

П.М. Канило, А.П. Марченко, И.В. Парсаданов, А.П. Поливянчук

МИНИМИЗАЦИЯ КАНЦЕРОГЕННОЙ ОПАСНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Проанализированы механизмы и схемы образования канцерогенных углеводородов при сгорании в ДВС, рассмотрены результаты экспериментальных исследований по выявлению закономерностей образования канцерогенных углеводородов при гомогенном и диффузионном горении углеводородных, в том числе, высокоароматизированных топлив. Предложены пути минимизации канцерогенной опасности отработавших газов ДВС автотранспорта.

Введение

Канцерогенное загрязнение окружающей среды (ОС), в первую очередь атмосферы крупных городов, является одной из наиболее острых и наименее эффективно решаемых среди всех экологических проблем. Считается, что около 90 % содержащихся в ОС канцерогенных углеводородов (КУ) приходится на источники, обусловленные горением. Индикатором КУ в международной практике принят бенз(а)пирен (БП – $C_{20}H_{12}$).

Многие КУ, включая БП, совместно с оксидом азота (NO_x) синтезируют нитроканцерогенные соединения, обладающие мутагенными свойствами, т.е. способными нарушать генетические программы клеток и вызывать в организме человека изменения наследственных свойств. Основным техногенным источником загрязнения канцерогенно-мутагенными ингредиентами (КМИ) в городах являются отработавшие газы автотранспортных ДВС [1].

Канцерогенная опасность отработавших газов (ОГ) ДВС на 95 % характеризуется двумя парами супертоксикантов: (КУ + NO_x) и (КУ + ТЧ) [1 – 3]. Мелкодисперсные твердые частицы (ТЧ) ОГ, сорбируют КУ, являются их носителями и многократно усиливают канцерогенно-мутагенное воздействие на организм человека [1 – 4]. По мнению медиков, именно КМИ в атмосфере больших городов главным образом определяют риск возникновения злокачественных опухолей у людей [5].

Интерес к проблеме загрязнения атмосферы КМИ во всем мире растет, но еще быстрее распространяется само присутствие этих ингредиентов. Стремительное увеличение количества автотранспорта, расширение использования высокоароматизированных топлив, увеличение доли использования устаревших автомобилей усугубляет отмеченную проблему. В настоящее время в крупных городах среднесуточные концентрации БП на порядок превышают концентрации БП в сельских районах и в местах интенсивного движения автотранспорта превышают допустимый уровень на два и более

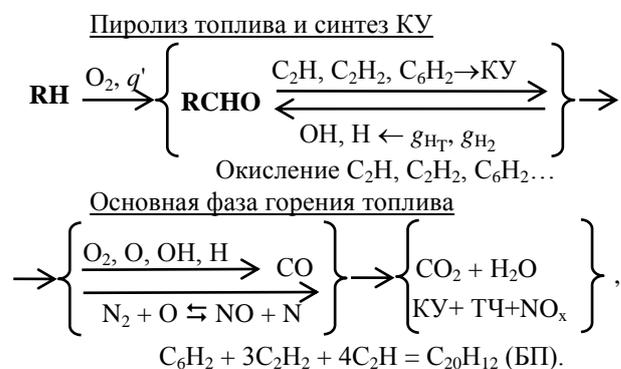
порядка [1 – 6]. Такие тенденции приведут к тому, что затраты на возмещение ущерба от загрязнения окружающей среды могут стать самыми крупными статьями мировой экономики.

Следовательно, актуальной задачей является проведение комплексного анализа механизмов образования КУ при сгорании углеводородных топлив, в том числе высокоароматизированных нефтяных и композитных, и разработка рекомендаций по минимизации канцерогенно-мутагенной опасности отработавших газов автотранспортных ДВС. Для достоверной оценки содержания БП в ОГ ДВС, необходимо: использование надежных методов их улавливания и количественного определения, включая газожидкостную и жидкостную хроматографию, спектрально-флуоресцентный метод.

Анализ схем и механизмов образования КУ при сжигании углеводородных топлив

Можно выделить два направления в исследовании закономерностей образования КУ (БП) при горении углеводородных топлив, в основном алифатических углеводородов.

Первое направление на основе экспериментальных данных и общих представлений о механизмах протекания химических реакций позволяет предложить гипотетические схемы образования БП (ТЧ, NO_x):



Второе направление с помощью термодинамических расчетов дает возможность анализирова-

лись равновесные значения концентраций отдельных компонентов продуктов сгорания, участие которых в синтезе БП считалось наиболее вероятным [2, 6].

В работе [7] высказаны следующие предположения для образования БП (рис. 1).

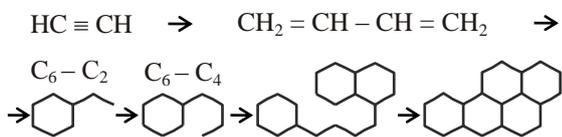
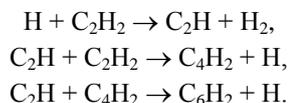


Рис. 1. Схема образования БП по Г.М.Беджеру

При температуре ~ 1000 К обычные углеродные (С-С) и углерод-водородные (С-Н) связи могут разрываться с образованием свободных радикалов, в то время как ароматические кольца остаются относительно устойчивыми. В результате насыщенные углеводороды с длинной цепью и их радикалы распадаются на фрагменты, способные к последующему синтезу. На основе этих выводов предложена схема синтеза БП. На первом этапе непредельные алифатические углеводороды с наличием двойных или тройных связей (ацетилен – С₂Н₂, дивинил – С₄Н₆ и т.д.), являющиеся либо непосредственно топливом, либо продуктом пиролиза исходного топлива, претерпевают процесс удлинения цепи, приводящей к образованию промежуточного соединения с углеродным скелетом С₆–С₄. В результате циклизации и дегидрирования (при повышенных температурах) образуется молекула БП (С₂₀Н₁₂).

В работе [8], рассматривая образование БП как один из начальных этапов процесса сажеобразования, предложена следующая схема синтеза БП. Вначале из С₂Н₂ по радикально-цепному механизму образуется молекула триацетилена (С₆Н₂):



Одновременно, в процессе реагирования, С₂Н₂ превращается в бирадикал ацетилена (-СН=СН-) и сложный радикал с тремя свободными валентностями (-СН=С=), что объясняет его высокую реакционную способность. Далее, триацетилен, легко вступающий в реакцию полимеризации, может образовать полирадикал, представляющий собой зародыш сажи. Рост зародыша частиц происходит за счет присоединения углеводородных частиц С₂Н₂ и С₂Н. Одна из возможных схем синтеза БП приве-

дена на рис. 2.

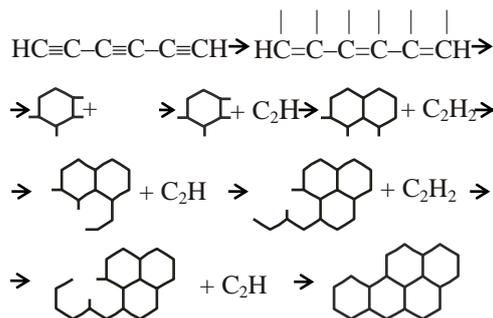
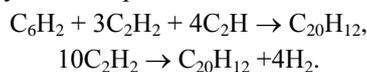
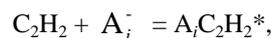
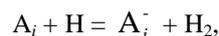


Рис. 2. Схема образования БП из зародыша сажи по Н.В. Лаврову

При этом суммарное и балансовое уравнения процессов образования БП из ацетилена записываются следующим образом:



В работе [6] образование БП описано цепочкой реакций полимеризационного типа



где A_i – ароматическая молекула, содержащая i ароматических колец; A_i^- – ароматический радикал, образующийся при отрыве атома Н от A_i ; $A_i\text{C}_2\text{H}_2^*$ – радикал, образующийся в результате присоединения С₂Н₂ к A_i^- .

На основе механизмов образования сажи при горении как алифатических, так и ароматических углеводородов, представлена упрощенная схема синтеза БП (рис. 3).

Алифатические углеводороды при горении распадаются в процессе пиролиза на фрагменты, имеющие характер радикалов, и устойчивые углеводороды. В дальнейшем, если соблюдаются определенные условия по составу смеси, времени, температуре смеси в зоне горения и другие параметры рабочего процесса, из продуктов пиролиза в результате реакций циклизации и полимеризации синтезируется БП. При горении высокоароматизированных топлив образование БП идет двумя путями: посредством прямой конденсации бензольных колец и в результате распада ароматических структур на углеводородные фрагменты, которые затем полимеризуются с образованием БП и других КУ.

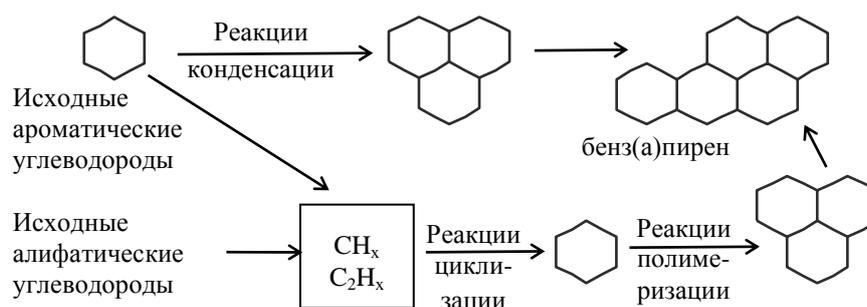


Рис. 3. Упрощенная схема образования БП при горении алифатических и ароматических углеводородов

В работе [9] изложена схема образования БП, в которой важную роль играют радикалы углеводородов с двумя свободными связями атомов углерода ($:C=CH_2$; $:C=C_3H_4$; $:C=C_5H_6$), обладающие высокой реакционной способностью. Анализ указанной схемы синтеза БП, с учетом принятых допущений, позволил авторам сформулировать следующее модельное дифференциальное уравнение для изменения концентрации БП

$$\frac{d[C_{БП}]}{dt} \cong k_1 [C_{C_2H_2}]^m - k_2 [C_{C_2H_2}]^n [C_{БП}],$$

где первое слагаемое правой части описывает образование БП из C_2H_2 , второе – переход БП в более тяжелые полиароматических углеводородов (ПАУ); константы k_1 и k_2 – определяются экспериментально, а показатели степени имеют порядок: $m \sim 5$, $n \sim 2$ и уточняются опытными данными.

В работах [9, 10] предпринята попытка рассмотрения условий образования БП на базе термодинамических расчетов равновесных составов. В результате показано, что с увеличением суммарного коэффициента избытка воздуха $\bar{\alpha}$, концентрации CH , CH_2 , CH_3 , C_2H_2 , C_2H_4 уменьшаются. Влияние температуры на концентрации C_2H_2 , C_2H_4 качественно согласуются с ее влиянием на уровни концентраций БП. Участие радикалов CH , CH_2 , CH_3 , C_2H вероятно при повышенных температурах и $\bar{\alpha} = 0,6 \div 0,9$. Поэтому делается вывод о преобладающей роли ацетилена и этилена в образовании БП в низкотемпературной области горения в соответствии со следующими реакциями образования дивинила, стирола и БП: $C_2H_2 + C_2H_4 \rightarrow C_4H_6$; $2C_4H_6 \rightarrow C_8H_8 + 2H_2$; $3C_8H_8 \rightarrow C_{20}H_{12} + 2C_2H_6$, которые могут протекать при относительно низких температурах (до 1650 К). Для высокотемпературной зоны горения становится вероятным участие CH , CH_2 , CH_3 , C_2H_6 в начальных стадиях образования БП по механизмам изложенным в работах [7, 8].

Таким образом, уровни образования БП опре-

деляются концентрациями продуктов пиролиза исходного топлива, среди которых важную роль играет ацетилен. Предложенные модели описывают механизмы синтеза БП на качественном уровне. Однако, рядом экспериментальных исследований [2, 9, 10] установлено, что образование БП определяется не только процессами смешения, но и кинетикой химических реакций. Поэтому подходы, основанные на рассмотрении равновесных составов при диффузионном горении топлив, могут быть не корректны, и требуют учета кинетических особенностей синтеза КУ (БП). Для дальнейшего, более глубокого, понимания механизмов образования БП (КУ) при горении углеводородных топлив и отработки методов снижения их выбросов с отработавшими газами необходимо использовать результаты экспериментальных исследований, как в модельных условиях, так и на реальных объектах.

Результаты экспериментальных исследований по выявлению закономерностей образования КУ при горении углеводородных топлив

При сгорании углеводородных топлив в камерах сгорания ДВС, создаются условия для образования различных токсичных ингредиентов, а также для синтеза более тяжелых углеводородов, в том числе БП. Результаты экспериментальных исследований по выявлению закономерностей образования БП при сжигании предварительно подготовленных топливно-воздушных смесей, показывают, что уровни образования БП зависят от вида используемого топлива, качества смесеобразования, состава смеси, организации процессов сгорания, включая интенсивность и продолжительность сгорания, а также от конструкции КС и ряда других факторов. При этом особое значение имеют химический состав, в том числе, массовое содержание водорода, ароматических углеводородов (АУ), ПАУ и структура используемых топлив. Канцерогенность продуктов сгорания при неизменных характеристиках процесса горения, в основном, определяется со-

держанием в топливе АУ, особенно ПАУ, и водорода. На рис. 4 [10] представлены экспериментальные данные по уровням образования БП при сжигании гомогенной изооктано-воздушной смеси с добавками АУ и ПАУ.

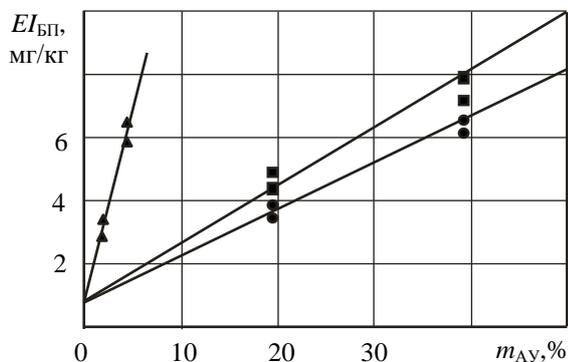


Рис. 4. Зависимость выхода БП от массового содержания ароматических углеводородов в топливовоздушной смеси ($\alpha = 0,5$; $\tau_{пр} = 10$ мс) с добавками:

● – толуола; ■ – бензола; ▲ – α -метилнафталина (ПАУ)

Из приведенных данных следует, что увеличение доли АУ, особенно ПАУ, в топливовоздушной смеси приводит к существенному росту образования БП. В условиях, соответствующих проводимому эксперименту, добавка всего 0,7 мг ПАУ к килограмму изооктана увеличивает выброс БП с продуктами сгорания с 0,8 до 2,7 мг/кг топлива, т.е. более, чем в три раза. Следует отметить, что рост образования БП усиливается в ряду моноциклические – бициклические – полициклические АУ. В нефтяных моторных топливах, производимых по современным технологиям, существенно увеличена доля АУ и особенно ПАУ и, соответственно, напрашивается вывод, что с точки зрения уменьшения канцерогенной опасности автомобилей с ДВС необходимо уменьшать в моторных топливах суммарное содержание АУ, и особенно – долю ПАУ.

Установлено также, что при сжигании предварительно подготовленной пропано-воздушной смеси продукты пиролиза исходного топлива достигают стабильного значения за время порядка $\tau_{пр} \approx 1$ мс и в дальнейшем их концентрация лишь незначительно снижается. Образование БП начинается после некоторого индукционного периода, и его концентрация достигает максимального значения при $\tau_{пр} = 15$ мс. Появление сажистых частиц наблюдается с некоторой задержкой по времени после БП, что согласуется с современными представлениями об образовании БП как промежуточ-

ного вещества в процессе синтеза сажистых частиц. При этом значимые концентрации БП ($C_{БП} > [ПДК_{БП}]_{р.з}$) наблюдаются только при коэффициенте избытка воздуха $\alpha < 0,6$ (рис. 5), т.е. наиболее интенсивно БП образуется в области средних значений $\langle \alpha_i \rangle = 0,1 \div 0,6$ и в области максимальной концентрации продуктов пиролиза, что подчеркивает важную роль процессов пиролиза исходного топлива в механизмах синтеза БП.

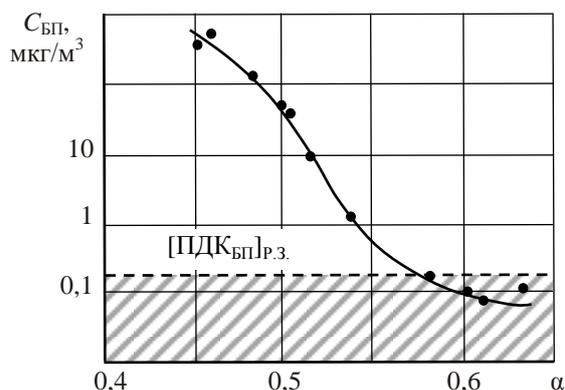


Рис. 5. Влияние α на $C_{БП}$ при горении предварительно подготовленных пропано-воздушных смесей ($\tau_{пр} = 30$ мс), где $[ПДК_{БП}]_{р.з} = 0,15$ мкг/м³ – предельно допустимая концентрация БП в рабочей зоне

Таким образом, начальная неоднородность распределения топлива является важнейшим фактором, определяющим уровни образования БП в КС для заданного среднего состава смеси. При гомогенизации (даже частичной) топливовоздушной смеси исключаются (или уменьшаются) "богатые" по топливу зоны с локальными значениями $\alpha_d < 0,1 \div 0,6$, а наличие кислорода внутри факела препятствует интенсивному образованию БП, окисляя образовавшиеся "зародыши" ароматических колец.

Использование ДВС автотранспортных средств с повышенной степенью сжатия, работающих на обедненных смесях с повышенным содержанием водорода (природного газа, метанола или продуктов их конверсии), является одним из важнейших путей минимизации канцерогенной опасности при одновременном повышении их эксплуатационной топливной экономичности.

В современных нефтяных моторных топливах значительно увеличена доля АУ и ПАУ при соответствующем снижении массового содержания водорода. Так, при увеличении доли АУ в дизельном топливе с 30 до 50 % массовое содержание водорода уменьшается с 13,5 до 12 %. Поэтому проблема минимизации канцерогенной опасности транспорт-

ных средств с дизелями является особенно важной. В таблице 1 приведены усредненные данные по уровням выбросов вредных веществ (ВВ: БП и ТЧ) с ОГ легковых автомобилей с дизелями при их ис-

пытании по Европейскому городскому ездовому циклу в зависимости от уровня содержания АУ в дизельных топливах [2, 11].

Таблица 1. Экспериментальные данные

Легковые дизельные автомобили	содержание АУ в топливах, %		
	21,2	32,4	56,6
	ВВ: ТЧ, г/км / БП, мкг/км		
1. Oldsmobile Delta 88 diesel	0,23 / 0,30	0,24 / 0,34	1,53 / 16,8
2. Peugeot 505 D	0,18 / 0,29	0,20 / 0,32	0,94 / 24,2

Из приведенных данных следует, что процессы образования и уровни выбросов БП (по сравнению с ТЧ) более чувствительны к росту содержания АУ в топливах, а, соответственно, к снижению содержанию водорода в них. Так, при увеличении содержания АУ в дизельном топливе с 32 до 57 % (при соответствующем снижении массовой доли водорода до 11,5 %) уровни выбросов ТЧ с ОГ дизеля увеличились ~ в 5 – 6 раз, а уровни БП ~ в 50 – 75 раз.

Высокоэффективным, с точки зрения повышения как энергетических, так и экологических (в первую очередь канцерогенно-мутагенных) показателей ДВС, может быть совместное использование

высокоароматизированных нефтяных топлив с добавками водорода. Например, при использовании дизельного топлива с содержанием $g_{AU} = 50\%$ и, соответственно, массовым содержанием водорода $g_{H_2} = 12\%$, уровень "активного" содержания водорода составит $[g_{H_2}]_{акт.} \approx [11 - (50 - 30)^{0,4}] \approx 8,7\%$.

На рис. 6 приведена расчетная номограмма взаимосвязей между уровнями содержания водорода в высокоароматизированных топливах с $g_{AU} > 30\%$ и рационально-минимальными добавками водорода к топливовоздушной смеси с целью снижения выбросов БП с ОГ дизелей до базовых уровней (при $g_{AU} = 30\%$).

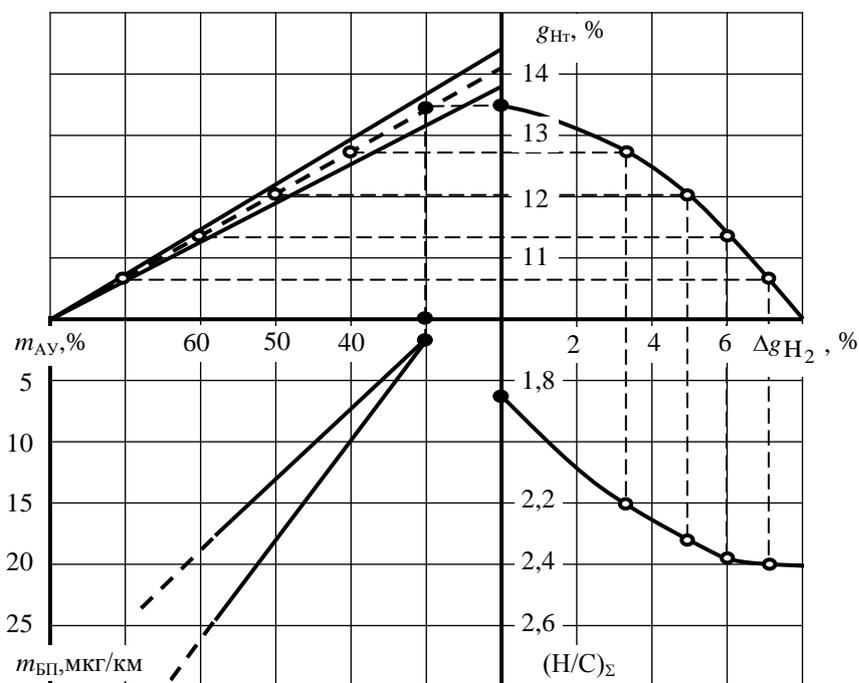


Рис. 6. Изменение рационально-минимальных уровней добавок водорода к ТВС от содержания АУ в высокоароматизированных топливах ($g_{AU} > 30\%$)

Установлено, что добавка водорода к углеводородно-воздушным горючим смесям ингибирует процессы образования БП, а при использовании обедненных углеводородно-водородно-воздушных смесей не только существенно (на порядок и более) уменьшаются уровни выбросов БП, но и значительно снижаются выбросы NO_x и ТЧ при одновременном повышении эксплуатационной экономичности автомобилей с ДВС [1, 2, 12]. При этом рациональная массовая доля добавки водорода (Δg_{H_2}) по отношению к исходному высокоароматизированному нефтяному топливу может быть оценена по зависимости

$$\Delta g_{\text{H}_2} \approx \{[g_{\text{HT}}] - (g_{\text{HT}})_{\text{акт}}\}, \%$$

Например, при использовании дизельного топлива с содержанием $g_{\text{AV}} = 50\%$ и, соответственно, $(g_{\text{HT}})_{\text{акт}} = 8,7\%$, уровень рационально-минимальной добавки водорода к анализируемому топливу составляет: $\Delta g_{\text{H}_2} = 13,5 - 8,5 = 4,8\%$ мас.

Заключение

1. Канцерогенное загрязнение окружающей среды является одной из наиболее острых и наименее решаемых среди всех экологических проблем. Основным техногенным источником загрязнения канцерогенно-мутагенными ингредиентами, в первую очередь атмосферы городов, является ДВС автотранспорта.

2. Образование канцерогенных углеводородов (БП) при сгорании в ДВС представляет собой сложный многостадийный процесс. Из рассмотренных механизмов образования (синтеза) БП при сгорании гомогенных смесей алифатических углеводородов с воздухом следует:

– рост уровней содержания БП в зоне горения наблюдается в диапазоне $\tau_{\text{пр}} = 5 \div 20$ мс и определяется концентрациями продуктов пиролиза исходного топлива, среди которых важную роль играет ацетилен;

– значимые уровни концентраций БП в зоне горения топлива ($C_{\text{БП}} > [\text{ПДК}_{\text{БП}}]_{\text{РЗ}}$) появляются при пониженных значениях коэффициента избытка воздуха ($\alpha < 0,6$);

– добавки к гомогенной горючей смеси АУ и особенно ПАУ приводят к резкому увеличению уровней образования БП (КУ).

4. При диффузионном сгорании создаются наиболее благоприятные условия для синтеза БП, вследствие совмещения в объеме камеры сгорания ДВС газодинамических процессов смесеобразования и диффузионно-кинетических процессов воспламенения и горения. Образование БП существенным образом зависит от вида используемого топлива, качества смесеобразования, состава смеси,

организации процессов сгорания, интенсивности и продолжительности сгорания, от конструкции КС.

5. Минимизация канцерогенно-мутагенной опасности транспортных средств с ДВС должна базироваться на основе обеспечения и использования:

– экологически чистых нефтяных и альтернативных топлив с предельно низким содержанием ароматических и полиароматических углеводородов, а также – жидких синтетических (спиртовых) и газообразных топлив, в том числе, природного газа и водорода, как дополнительного топлива;

– современных систем топливоподачи и воспламенения топлив (с электронным адаптивным управлением рабочим процессом), обеспечивающих высокоэффективную работу автомобильных ДВС;

– надлежащего технического состояния ДВС и автомобилей в целом;

– современных методов улавливания ТЧ, на которых сорбируется значительная доля БП (КУ), а также – каталитических нейтрализаторов ОГ, особенно накопительного типа;

– надежных методов улавливания и количественного определения БП.

6. Практическое решение важнейшей экологической проблемы – минимизации канцерогенно-мутагенной опасности для человека, живущего в условиях городской среды, возможно на основе принятия законодательных актов, направленных на ограничение до рационально-минимальных уровней содержания в моторных топливах ароматических и, особенно, полиароматических углеводородов и установление предельно допустимых уровней выбросов бенз(а)пирена с ОГ автомобилей с ДВС.

Список литературы:

1. Канило П.М. Проблемы загрязнения атмосферы городов канцерогенно-мутагенными супертоксикантами / П.М. Канило, В.В. Соловей, К.В. Костенко // *Вестн. Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-та.* – 2011. – Вып. 52. – С. 47 – 53.
2. Канило П.М. *Автотранспорт. Топливо-экологические проблемы и перспективы: монография* / П.М. Канило. – Харьков: ХНАДУ, 2013. – 272 с.
3. *Двигатели внутреннего сгорания: Серия учебников в 6 томах. Т.5. Экологизация ДВС. – 2-е издание* / А.П. Марченко, И.В. Парсаданов, Л.Л. Товажнянский, А.Ф. Шеховцов. – Харьков.: Издательский центр НТУ «ХПИ», 2014. – 348 с.
4. Парсаданов И.В. *Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливо-экологического критерия.* – Харьков: издат. центр НТУ «ХПИ», 2003. – 244 с.
5. *Гигиена и экология человека* / Н.А. Матвеева, А.В. Леонов, М.П. Грачева и др. – М.: Издательский центр "Академия", 2005. – 304 с.
6. Лукачев С.В. *Образование и выгорание бенз(а)пирена при сжигании углеводородных топлив* / С.В. Лукачев,

С.Г. Матвеев, А.А. Горбатко. – М.: Машиностроение, 1999. – 152 с. 7. Беджер Г.М. Химические основы канцерогенной опасности / Г.М. Беджер. – М.: Медицина. – 1966. – 124 с. 8. Лавров Н.В. О механизме образования бенз(а)пирена / Н.В. Лавров, Н.Л. Стасевич, Г.М. Комина // Док. АН СССР. – 1972. – Т.206. – № 6. – С. 1363 – 1366. 9. Лукачев С.В. О модернизации процессов образования бенз(а)пирена на основе глобальных реакций / С.В. Лукачев, С.Г. Матвеев, А.Ф. Урывский // Изв. вузов. Сер. Авиационная техника. – 1996. – № 1. – С.62 – 64. 10. Матвеев С.Г. Влияние химического состава топлива на выбросы бенз(а)пирена автомобилями / С.Г. Матвеев, М.Ю. Орлов, И.В. Четет // Вестник Самарского гос. аэрокосм. ун-та. – 2007. – № 2 (13). – С.134 – 136. 11. Канило П.М. Пути улучшения экологических показателей автомобилей при использовании высокоароматизированных нефтяных топлив / П.М. Канило, К.В. Костенко, М.В. Сарापина // Автомоб. транспорт: Сб. науч. тр. – Харьков: Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т. – 2008. – Вып. 22. – С. 31–37. 12. Канило П.М. Глобальное потепление климата. Антропогенно-экологическая реальность: монография / П.М.Канило – Харьков: ХНАДУ, 2015. – 304 с.

Bibliography (transliterated):

1. Kaniło P.M. Problemy zagrjaznenija atmosfery gorodov kancerogenno-mutagennymi supertoksikantami / P.M. Kaniło, V.V. Solovej, K.V. Kostenko // Vestn. Har'k. nac. avtomob.-dor. un-ta. – 2011. – Vyp. 52. – S. 47 – 53. 2. Kaniło P.M. Avtotransport.

Toplivno-jekologičeskie problemy i perspektivy: monografija / P.M. Kaniło. – Har'kov: HNADU, 2013. – 272 s. 3. Dvigateli vnutrennego sgoranija: Serija uchebnikov v 6 tomah. T.5. Ekologizacija DVS. – 2-e izdanie /A.P. Marchenko, I.V. Parsadanov, L.L. Tovazhnjans'kij, A.F. Shehovcov/. – Har'kov.: Izdatel'skij centr NTU "HPI", 2014. – 348 s. 4. Parsadanov I.V. Povyšenie kachestva i konkurentosposobnosti dizelej na osnove kompleksnogo toplivno-jekologičeskogo kriterija. – Har'kov: izdat. centr NTU "HPI", 2003. – 244 s. 5. Gigiena i jekologija čeloveka / N.A. Matveeva, A.V. Leonov, M.P. Gracheva i dr. – M.: Izdatel'skij centr "Akademija", 2005. – 304 s. 6. Lukachev S.V. Obrazovanie i vygoranie benz(a)pirena pri szhiganii uglevodorodnyh topliv / S.V. Lukachev, S.G. Matveev, A.A. Gorbatko. – M.: Mashinostroenie, 1999. – 152 s. 7. Bedzher G.M. Himicheskie osnovy kancerogennoj opasnosti / G.M. Bedzher. – M.: Medicina. – 1966. – 124 s. 8. Lavrov N.V. O mehanizme obrazovanija benz(a)pirena / N.V. Lavrov, N.L. Stasevich, G.M. Komina // Dok. AN SSSR. – 1972. – T.206. – № 6. – S. 1363 – 1366. 9. Lukachev S.V. O modernizacii processov obrazovanija benz(a)pirena na osnove global'nyh reakcij / S.V. Lukachev, S.G. Matveev, A.F. Uryvskij // Izv. vuzov. Ser. Aviacionnaja tehnika. – 1996. – № 1. – S.62 – 64. 10. Matveev S.G. Vlijanie himičeskogo sostava topliva na vybrosy benz(a)pirena avtomobiljami / S.G. Matveev, M.Ju. Orlov, I.V. Chechet // Vestnik Samarskogo gos. azerokosm. un-ta. – 2007. – № 2 (13). – S.134 – 136. 11. Kaniło P.M. Puti uluchšenija jekologičeskix pokazatelej avtomobilej pri ispol'zovanii vysokoaromatizirovannyh neftjanyh topliv / P.M. Kaniło, K.V. Kostenko, M.V. Sarapina // Avtomob. transport: Sb. nauch. tr. – Har'kov: Har'k. nac. avtomob.-dor. un t. – 2008. – Vyp. 22. – S. 31–37. 12. Kaniło P.M. Global'noe poteplenie klimata. Antropogenno-jekologičeskaja real'nost': monografija / P.M.Kaniło – Har'kov: HNADU, 2015. – 304 s.

Поступила в редакцию 05.06.2015 г.

Канило Павел Макарович – докт. техн. наук, профессор, Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, Украина.

Марченко Андрей Петрович – докт. техн. наук, профессор, проректор по научной работе, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: dvs@kpi.kharkov.ua.

Парсаданов Игорь Владимирович – доктор техн. наук, главный научный сотрудник кафедры двигателей внутреннего сгорания Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: parsadanov@kpi.kharkov.ua.

Поливянчук Андрей Павлович – докт. техн. наук, доц., проф. кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина, armail@meta.ua, (057) 707-68-48.

МІНІМІЗАЦІЯ КАНЦЕРОГЕННОЇ НЕБЕЗПЕКИ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

П.М. Канило, А.П. Марченко, І.В. Парсаданов, А.П. Поливянчук

Проаналізовано механізми та схеми утворення канцерогенних вуглеводнів при згорянні в ДВЗ, розглянуті результати експериментальних досліджень з виявлення закономірностей утворення канцерогенних вуглеводнів при гомогенному і дифузійному горінні вуглеводневих, в тому числі, високоароматизованих палив. Запропоновано шляхи мінімізації канцерогенної небезпеки відпрацьованих газів ДВЗ автотранспорту.

MINIMISATION OF CANCEROGENIC DANGER OF THE EXHAUST GASES OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

P.M. Kaniło, A.P. Marchenko, I.V. Parsadanov, A.P. Polivianchuk

The mechanisms and circuit formation of carcinogenic hydrocarbons when burned in ICE are analysed, the results of experimental studies to identify patterns of formation of carcinogenic hydrocarbons in homogeneous and diffusion combustion of hydrocarbon, including highly flavoured fuels are reviewed. Ways of minimizing carcinogenic risk of exhaust gases ICE vehicles are offered.