

из каждой вершины, соответственно (3) требует одного «приезда» в любую вершину.

В выражениях (4) и (5) накладываются ограничения соответственно переменным z_{ik} и v_k [3], а (6) служит для контроля за сроками примыкания лесосек. Уравнение (7) подчеркивает, что каждая лесосека за весь срок освоения лесосырьевой базы может быть вырублена только один раз, а (8) — что из каждой пары лесосек (i, j) в течение срока их примыкания может быть вырублена только одна лесосека, (9) ограничивает годовые объемы заготовки леса.

Для вычисления реальных задач обоснования очередности освоения лесосек и разработки плана рубок на перспективу нами составлены алгоритм и программы на языке Фортран, реализуемые на ЭВМ ЕС-1033 и ПЭВМ типа IBM PC AT/XT и входящие в программный комплекс для оптимизации лесосечно-транспортного процесса [2]. Это позволило решить несколько задач по поиску лучших вариантов размещения и освоения лесосек в природно-производственных условиях ЛХТПО «Марилес». На рис. 2 показан оптимальный вариант освоения лесосек, расположенных на территории лесосырьевой базы Волжского ЛК. Решение получено при следующих исходных условиях: $N = 52$ шт.; $T_s = 5$ лет; $t_n = 2$ года; $N_{i.} = 10-11$ лесосек в год; допускается шахматное примыкание лесосек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Виногородов Г. К. Лесосечные работы.— М.: Лесн. пром-сть, 1972.— 238 с. [2]. Гордеев С. М., Иванов Г. А., Третьяков В. В. Система автоматизированного проектирования процесса лесосечно-транспортного освоения лесосырьевой базы.— Йошкар-Ола: МарПИ, 1989.— 4 с. [3]. Исследование операций. Методологические основы и математические методы.— М.: Мир, 1984.— С. 712. [4]. Кофман А., Анри-Лабордер А. Методы и модели исследования операций.— М.: Мир, 1974.— 431 с. [5]. Нестеров В. Г. Общее лесоводство.— М.; Л.: Гослесбумиздат, 1954.— 655 с.

Поступила 12 мая 1991 г.

УДК 621.43

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А. Т. ГЕРАСИМОВ

Инженерно-строительный институт (г. Санкт-Петербург)

В настоящее время в лесной промышленности все больше используется автотранспорт с дизельными силовыми установками. Древесина перевозится автопоездами с лесоперевалочных баз непосредственно потребителю, который находится в городской черте. В странах с высококоразвитой промышленностью и высоким уровнем автомобилизации проблема защиты атмосферного воздуха от токсичных выбросов выросла до уровня неотложных социальных проблем. Автомобильный транспорт, наряду с промышленностью, является главным виновником значительного загрязнения атмосферы. В США доля токсичных веществ, выбрасываемых в атмосферу автомобилями, составляет 60 %, в странах Европы 30...40 % [13].

При неудержимом росте автомобильного транспорта выхлопные газы становятся основными загрязнителями атмосферы городов, где сосредоточена большая часть автомобилей. Опасность воздействия выхлопных газов увеличивается вследствие того, что вредные их компоненты выбрасываются непосредственно в атмосферу, окружающую лю-

дей на заселенных территориях, где естественный обмен воздуха ограничен. Насчитывается свыше 1000 наименований компонентов выхлопных газов [3].

В группу токсичных веществ входят окись углерода CO, многочисленная группа углеводородов, альдегиды, окислы азота, сажа. Особую группу составляют канцерогенные полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), в том числе активный бенз[а]пирен (БП), являющийся своего рода индикатором присутствия в смеси других канцерогенов. В образцах воздуха, отобранных в 14 районах США, было обнаружено свыше трех десятков ПАУ [11].

Наибольшую опасность для человека представляют углеводородные соединения канцерогенной группы. Попадая в дыхательные пути человека, ПАУ постепенно накапливается до критических концентраций и стимулируют образование злокачественных опухолей. Обычно сравнивают доли токсичности выхлопных газов автомобилей с дизельными двигателями, вносимые окислами азота, сажей, окисью углерода, углеводородами, иногда бенз[а]пиреном. Однако необходимо учитывать, что БП составляет в среднем 10,1 % от суммы канцерогенных ПАУ, содержащихся в продуктах сгорания [12], и что мутагенная активность многих ПАУ более высока по сравнению с БП [16]. Между выходом БП и ПАУ с продуктами сгорания существует пропорциональная зависимость, при этом канцерогенная опасность с учетом всех ПАУ возрастает по сравнению с БП в 5—20 раз.

В некоторых средах, включая воздух, воду, а также ряд продуктов питания, обнаружены нитрозосоединения [5—8]. Доказано, что они, как и ПАУ, обладают канцерогенной активностью [2, 6—8]. Наиболее распространены такие нитрозосоединения, как нитроздиметиламин (НДМА) и нитроздиэтиламин (НДЭА). Есть мнение, что их предшественниками являются нитраты, нитриты и оксиды азота [6, 7, 10].

Имеющиеся в литературе данные экспериментальных исследований состава выхлопных газов автомобилей дают полную картину изменений концентраций основных токсичных веществ окиси углерода, окислов азота, углеводородов, сажи, образующихся при разных режимах работы двигателей. Аналогичных данных о выходе токсичных веществ канцерогенной группы практически нет. Не исследовано также образование нитрозосоединений. Видимо, это во многом объясняется, с одной стороны, сложностью отбора и подготовки к анализу проб, с другой — ограниченным числом организаций (в Таллинне, Санкт-Петербурге, Алма-Ате, Москве, Киеве), в которых имеются высокочувствительные приборы для анализа проб на содержание канцерогенных веществ, а также отработанные методики их анализа.

Экспериментальные исследования четырехтактных безнаддувных дизельных двигателей Ярославского моторного завода с объемным смесеобразованием и неразделенной камерой сгорания, размерности $S/D = 14/13$, с номинальной частотой вращения коленчатого вала 2100 об/мин показывают, что на всех режимах работы двигателя в выхлопных газах присутствуют канцерогенные компоненты БП, НДМА, НДЭА. На рис. 1, а, б приведены кривые зависимости выброса дизельным двигателем ЯМЗ-238 токсичных веществ от изменения нагрузки, на рис. 2 — от частоты вращения коленчатого вала.

Работа дизельного двигателя во всем диапазоне нагрузок характеризуется относительно небольшими выбросами окиси углерода и углеводородов и значительными выбросами окислов азота и сажи по сравнению с карбюраторными двигателями.

С увеличением нагрузки на двигатель в цилиндр поступает большое количество топлива, что способствует неравномерности макрораспределения его по объему камеры сгорания. Степень концентрации са-

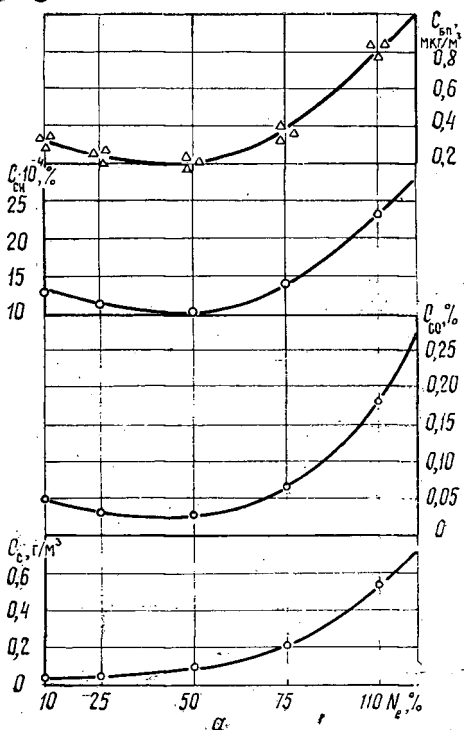
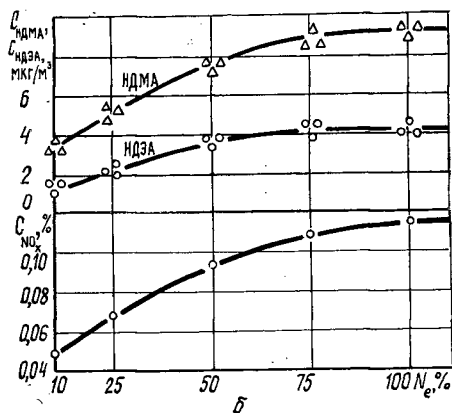


Рис. 1. Изменение концентраций токсичных веществ C в зависимости от нагрузки на двигатель N_e : а — сажи, окиси углерода, углеводородов и бенз[а]пирена; б — окислов азота, нитроздиметиламина и нитроздиэтиламина



жи C_c повышается от минимального значения при малых нагрузках до максимального при наибольших (см. рис. 1, а). Несмотря на достаточное число работ по исследованию образования сажи, нет единой теории и общепринятых представлений о химическом механизме и физико-химической природе этого процесса. Однако установлено, что в его основе лежит термическое разложение углеводородов в газовой фазе. Источником образования сажи в цилиндре двигателя, по принятому в настоящее время мнению, является крекирование молекул топлива, которое происходит одновременно с его окислением. В работе [14] утверждается, что коэффициент избытка воздуха является основным параметром, влияющим на образование сажи, так как он контролирует баланс между реакциями окисления и крекинга. В диффузионном пламени, доминирующем в дизельном двигателе, крекинг топлива в обогащенных зонах пламени сильнее влияет на образование сажи. Температура и давление определяют скорость реакции крекинга и тем самым — содержание сажи.

Одновременно с образованием сажи происходит ее выгорание. На интенсивность этого процесса наибольшее влияние оказывает температура газовой среды. С повышением температуры газов происходит, с одной стороны, более сильное выгорание сажи, с другой — интенсивный крекинг топлива и, следовательно, образуется больше сажи.

С незначительным увеличением нагрузки на двигатель концентрация окиси углерода C_{CO} несколько снижается (см. рис. 1, а). Это объясняется уменьшением количества альдегидов, являющихся исходными компонентами реакций образования CO в стадии распространения голубого пламени. Альдегиды образуются на стадии воспламенения топлива при наличии большого количества кислорода, поэтому максимум их концентраций приходится на пуск двигателя и работу без нагрузки. На мощностных режимах альдегиды практически отсутствуют.

С увеличением нагрузки начинает действовать другой фактор — образование сажи в цилиндре двигателя, окисление которой до CO_2 идет через образование CO . Кроме того, увеличивается вероятность диссоциации двуокиси углерода [9]. Наибольший выброс CO происходит при максимальной нагрузке на двигатель.

Выброс углеводородов связан с неполнотой сгорания топлива. На холостом ходу и малых нагрузках при низкой температуре в цилиндре двигателя концентрация углеводородов C_{CH} несколько повышена. При увеличении нагрузки до 50 % концентрация несколько снижается. Это объясняется улучшением условий смесеобразования и возрастанием температуры в цилиндре двигателя. Наибольшее увеличение выброса углеводородов наблюдается при низких коэффициентах избытка воздуха, т. е. в случае локального недостатка кислорода в зоне горения. Если нагрузка превышает 75 %, концентрация углеводородов C_{CH} резко возрастает и достигает наибольшего значения при максимальной нагрузке на двигатель (см. рис. 1, а).

В целом по направлению увеличения или уменьшения концентрации бенз[а]пирена $C_{\text{Бп}}$ в выхлопных газах (см. рис. 1, а) можно сделать вывод, что выход БП качественно отражает процесс горения топливо-воздушной смеси в цилиндре двигателя. При улучшении условий смесеобразования и более полном сгорании топлива концентрации БП минимальны. Наибольших значений они достигают при максимальных нагрузках на двигатель, когда значительно ухудшаются условия смесеобразования, а максимальная цикловая подача топлива способствует неравномерному макрораспределению его по объему камеры сгорания. Этот вывод подтверждается изменением концентрации углеводородов, окиси углерода и сажи.

Концентрация окислов азота в выхлопных газах повышается с увеличением нагрузки на двигатель (см. рис. 1, б). Монотонность кривой C_{NO_x} с асимптотическим приближением к максимальному значению объясняется повышением температуры в цилиндре двигателя, а также влиянием диссоциации NO и уменьшением концентрации кислорода в продуктах сгорания [9].

Акад. Я. Б. Зельдовичем доказана термическая природа реакции образования окиси азота [4]. Оно зависит от количества кислорода и азота в исходных продуктах и теплоты сгорания, скорость реакции определяется температурным фактором.

Образование ПАУ, обладающих канцерогенной активностью, объясняется, во-первых, сгоранием топлива в локальных зонах камеры сгорания, состав смеси в которых отличен от стехиометрического, во-вторых — наличием температурных зон в камере сгорания, способствующих их образованию [1, 15, 17].

В целом направление увеличения или уменьшения концентраций нитрозосоединений $C_{\text{ндма}}$ и $C_{\text{ндэа}}$ (рис. 1, б) качественно совпадает с выходом окислов азота в выхлопных газах двигателя. Концентрации НДМА и НДЭА повышаются с ростом нагрузки на двигатель (НДЭА в меньшей степени, чем НДМА). Механизм образования нитрозосоединений еще недостаточно изучен, но можно предполагать, что в цилиндре двигателя окислы азота при определенных условиях соединяются с аминной группой, которая образуется при цепном распаде углеводородного топлива.

Из рис. 2 видно, что увеличение частоты вращения коленчатого вала, с одной стороны, приводит к интенсификации смесеобразования, а следовательно, и к сокращению числа зон с дефицитом кислорода, с другой — к уменьшению времени горения. В связи с этим частота вращения оказывает неоднозначное влияние на концентрацию ток-

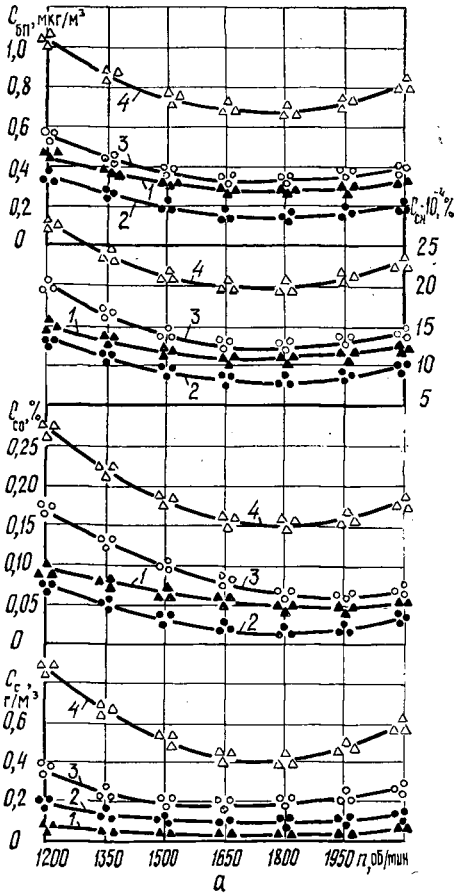


Рис. 2. Изменение концентраций токсичных веществ C в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя n (сажа, окись углерода, углеводороды и бенз[а]пирен); 1—4 — нагрузка соответственно 10, 50, 75 и 100 %

сичных компонентов в выхлопных газах двигателя. Концентрация сажи максимальна на малых оборотах коленчатого вала и при нагрузке 100 % (кривая 4 C_c на рис. 2). С увеличением числа оборотов происходит интенсификация смесеобразования и концентрация сажи уменьшается. При частоте вращения более 1700 об/мин концентрация сажи увеличивается, так как уменьшается время процесса горения образовавшихся частиц твердого углерода. При снижении нагрузки на двигатель влияние частоты вращения уменьшается (кривые 3 C_c , 2 C_c , 1 C_c на рис. 2). Такое же изменение концентрации характерно для окиси углерода, углеводородов и БП.

Концентрации окислов азота практически не изменились от частоты вращения коленчатого вала. Это можно объяснить тем, что некоторое уменьшение температуры в цилиндре двигателя при снижении частоты вращения компенсируется большим временем на процесс образования и некоторым увеличением коэффициента избытка воздуха. Концентрации нитрозосоединений также не зависят от числа оборотов вала.

Выводы

1. Уменьшение или увеличение концентрации БП качественно совпадает с улучшением или ухудшением условий смесеобразования и полнотой сгорания топлива в цилиндре двигателя. Следовательно, основным условием, обеспечивающим низкий уровень выброса канцеро-

генных ПАУ с выхлопными газами автомобилей, является полнота сгорания топлива.

2. На всех режимах работы дизельного двигателя присутствуют канцерогенные нитрозосоединения НДМА и НДЭА. В целом направление увеличения или уменьшения их концентраций качественно совпадает с выходом окислов азота в выхлопных газах автомобиля. Этим подтверждается мнение, что окислы азота являются предшественниками образования нитрозосоединений НДМА и НДЭА в дизельных двигателях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Влияние фаз процесса сгорания в дизеле на содержание канцерогенных компонентов в отработавших газах / А. П. Кратко, М. М. Вихерт, Ю. Г. Грудский и др. // Автомобильная пром-сть.— 1977.— № 6. [2]. Вредные вещества в промышленности. Органические вещества: Справочник / Под ред. И. В. Лазарева и Э. Н. Левиной.— Изд. 7-е, перераб. и доп.— Л.: Химия, 1976.— 623 с. [3]. Жуховицкий А. А., Туркельтауб Н. М. Газовая хроматография.— М.: Гостоптехиздат, 1962.— 440 с. [4]. Зельдович Я. Б., Садовников П. Я., Франк-Каменецкий Д. А. Окисление азота при горении.— М.; Л.: АН СССР, 1947.— 148 с. [5]. Канн Ю. М. Обнаружение и количественное определение летучих с водяным паром N-нитрозосоединений в пищевых продуктах: Методич. рекомендации / Талл. ПИ.— Таллин, 1983.— 21 с. [6]. Канцерогенные N-нитрозосоединения — действие, синтез, определение // Материалы Симпозиума.— Таллин, 1975.— 122 с. [7]. Канцерогенные N-нитрозосоединения и их предшественники — образование и определение в окружающей среде // Материалы Симпозиума.— Таллин, 1981.— 88 с. [8]. Канцерогенные N-нитрозосоединения и их предшественники — образование и определение в окружающей среде // Тезисы Симпозиума.— Таллин, 1987.— С. 31—39. [9]. Малов Р. В. и др. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды.— М.: Транспорт, 1982.— 200 с. [10]. Сигал И. Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива.— Л.: Недра, 1977.— 224 с. [11]. Хмельницкий Р. А., Бродский Е. С. Масс-спектрометрия загрязнений окружающей среды.— М.: Химия, 1990.— 184 с. [12]. Цирульников Л. В., Соколова И. Я. Влияние методов снижения оксидов азота на концентрации ПАУ при сжигании газа и мазута в топках котлов // Оксиды азота в продуктах сгорания и их преобразование в атмосфере.— Киев: Наукова думка, 1987.— С. 60—64. [13]. Якубовский Ю. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды.— М.: Транспорт, 1979.— 198 с. [14]. Bryzik W., Smith C. O. Relationships between exhaust smoke emissions and operating variables in diesel engines.— SAE Preprint, 1977.— N 770718. [15]. Hüßler W. Russbildung bei der dieselmotorischen Verbrennung und Möglichkeiten ihrer Verminderung // MTZ.— 1970.— N 3. [16]. Pott F., Steinhoff D. Prüfung von PAH und PAH-haltigen Emissionen und Immissionen im Subkutantest // VDI—Ber.— 1980.— N 5.— P. 317—322. [17]. Zaghini N., Magnilini S., Arteconi M. Polinuclear aromatic hydrocarbons in vehicle exhaust gas.— SAE Preprint, 1973.— N 730836.

Поступила 11 марта 1992 г.

УДК 630*36

ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧНОСТИ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ ДВИЖЕНИИ ХЛЫСТА В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ

В. С. ВИХРЕНКО, И. В. ТУРЛАЙ, Н. Г. ХОХРЯКОВ

Белорусский технологический институт

Сучкорезно-раскряжевные машины (СРМ) позволяют полностью механизировать достаточно трудоемкие процессы очистки стволов деревьев от сучьев и раскряжевки хлыстов на сортименты. Одна из принципиальных схем СРМ показана на рисунке *а*.

С опорой *А* фактически представляющей собой скользящую заделку, совмещены сучкорезные ножи, а с опорой *В* — ведущий и прижимной вальцы подающего механизма. Дерево подается в СРМ комлем вперед и протягивается через сучкорезную головку вальцами подачи