\nu)$ от линейного закона (в процентах) для разных способов аппроксимации и интерполяции при ходе рейки: а) – $h=4$ мм; б) – $h=5$ мм; в) – $h=6$ мм



а)

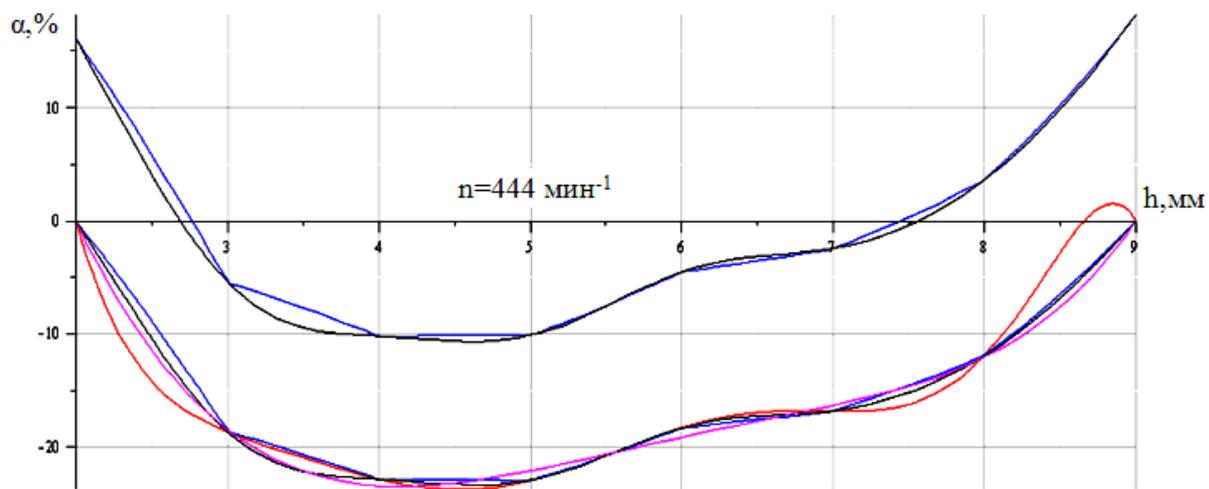


б)

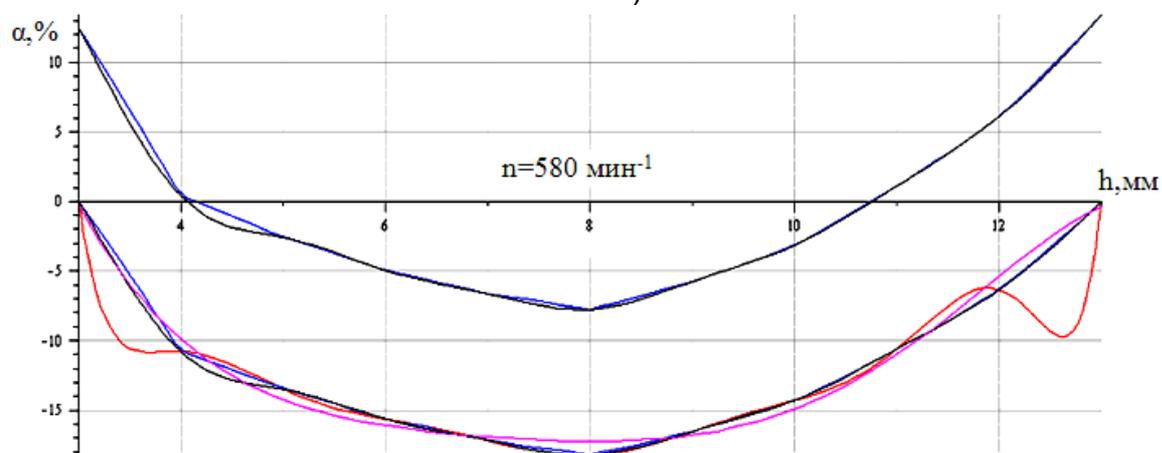


в)

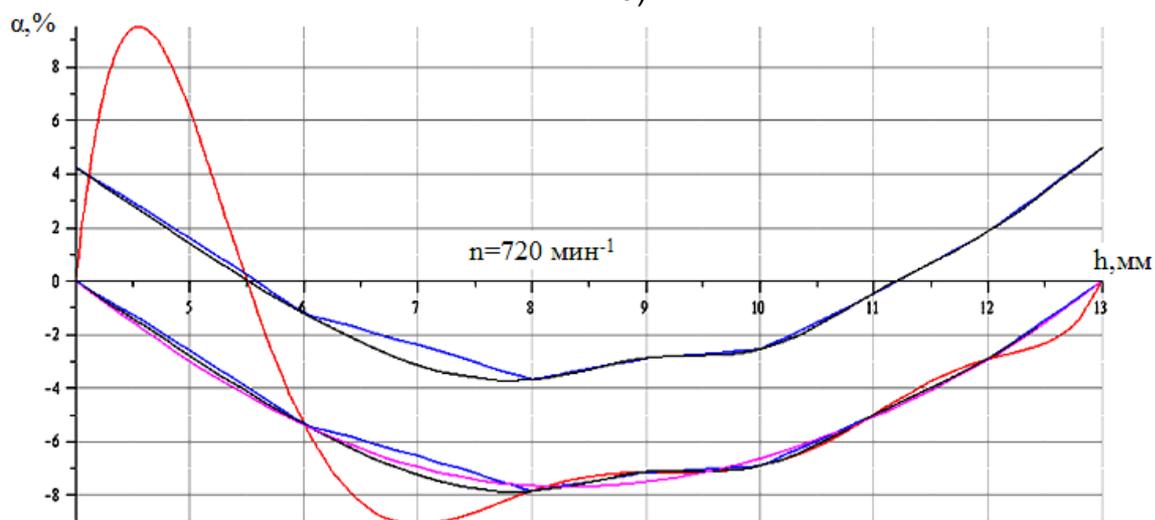
Рис. 3. Отклонения коэффициента наддува, $\alpha(n)$ от линейного закона (в процентах) для разных способов аппроксимации и интерполяции при ходе рейки:
а) – $h=8$ мм; б) – $h=9$ мм; в) – $h=13$ мм



а)



б)



в)

Рис. 4. Отклонения коэффициента наддува $\alpha(h)$ от линейного закона (в процентах) для разных способов аппроксимации и интерполяции при частоте дизеля:
а) – $n=444$ об/мин; б) – $n=580$ мин⁻¹; в) – $n=720$ мин⁻¹

Группа графиков на рисунках (4 линии), начинающихся в нуле, получена при использовании в качестве эталона линейной зависимости $\alpha_{\text{этал1}}$ (прямой, проходящей через крайние расчетные точки). Две другие кривые рассчитаны при использовании в качестве эталона линии $\alpha_{\text{этал2}}$, полученной по методу наименьших квадратов.

Анализ рис. 2 – 4 показывает, что при $h=\text{const}$ зависимости $\alpha(n)$ имеют меньшие значения отклонения от линейного закона, чем зависимости $\alpha(h)$ при $n=\text{const}$. Так, при значениях хода рейки $h=4\text{мм}$, $h=5\text{мм}$, $h=6\text{мм}$ отклонения кривой $\alpha(n)$ от линейного закона лежат в пределах $\Delta\alpha=2-2,5\%$, а при значениях $h=8\text{мм}$, $h=9\text{мм}$, $h=13\text{мм}$ становятся пренебрежимо малыми, укладываясь в диапазон $\Delta\alpha\leq 0,5\%$. Вместе с тем, аналогичные кривые $\Delta\alpha(h)$, полученные при постоянстве скорости дизеля $n=444\text{об/мин}$, $n=580\text{об/мин}$, $n=720\text{об/мин}$, имеют отклонение от линейности, которое лежит в пределах 4-15% и уменьшается с увеличением скорости дизеля. Отклонения $\Delta\alpha\approx 5-7\%$ еще позволяют считать сечения $\alpha(h)$ слабо нелинейными линиями, а при малых скоростях дизеля вопрос о степени нелинейности должен рассматриваться особо с более полным учетом особенностей постановки конкретной задачи, требующей линеаризации этой кривой. Указанные отклонения, как видно из рис. 4, носят не случайный характер: кривая $\alpha(h)$ имеет заметную одностороннюю вогнутость, например, при $n=444\text{об/мин}$, которая резко уменьшается, но сохраняется при $n=720\text{об/мин}$, в области малых и средних значений хода рейки.

Выводы

Таким образом, проведенные исследования нелинейных свойств поверхности $\alpha(n,h)$ позволяют установить, что для всей рабочей области отклонение выбранных сечений от линейного закона не имеет резких или аномальных выбросов, больших точечных отклонений. Поэтому в дальнейшем в разомкнутой САР можно в целом с инженерной точностью считать зависимости $\alpha(h)/_{n=\text{const}}$ и $\alpha(n)/_{h=\text{const}}$ линейными не только в окрестности некоторой точки.

Список литературы

1. Крутов В.И. Двигатель внутреннего сгорания как регулируемый объект. – М.: Машиностроение, 1978. – 472 с.
2. Крутов В.И. Автоматическое регулирование двигателей внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1979. – 614 с.
3. Крутов В.И., Кузьмик П.К. Расчет переходных процессов систем автоматического регулирования дизеля с турбонаддувом с учетом нелинейных характеристик. // Известия вузов. – Машиностроение, 1969, № 10. – с. 102 – 108.
4. Богаевский А.Б. Компьютерная модель мощного транспортного дизель – генератора с электронной системой управления. // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», вып. 38, 2008. – с. 150-169.
5. Богаевский А.Б. Метод определения оптимальных характеристик нагружения для микроконтроллерных регуляторов транспортных дизель – электрических установок. // Праці Луганського від. Міжнарод. акад. інформатизації. Науч. журн., № 2, 2004. – с. 52 – 55.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. ХНАДУ О.П. Алексеев, Харьков.