

# ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СТАБИЛИЗАТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ПОРШНЕВЫХ ДВС

В.А.Романов, В.С.Кукис

*В статье представлены результаты экспериментального исследования энергетических характеристик отработавших газов двигателей внутреннего сгорания, прошедших через стабилизатор их температуры.*

## Постановка задачи

Известно, что в настоящее время в плане снижения вредных выбросов поршневыми ДВС наиболее перспективным и целесообразным считается внедрение в практику специальных устройств для нейтрализации (в частности, каталитических нейтрализаторов) и фильтрации отработавших газов (ОГ), устанавливаемых в выпускной коллектор или за ним, в сочетании с малотоксичными регуляторами.

При этом следует иметь в виду, что эффективность работы каталитических нейтрализаторов (КН) существенно зависит от температуры ОГ. Причем, вредны как малые, так и чрезмерно высокие ее значения.

Между тем, большую часть времени силовые установки мобильной техники работают на переменных скоростных и нагрузочных режимах. В результате этого температура ОГ колеблется в широких пределах (от 120 до 750 °С и выше), что создает научную проблему обеспечения оптимального температурного режима работы КН.

Кроме серьезной проблемы загрязнения окружающей среды ОГ в настоящее время со всей остротой стоит и проблема истощения природных ископаемых энергоресурсов, в первую очередь, нефти.

Одним из путей снижения потребления нефтепродуктов поршневыми ДВС является использование теплоты их ОГ для получения дополнительной работы. Известно, что с ОГ поршневых ДВС выбрасывается в атмосферу 25-45 % энергии, полученной в результате термохимических реакций горения топлива. Столь большие потери энергии с ОГ свидетельствуют о значительных возможностях повышения показателей двигателей в случае ее использования.

Дополнительная работа, полученная за счет использования энергии ОГ поршневых ДВС, может быть обеспечена путем применения утилизационных систем на базе двигателей Стирлинга, паровых двигателей, газо-

вых турбин, термоэлектрогенераторов, воздушных расширительных машин и т. п. [1].

В ходе ранее проведенных исследований установлено [1], что эффективность действия утилизационных систем в большой степени зависит от температуры ОГ, поступающих к утилизационным двигателям, которая, как уже отмечалось, существенно меняется при функционировании поршневых ДВС.

Сказанное свидетельствует о необходимости стабилизации температура ОГ перед их поступление либо в КН, либо в систему утилизации теплоты ОГ.

Эту задачу можно решить с помощью, так называемых, стабилизаторов температуры ОГ (СТОГ) [2]. При этом очевидно, что эффективность и характеристики СТОГ существенно зависят от их конструктивных особенностей и теплофизических свойств используемых в них теплоаккумулирующих веществ (ТАВ). В сожалению, в литературе не удалось найти соответствующей оценки.

## Результаты исследования

В целях экспериментальной оценки особенностей процесса стабилизации температуры потока ОГ с помощью СТОГ был создан испытательный стенд.

В состав испытательного стенда (принципиальная схема и общий вид которого показаны на рис.1 и 2) вошли: тепловой генератор с системой управления, СТОГ и измерительная аппаратура.

Тепловой генератор (ТГ) представляет собой цилиндрическую полость, с одной стороны которой осуществляется подвод воздуха от нагнетателя, а с другой - выход горячих газов (продуктов сгорания - ПС). В боковой цилиндрической стенке корпуса ТГ имеется радиальное отверстие с установленным в ней стаканом, содержащим центробежный распылитель топлива и свечу для его первоначального воспламенения.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СТАБИЛИЗАТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДВС

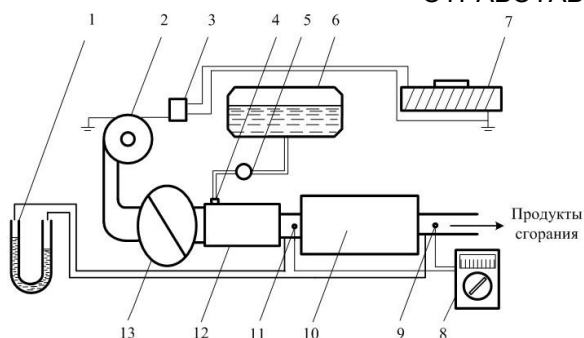


Рис. 1. Принципиальная схема испытательного стенда для исследования процессов в стабилизаторе температуры отработавших газов:

- 1 - пьезометр; 2 - воздушный нагнетатель;
- 3 - переключатель; 4 - свеча накалывания;
- 5 - топливный бак; 6 - топливный кран;
- 7 - тепловой генератор; 8 - газовый счетчик;
- 9 - реостат; 10 - термопары; 11 - СТОГ

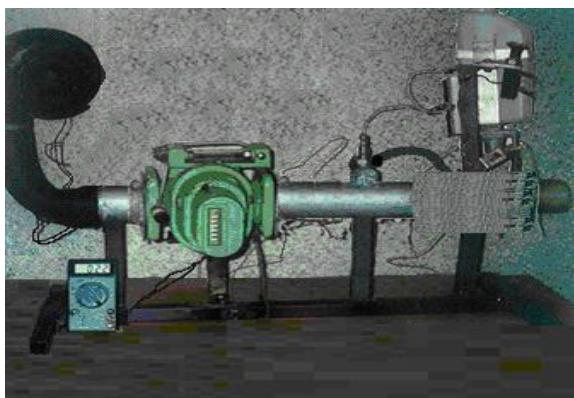


Рис. 2. Общий вид испытательного стенда

Для подачи воздуха был использован центробежный нагнетатель типа Ц 4-76 № 2,5.

Регулирование производительности нагнетателя осуществлялось за счет изменения сопротивления в электрической цепи при помощи лабораторного реостата. Измерение расхода газов через СТОГ производилось ротационным газовым счетчиком РГ-600-1-1.5. Для оценки давления на входе в СТОГ был применен U-образный водяной пьезометр, а для определения температуры ПС и ТАВ - мультиметр DT 838 (режим "Т") с термопарами ХА (диаметр проволоки 0,3 мм). Контроль температуры окружающего воздуха производился по показаниям термометра ТЛ-18, а атмосферного давления - по барометру М-98.

Управление расходом и температурой ПС на входе в СТОГ осуществлялось путем изменения подачи воздуха и топлива в ТГ.

Испытаниям подвергался СТОГ кожухотрубного типа, принципиальное устройство которого показано на рис. 3.

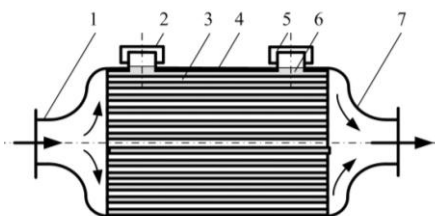


Рис. 3. Устройство стабилизатора температуры отработавших газов:

- 1, 7 - впускной и выпускной патрубки;
- 2, 5 - тепловые компенсаторы с крышками;
- 3 - трубки СТОГ; 4 - корпус СТОГ; 6 - теплоаккумулирующее вещество

Корпус СТОГ выполнен из нержавеющей стали 12Х17Т, во внутренней полости которой расположены теплообменные трубки. В верхней части корпуса имеются две заправочные горловины, совмещенные с компенсаторами теплового расширения ТАВ и входом термопар.

Для уменьшения газодинамического сопротивления потоку газов торцевые крышки имеют плавные переходники. Газодинамическое сопротивление стабилизатора температуры при продувке воздухом с температурой  $25 \pm 10$  °С при расходе  $570 \pm 10$  м<sup>3</sup>/ч, составляло не более 2,4 кПа

С целью снижения пожароопасности и потерь теплоты с наружной поверхности СТОГ, его корпус был закрыт асбестовой теплоизоляцией (на рис. 3 не показана).

Экспериментальное исследование включало два этапа. На первом этапе проводились натурные испытания, которые предусматривали исследование процесса стабилизации переменной температуры потока ПС в результате их прохождения через СТОГ фазового перехода. Было изучено три серии из 15 режимов работы СТОГ, в каждой из которых расход ПС оставался неизменным и равным 0,12 кг/с (что соответствует расходу ОГ двигателя УМЗ-417 автомобиля УАЗ-3151 при работе на номинальном скоростном режиме), а их температура на входе в СТОГ изменялась произвольно в диапазоне 270-700 °С. После перехода на каждый новый температурный режим на входе в СТОГ, этот режим выдерживался до стабилизации температуры потока газов на выходе из стабилизатора температуры. Затем проводился расчет изу-

ченных экспериментально режимов с помощью математической модели [3]. При этом была подтверждена адекватность использованной математической модели.

На втором этапе путем математического эксперимента проводилось исследование: температуры ТАВ и ее стабилизации при прохождении через СТОГ потока ПС; температуры ПС и их стабилизации в результате прохождения через СТОГ; изменения энергетических характеристик (теплоты и эксергии) ПС на выходе из СТОГ.

В процессе исследования изменяли: теплоаккумулирующее вещество, материал и толщину стенок трубок СТОГ, а также их диаметр и длину (табл. 1).

Таблица 1  
Интервалы варьирования факторов, влияющих на процесс стабилизации температуры потока продуктов сгорания

Факторы	Интервалы варьирования
Теплоаккумулирующее вещество	NaOH, LiOH, LiNO <sub>3</sub> , 7 NaNO <sub>3</sub> /40 NaNO <sub>2</sub> /53 KNO <sub>3</sub>
Материал трубок	сталь 12X17T; Al 25; чугун ЧН15Д7Х2
Длина трубок, м	2,7-67,0
Внутренний диаметр, мм	5-25
Толщина стенок трубок, мм	0,5-2,0
Масса ТАМ, кг	3,0-6,5

Характеристики ТАВ, использованных при проведении экспериментов, представлены в табл. 2 [4].

Таблица 2  
Основные характеристики использованных теплоаккумулирующих веществ

ТАВ	T <sub>пл</sub> , К	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)		Теплопроводность, Вт/(м·К)		ρ, кг/м <sup>3</sup>
		жид. фазы	тв. фазы	жид. фазы	тв. фазы	
LiNO <sub>3</sub>	525	2040	2020	2,7	1,35	2360
LiOH	744	3900	3300	2,6	1,3	1460
NaOH <sub>3</sub>	591	2090	2100	1,8	0,92	2170
7NaNO <sub>3</sub> / 40NaNO <sub>2</sub> / 53KNO <sub>3</sub>	415	1860	1340	0,5	0,5	2146

В процессе эксперимента проводилось изменение параметров ПС на входе в СТОГ в пределах, указанных в табл. 3.

Таблица 3

Параметры потока продуктов сгорания в ходе эксперимента

Параметры	Значения
Расход ПС, кг/с	0,12
Температура ПС на входе в СТОГ, К	450-920
Продолжительность цикла изменения температуры ПС на входе в СТОГ, с	40
Продолжительность эксперимента, с	900

Приведенные эксперименты позволяют отметить некоторые общие особенности. Прежде всего, стабилизация средней температуры любых ТАВ наступает практически во всех случаях после 140 секунд работы СТОГ. Уровень средней температуры ТАВ, при которой наступает стабилизация, для различных веществ не одинаков (рис. 4).

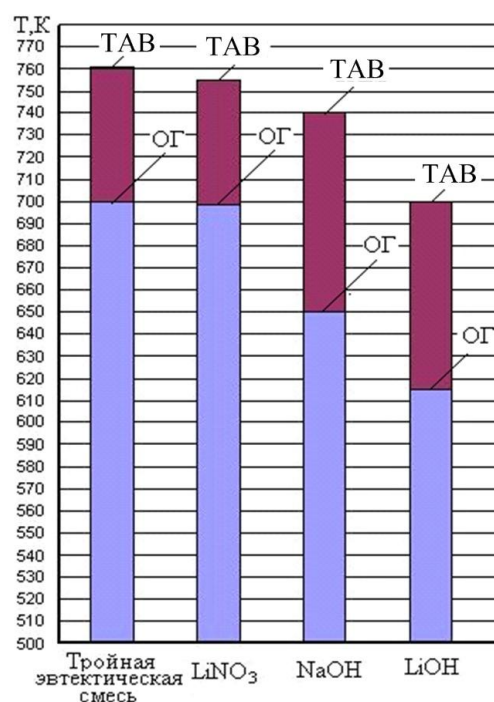


Рис. 4. Средние значения температуры исследованных теплоаккумулирующих веществ и отработавших газов на выходе из стабилизатора температуры через три минуты после начала работы

Наиболее высокая средняя температура достигается при использовании в качестве ТАВ тройной эвтектической смеси 7NaNO<sub>3</sub>/40 NaNO<sub>2</sub>/53 KNO<sub>3</sub> (760 К) и LiNO<sub>3</sub> (755 К).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СТАБИЛИЗАТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДВС

Несколько меньшую температуру (740 К) имеет NaOH и 700 К – LiOH.

Причина установленной разницы средних температур нагрева ТАВ при одинаковых значениях температуры ОГ на входе в СТОГ связана, в первую очередь, с различной теплоемкостью веществ, использованных в качестве рабочего тела стабилизатора температуры (рис. 5).

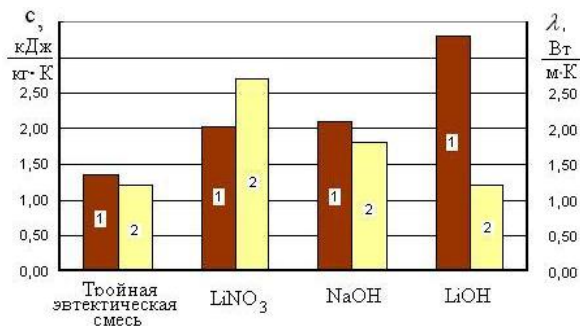


Рис. 5. Значения теплоемкости и теплопроводности исследованных теплоаккумулирующих веществ:

1 – удельная теплоемкость; 2 – коэффициент теплопроводности

Известно, что понятие «теплоемкость» подразумевает количество теплоты, которое необходимо передать для изменения температуры тела на 1 К. Очевидно, что при одинаковой температуре ОГ и одинаковых условиях теплопередачи, температура нагреваемого ТАВ будет тем выше, чем меньше его теплоемкость.

Рис. 6 показывает колебания средней температуры исследованных ТАВ и ОГ на выходе из стабилизатора после трех минут с начала работы СТОГ. Установленные диапазоны ( $\Delta T$ ) являются отражением соответствующих теплофизических свойств ТАВ и ОГ.

Рассмотренные выше особенности поведения температуры различных ТАВ и ОГ на выходе из СТОГ важны при решении вопроса стабилизации температуры продуктов сгорания перед их поступлением в каталитический нейтрализатор. В том же случае, когда теплота выходящих из СТОГ ОГ используется для привода в действия утилизационного двигателя, главный интерес представляет стабилизация потоков теплоты и, в первую очередь, эксергии. Испытания показали, что диапазон изменения обсуждаемых энергетических показателей ОГ на выходе из СТОГ существенно меньше, чем на входе. Так при использовании в качестве ТАВ тройной эвтектической смеси  $7\text{NaNO}_3/40\text{NaNO}_2/53\text{KNO}_3$  это уменьшение составило 73,1 %, LiNO<sub>3</sub> - 72,0 %, NaOH – 69,7 % и LiOH - 65,3 %.

*ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 2008*

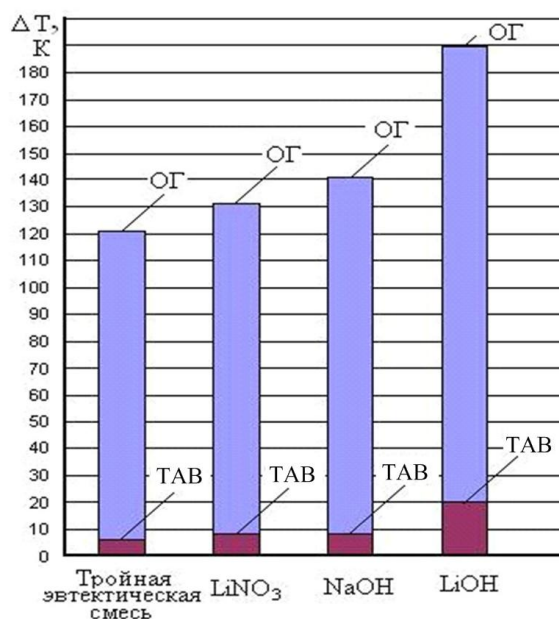


Рис. 6. Колебания температуры исследованных теплоаккумулирующих веществ и отработавших газов на выходе из стабилизатора температуры через три минуты после начала работы

Полученные эффекты являются отражением стабилизации температуры ОГ на выходе из стабилизатора температуры и отдельного обсуждения не требуют.

На рис. 7 показаны удельные значения теплоты и эксергии ОГ на выходе из СТОГ у различных ТАВ.

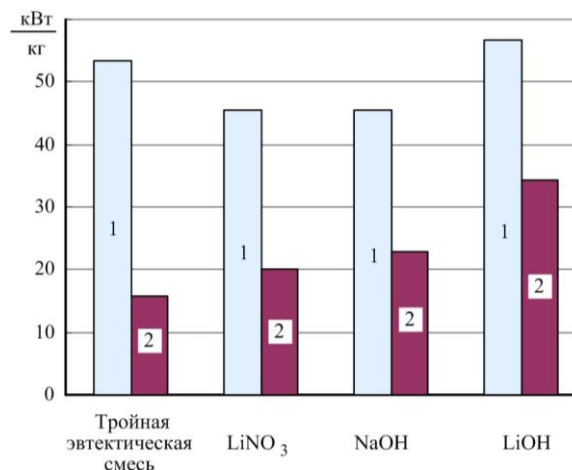


Рис. 7. Удельные значения потоков теплоты и эксергии ОГ на выходе из СТОГ у различных ТАВ:

1 - потоки удельной теплоты; 2 - потоки удельной эксергии

На рис. 8 показано влияние материала стенки трубок СТОГ на средние значения температуры ТАВ, температуры и энергетических показателей ОГ. В ходе рассматриваемого этапа эксперимента сохранялись неизменными: ТАВ ( $\text{LiNO}_3$ ); внутренний диаметр (6 мм), толщина стенки (0,5 мм) и суммарная длина трубок (5,5 м); расход ОГ (0,12 кг/с), а также масса ТАВ (3,5 кг). Температуру ОГ на входе, как и на предыдущем этапе эксперимента, изменяли линейно от минимума (485 К) до максимума (925 К) и обратно. Продолжительность одного цикла составляла 40 с. Начальная температура ТАВ была принята равной 288 К.

Как видно из рис. 8, наибольшие значения средних температур и ТАВ и ОГ на выходе из СТОГ имели место при использовании в качестве материала стенки алюминиевого сплава Al 25, наименьшие - стали 12Х17Т.

По-видимому, установленные факты связаны, в основном, с теплопроводностью и теплоемкостью материала стенок. Причем, более высокая теплопроводность сказывалась благоприятно, т. е. способствовала повышению температуры и ТАВ и ОГ, а более высокая теплоемкость приводила к обратному эффекту. Соотношения указанных теплофизических характеристик использованных материалов стенок выглядели так: сплав Al 25 - 0,121 кг/К; чугун ЧН15Д7Х2 - 0,096 кг/К; сталь 12Х17Т - 0,054 кг/К.

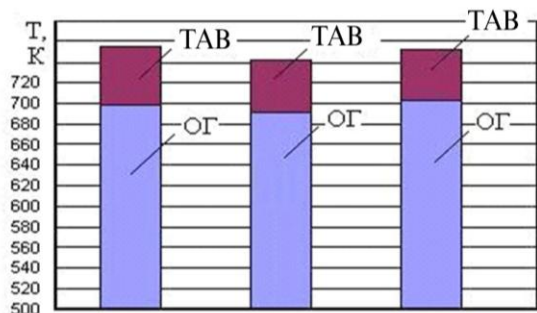


Рис. 8. Средние значения температуры теплоаккумулирующего вещества и отработавших газов на выходе из стабилизатора температуры в зависимости от материала трубок через три минуты после начала работы:

1 - Al 25; 2 - сталь 12Х17Т; 3 - чугун ЧН15Д7Х2

Колебания температуры ТАВ, и особенно ОГ на выходе из СТОГ, определялись, прежде всего, теплопроводностью материала стенки. Малые абсолютные значения  $\Delta T_{\text{ТАВ}}$  не позволяют проследить это влияние на рис. 9. Однако более заметно различающиеся величины  $\Delta T_{\text{ОГ}}$  подтверждают наличие предполагаемой корреляции (теплопроводность спла-

ва Al 25 равна 138 Вт/(м·К); чугуна ЧН15Д7Х2 - 53,5 Вт/(м·К); 0, стали 12Х17Т - 27 Вт/(м·К).

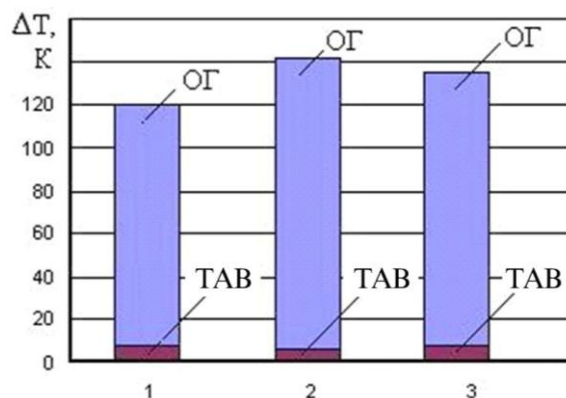


Рис. 9. Колебания температуры теплоаккумулирующего вещества и отработавших газов на выходе из стабилизатора температуры в зависимости от материала трубок через три минуты после начала работы:

1 - Al 25; 2 - сталь 12Х17Т; 3 - чугун ЧН15Д7Х2

На рис. 10 показаны средние значения потоков теплоты и эксергии ОГ на выходе из стабилизатора температуры в зависимости от материала трубок.

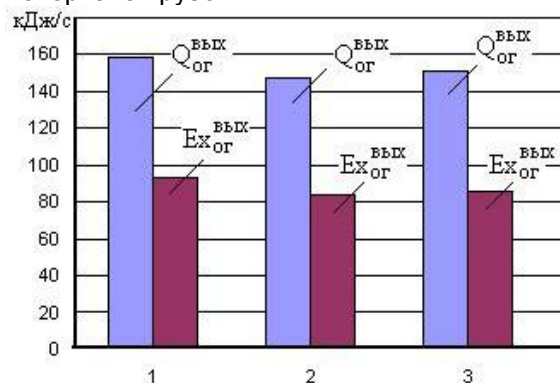


Рис. 10. Средние значения потоков теплоты и эксергии отработавших газов на выходе из стабилизатора температуры в зависимости от материала трубок через три минуты после начала работы:

1 - Al 25; 2 - сталь 12Х17Т; 3 - чугун ЧН15Д7Х2

Их величины соответствуют выявленному характеру связи температуры ОГ с рассматриваемым фактором и в специальных комментариях не нуждается.

Завершая рассмотрение влияния материала стенки трубок СТОГ на стабилизацию температуры и энергетические показатели ОГ следует сказать, что наибольший эффект достигается при использовании в качестве материала трубок алюминиевого сплава Al 25. Однако отличие этих показателей в случае применения стали 12Х17Т и чугуна ЧН15Д7Х2 весьма незначительно. Поэтому

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СТАБИЛИЗАТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДВС

при выборе материала трубок следует ориентироваться не столько на теплоэнергетические показатели ОГ, сколько на экономические и технологические соображения.

На рис. 11-13 показано влияние внутреннего диаметра трубок СТОГ на средние значения температуры ТАВ, температуры и энергетических показателей ОГ. В ходе рассматриваемого этапа эксперимента сохранялись неизменными: ТАВ ( $\text{LiNO}_3$ ); материал стенки (сталь 12Х17Т), толщина стенки (0,5 мм) и суммарная длина трубок (5,5 м); расход ОГ (0,12 кг/с), а также масса ТАВ (3,5 кг). Температуру ОГ на входе, как и на предыдущем этапе эксперимента, изменяли линейно от минимума (485 К) до максимума (925 К) и обратно. Продолжительность одного цикла составляла 40 с. Начальная температура ТАМ была принята равной 288 К.

Рис. 11 показывает, какими были средние значения температуры ТАВ и ОГ на выходе из СТОГ при различных внутренних диаметрах трубок СТОГ.

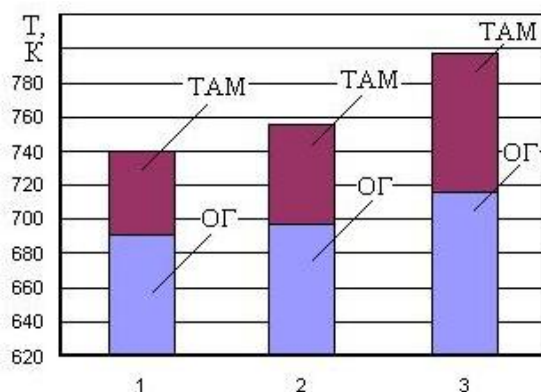


Рис. 11. Средние значения температуры теплоаккумулирующего вещества и отработавших газов на выходе из стабилизатора температуры в зависимости от диаметра трубок через три минуты после начала работы:

1 –  $d=1$  мм; 2 –  $d=6$  мм; 3 -  $d=20$  мм

Поскольку суммарная длина трубок в Рассмотренных случаях была принята одинаковой, то очевидно, что с увеличением диаметра трубок увеличивалась и суммарная поверхность теплообмена. Следствием этого явилась наиболее высокая температура ТАВ и ОГ на выходе из СТОГ.

Колебания температуры ТАВ и ОГ на выходе из СТОГ в зависимости от диаметра трубок показаны на рис. 12.

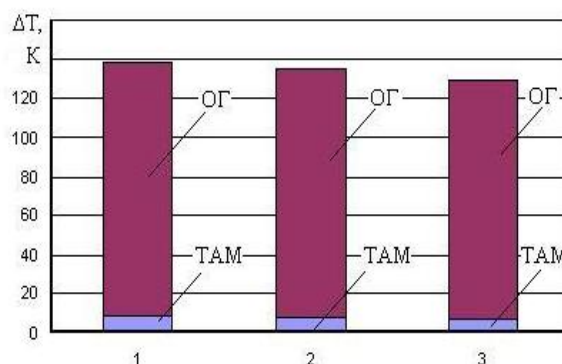


Рис. 12. Колебания температуры теплоаккумулирующего материала и отработавших газов на выходе из стабилизатора температуры в зависимости от диаметра трубок через три минуты после начала работы:

1 –  $d=1$  мм; 2 –  $d=6$  мм; 3 -  $d=20$  мм

Как видно, увеличение поверхности теплообмена благотворно сказывается на демпфирующих свойствах СТОГ - размах колебаний температур на выходе из СТОГ уменьшается и у ТАВ и у ОГ.

Рис. 13 иллюстрирует изменение средних значений потоков теплоты и эксергии ОГ на выходе из стабилизатора температуры в зависимости от диаметра стенок трубок.

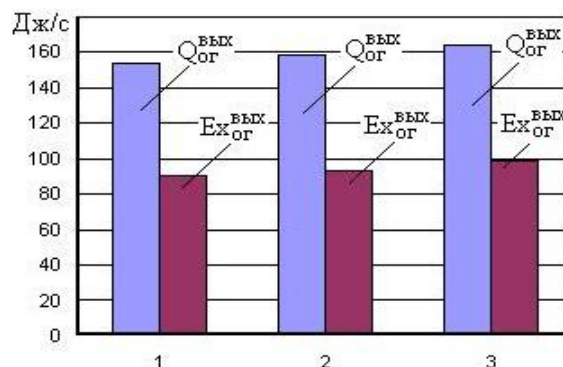


Рис. 13. Средние значения потоков теплоты и эксергии отработавших газов на выходе из стабилизатора температуры в зависимости от диаметра стенок трубок через три минуты после начала работы:

1 –  $d=1$  мм; 2 –  $d=6$  мм; 3 -  $d=20$  мм

Имеющий место рост энергетических характеристик ОГ на выходе из СТОГ совершенно понятен на фоне повышения средних значений температуры ОГ

На рис. 14-16 показано влияние толщины стенок трубок СТОГ на средние значения температуры ТАВ, ОГ и их энергетических

показателей. В ходе рассматриваемого этапа эксперимента сохранялись неизменными: ТАВ ( $\text{LiNO}_3$ ); внутренний диаметр (6 мм), материал стенки (сталь 12Х17Т) и суммарная длина трубок (5,5 м); расход ОГ (0,12 кг/с), а также масса ТАВ (3,5 кг). Температуру ОГ на входе, как и на предыдущих этапах эксперимента, изменяли линейно от минимума (485 К) до максимума (925 К) и обратно. Продолжительность одного цикла составляла 40 с. Начальная температура ТАМ была принята равной 288 К.

Рис. 14 показывает, какими были средние значения температуры ТАВ и ОГ на выходе из СТОГ в этом случае.

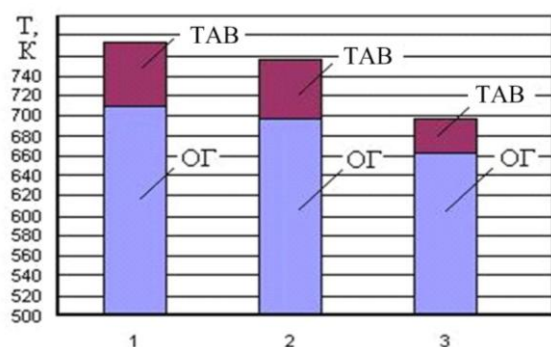


Рис. 14. Средние значения температуры теплоаккумулирующего вещества и отработавших газов на выходе из стабилизатора температуры в зависимости от толщины стенок трубок через три минуты после начала работы:

1 – 1 мм; 2 – 2 мм; 3 – 5 мм

Как видно, рассматриваемые показатели уменьшаются практически линейно в функции толщины стенки, что вполне объяснимо, так как с толщиной стенки трубки увеличивается ее термическое сопротивление.

Рис. 15 свидетельствует о том, что увеличение толщины стенки, вызывающее повышение ее термического сопротивления, обуславливает сглаживание колебаний температуры ОГ на выходе из СТОГ.

Изменение энергетических характеристик ОГ, выходящих из стабилизатора температуры (рис. 16) вполне соответствует закономерностям, представленным на рис. 14.

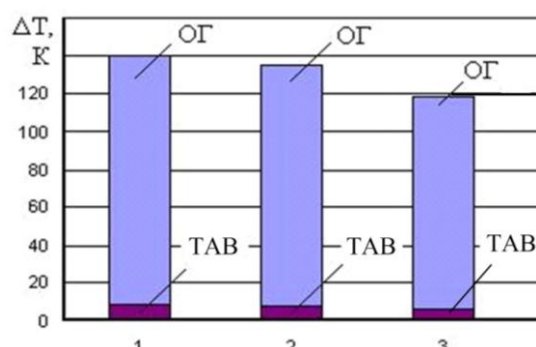


Рис. 15. Колебания температуры теплоаккумулирующего вещества и отработавших газов на выходе из стабилизатора температуры в зависимости от толщины стенок трубок через три минуты после начала работы:

1 – 1 мм; 2 – 2 мм; 3 – 5 мм

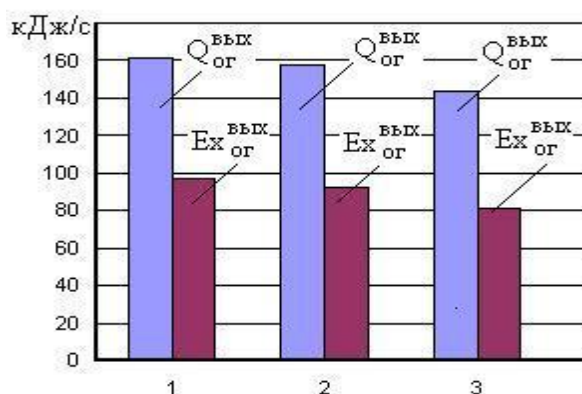


Рис. 16. Средние значения потоков теплоты и эксергии отработавших газов на выходе из стабилизатора температуры в зависимости от толщины стенок трубок через три минуты после начала работы:

1 – 1 мм; 2 – 2 мм; 3 – 5 мм

Влияние суммарной длины трубок СТОГ на средние значения температуры ТАВ, температуры и энергетических показателей ОГ показано на рис. 17-19. В ходе рассматриваемого этапа эксперимента сохранялись неизменными: ТАВ ( $\text{LiNO}_3$ ); внутренний диаметр (6 мм), материал стенки (сталь 12Х17Т) и ее толщина (0,5 мм); расход ОГ (0,12 кг/с), а также масса теплоаккумулирующего материала (3,5 кг). Температуру ОГ на входе, как и на предыдущих этапах эксперимента, изменяли линейно от минимума (485 К) до максимума (925 К) и обратно. Продолжительность одного цикла составляла 40 с. Начальная температура ТАМ была принята равной 288 К.

Рис. 17 показывает, какими были при этом средние значения температуры ТАВ и ОГ на выходе из СТОГ.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СТАБИЛИЗАТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДВС

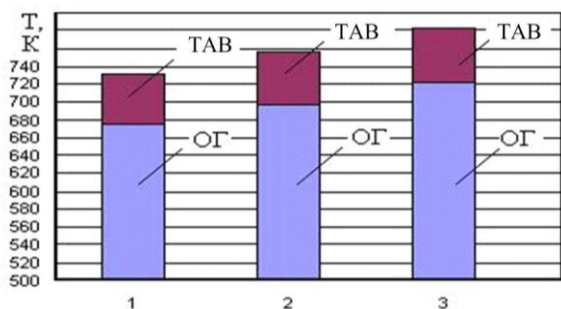


Рис. 17. Средние значения температуры теплоаккумулирующего вещества и отработавших газов на выходе из стабилизатора температуры в зависимости от суммарной длины трубок через три минуты после начала работы:

- 1 - суммарная длина трубок 40 м;
- 2 - суммарная длина трубок 55 м;
- 3 - суммарная длина трубок 70 м

Как видно, рассматриваемые показатели увеличивались в функции суммарной длины трубок строго линейно, что вполне понятно, так как чем больше эта длина, больше теплопередающая поверхность.

По-видимому, эта же причина стала фактором, вызвавшим уменьшение Колебания температуры теплоаккумулирующего материала и отработавших газов на выходе из стабилизатора температуры в зависимости от суммарной длины трубок (рис. 18).

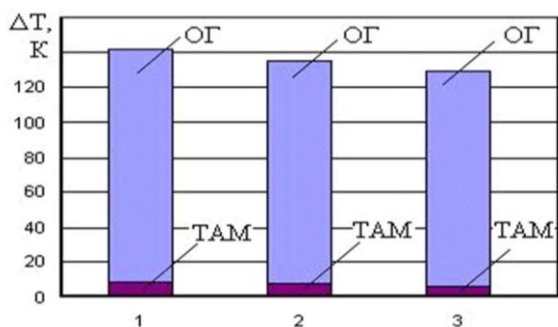


Рис. 18. Колебания температуры теплоаккумулирующего вещества и отработавших газов на выходе из стабилизатора температуры в зависимости от суммарной длины трубок через три минуты после начала работы:

- 1 - суммарная длина трубок 40 м;
- 2 - суммарная длина трубок 55 м;
- 3 - суммарная длина трубок 70 м

Линейное повышение средней температуры ОГ на выходе из СТОГ обеспечило и

соответствующее увеличение средних значений потоков теплоты и эксергии ОГ на выходе из стабилизатора температуры (рис. 19).

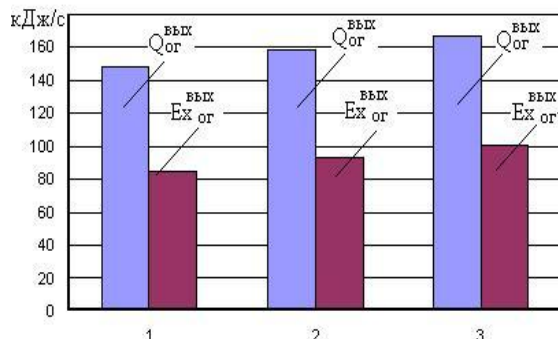


Рис. 19. Средние значения потоков теплоты и эксергии отработавших газов на выходе из стабилизатора температуры в зависимости от длины трубок через три минуты после начала работы:

- 1 - суммарная длина трубок 40 м;
- 2 - суммарная длина трубок 55 м;
- 3 - суммарная длина трубок 70 м

### Выводы

Полученные в статье результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Все рассмотренные ТАВ обеспечивают существенное уменьшение колебаний (демпфирование) температуры ПС после их прохождения через стабилизатор температуры. Так, если на входе в стабилизатор температура ПС в процессе испытаний изменялась при различных режимах на 82-85 %, то на выходе из него при использовании в качестве ТАВ тройной эвтектической смеси  $7\text{NaNO}_3/40\text{NaNO}_2/53\text{KNO}_3$  колебания составили 17,1 %; при использовании  $\text{LiNO}_3$  - 18,6 %,  $\text{NaOH}$  - 21,5 % и  $\text{LiOH}$  - 30,9 %.

2. В случае использования СТОГ для стабилизации температуры в КН из рассмотренных ТАВ наиболее целесообразным является применение тройной эвтектической смеси  $7\text{NaNO}_3/40\text{NaNO}_2/53\text{KNO}_3$ , которая обеспечивает минимальный диапазон изменения температуры газов при наиболее высокой их средней температуре.

3. При использовании СТОГ как стабилизатора температуры ОГ, предназначенных для привода в действие утилизационных систем, вырабатывающих дополнительную механическую или электрическую энергию, из рассмотренных ТАВ наиболее целесообразным является применение гидроксида лития, который обеспечивает максимальный удельный поток эксергии к рабочему телу утилизатора. Далее следуют  $\text{LiOH}$  (с удельным пото-



ком эксергии на 33,3 % меньше), NaOH (с меньшим удельным потоком эксергии на 39,4 %) и тройная эвтектическая смесь  $7\text{NaNO}_3/40\text{NaNO}_2/53\text{KNO}_3$  (с меньшим удельным потоком эксергии на 54,5 %).

4. Установлено, что наибольший эффект в плане демпфирования температуры и получения наибольших энергетических показателей ОГ достигается при использовании в качестве материала трубок СТОГ алюминиевого сплава Al 25. Однако отличие этих показателей в случае применения стали 12Х17Т и чугуна ЧН15Д7Х2 весьма незначительно. Поэтому при выборе материала трубок следует ориентироваться не столько на теплоэнергетические показатели ОГ, сколько на экономические и технологические соображения.

5. При выборе внутреннего диаметра трубок, толщины их стенок и суммарной длины с точки зрения наибольшего эффекта в плане демпфирования температуры и получения наибольших энергетических показателей ОГ следует ориентироваться на трубки малого диаметра с минимальной толщиной

стенки и максимальной суммарной длиной, которую могут обеспечить допустимые габариты СТОГ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кукис В.С. Повышение мощностных, экономических и экологических показателей автомобильных двигателей за счет утилизации их тепловых потерь / В.С. Кукис // Автошляховик України.-№3. - 2001. - С. 25-28.
2. Кукис В.С. Тепловой аккумулятор как средство повышения экологических, мощностных и экономических показателей поршневых ДВС / В.С. Кукис, Ю.Ф. Коваленко, А.В. Разношинская // Ползуновский вестник. - №1-2. – Барнаул, 2003. - С. 82-85.
3. Романов В.А. Математическое моделирование процессов теплопередачи в тепловом аккумуляторе с фазовым переходом / В.А. Романов, Т.Ф. Султанов // Научный вестник ЧВВАКИУ. - Вып. 14. - Челябинск: ЧВВАКИУ, 2004. - С. 127-130
4. Рабинович В.А. Краткий химический справочник / В.А. Рабинович В.А., З.Я. Хавин. - Л.: Изд-во Химия, 1978. - 392с.