

ОПТИМИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ТОПЛИВНОГО БАКА АВТОМОБИЛЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЕЕ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ

Главизнин В.В., Тер-Мкртчян Г.Г.

ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», г. Москва vladimir.glaviznin@nami.ru

Ключевые слова: топливный бак, выбросы углеводородов.

Характеристики процесса парообразования и количество топливных испарений в значительной степени определяются динамикой нагрева топлива в баке. Важными параметрами системы низкого давления топлива являются балансы энергии в топливном баке, определяющие общий уровень и изменение температуры топлива. Чем выше их величины, тем больше паров образуется в топливном баке, что затрудняет обеспечение эффективной вентиляции и увеличивает нагрузку на систему улавливания топливных испарений.

Испарение может быть двух видов – статическое и динамическое (рис. 1). При статическом испарении отсутствует относительное перемещение топлива и воздуха на поверхности их соприкосновения. Динамическое испарение происходит в условиях обдува испаряющегося топлива воздухом при их относительном перемещении. Статическое испарение наблюдается в топливном баке автомобиля на стоянке с заглушенным двигателем. Динамическое испарение происходит при работающем двигателе. Источниками динамической составляющей испарений являются стекающие в бак потоки топлива из заборных и переливных струйных насосов, а также обратный слив из регулятора давления топлива.

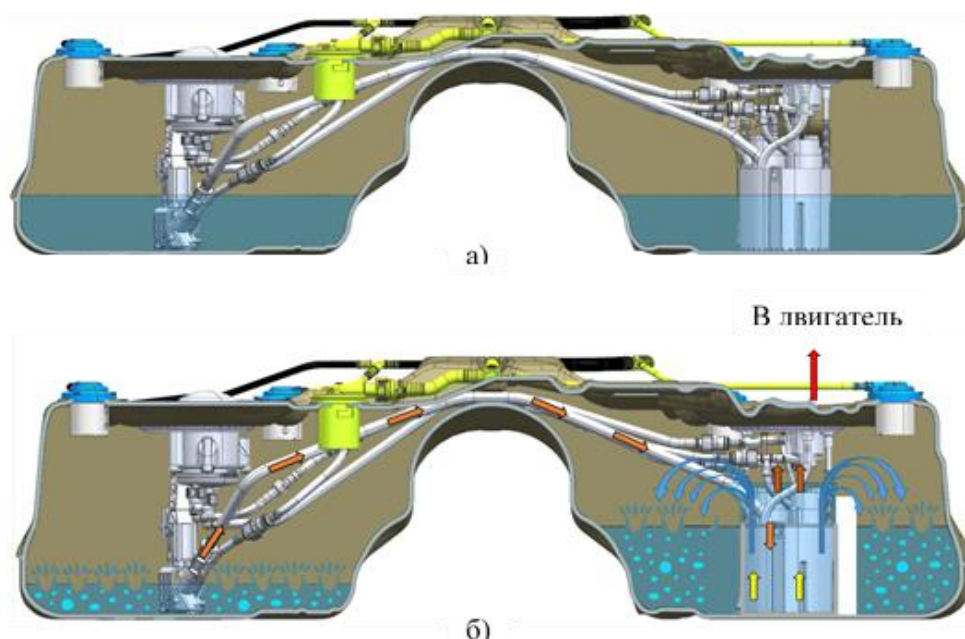


Рисунок 1 – Виды испарения: а – статическое; б – динамическое

Отдельные вопросы формирования статической составляющей испарений рассмотрены в работах [1–3]. Величина динамической составляющей испарений определяется интенсивностью перемешивания и разбрызгивания при работе струйных насосов и обратным сливом из регулятора давления. Основным фактором, определяющим статическую составляющую испарений, является изменение температуры топлива в баке вследствие его нагрева [4–6].

Статическая составляющая испарений начинает играть значительную роль при применении в автомобилях гибридных силовых установок, при режимах езды на электротяге.

При таких режимах эксплуатации возникает необходимость предотвращения попадания паров топлива в атмосферу при отсутствии продувки адсорбера и утилизации уловленных паров топлива в двигателе. Самым эффективным решением в таком случае является изоляция топливного бака от адсорбера и соответственно от атмосферы.

Характерные особенности процессов генерации испарений в открытом и закрытом баках даны в табл. 1.

Таблица 1 – Генерация паров в топливных баках открытого и закрытого типа

Особенность	Открытый бак	Закрытый бак
Объем парового пространства	Var ↑	Const
Давление смеси	Const	Var ↑
Масса воздуха	Const	
Парциальное давление воздуха	Var ↓	Var ↑
Генерация паров $\frac{dM_{п}}{M_{п}}$	$\frac{dp_s}{p_s} + \frac{dV}{V} - \frac{dT}{T}$	$\frac{dp_s}{p_s} - \frac{dT}{T}$

Смесь паров топлива и воздуха в топливном баке при этом может находиться в четырех состояниях:

Состояние 0.

Паровое пространство бака изолировано от атмосферы (изолирующий клапан закрыт). Давление равно атмосферному давлению $p_0 = p_{п0} + p_{в0} = p_a$. Смесь сосредоточена в паровом пространстве. Начинается нагрев топлива и топливовоздушной смеси. Масса паров увеличивается из-за испарения. Масса воздуха неизменна.

Состояние 1.

Нагрев завершен. Вся смесь под избыточным давлением сосредоточена в паровом пространстве бака ($V = V_6, \Delta V = 0$). Изолирующий клапан открывается.

Состояние 2.

Изолирующий клапан открыт. При переходе из состояния 1 в состояние 2 смесь распределяется между паровым пространством бака и условным объемом адсорбера ($V = V_6 + \Delta V$). Происходит процесс изотермического расширения до атмосферного давления, при котором плотность насыщенных паров в первый момент уменьшится и пары станут не насыщенными.

Таблица 2 – Генерация паров в топливных баках открытого и закрытого типа

Состояние	Открытый бак				Закрытый бак			
	0	1	2	3	0	1	2	3
$t, ^\circ\text{C}$	20	25	30	35	20	35		
$p_s, \text{кПа}$	30	36	44	54	30	54		
$p_{п}, \text{кПа}$	30	36	44	54	30	54	42	54
$p_{в}, \text{кПа}$	70	64	56	46	70	74	58	
$p, \text{кПа}$	100				100	128	100	112
$\Delta p, \text{кПа}$	0				0	28	0	12
$M_{в}, \text{г}$	58							
$\Delta V, \text{л}$	0	9	22	42	0		19	0
$V, \text{л}$	70	79	92	112	70		89	70
$M_{пб}, \text{г}$	88	105	127	152	88	152	119	152
$\Delta M_{пб}, \text{г}$	0	17	39	64	0	64	-33	64
$M_{па}, \text{г}$	0	13	39	92	0		33	
$M_{п}, \text{г}$	88	118	166	243	88	152		185
$\Delta M_{п}, \text{г}$	0	30	78	155	0	64		97

Состояние 3.

Клапан закрывается. После этого скорость испарения превысит скорость конденсации, и бензин с высокой скоростью будет испаряться до тех пор, пока опять не установится динамическое равновесие и пары снова станут насыщенными с прежним значением плотности, соответствующей температуре топлива. При дальнейшем нагреве топлива ТВС переходит на новый уровень состояния 0 и процесс испарения возобновляется.

Сравнение количества паров топлива $M_{па}$, приведенное в табл. 2 показывает, что из бака закрытого типа в адсорбер паров поступает значительно меньше.

Список литературы

1. Тер-Мкртчян Г.Г. Анализ процессов парообразования в топливном баке автомобиля. Новое уравнение для определения количества испарений // Труды НАМИ. 2021. № 2 (285). С. 58-70.
2. Reddy S. Understanding and Designing Automotive Evaporative Emission Control Systems // SAE Technical Paper. 2012. № 2012-01-1700. DOI: 10.4271/2012-01-1700.
3. Тер-Мкртчян Г.Г. Менеджмент топливных испарений в автомобилях с бензиновыми двигателями: учебное пособие. М., ФГУП «НАМИ», 2022. 190 с.
4. Zhang X., Su Y., H. Wu, Z. Z.. “Optimization of the activated carbon adsorption process for automotive fuel vapor emissions control,” Journal of Cleaner Production, 2018, vol. 197, PP. 828-838.
5. Тер-Мкртчян Г.Г., Микерин Н.А., Главизнин В.В., Балашов Д.Ю., Арабян М.Е. Энергетическая модель термодинамической системы «топливный бак автомобиля». Процессы нестационарного теплообмена при постоянной массе топлива // Труды НАМИ. 2020. № 4 (283). С. 82-93.
6. Тер-Мкртчян Г.Г., Микерин Н.А., Главизнин В.В., Арабян М.Е., Цейтлин А.А. Обобщенная энергетическая модель открытой термодинамической системы «Топливный бак автомобиля». Процессы нестационарного теплообмена при переменной массе топлива // Труды НАМИ. 2022. № 1 (288). С. 6-16.

Сведения об авторах

Главизнин В.В., аспирант ФГУП «НАМИ», начальник управления. Область научных интересов: проектирование энергоэффективных систем низкого давления топлива в транспортных средствах с бензиновым двигателем.

Тер-Мкртчян Г.Г., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник. Область научных интересов: исследование систем низкого давления топлива, энергетический баланс в топливной системе, управление бензонасосами.

OPTIMIZATION OF THE ARCHITECTURE OF THE VEHICLE FUEL TANK VENTILATION SYSTEM AND IMPROVEMENT OF THE DESIGN OF ITS COMPONENTS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF OPERATION AND REDUCE HYDROCARBON EMISSIONS

Glaviznin V.V., Ter-Mkrtichyan G.G.

NAMI Russian State Scientific Research Center, Moscow, Russia, vladimir.glaviznin@nami.ru

Keywords: fuel tank, hydrocarbon emissions.

In addition to the toxic substances formed during the combustion of fuel in the engine, the vehicle generates a significant amount of hydrocarbons in the form of fuel vapors formed as a result of evaporation from the fuel tank and fuel system components. The parameters of the vaporization process and the amount of fuel vapors are determined by the dynamics of fuel heating in the tank at various operating modes of the vehicle. Modern requirements for the maximum level of emissions from evaporation are significantly tightened. Therefore, the solution of the problem of minimizing the formation of fuel vapors and preventing their penetration into the atmosphere is relevant and practically significant.