УДК 620.93

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ ДВС

Соснина Е.Н., Маслеева О.В., Дарьенков А.Б., Пачурин Г.В.

ФБГУ ВПО «Нижегородский государственный университет им. Р.А. Алексеева», Нижний Новгород, e-mail: pachuringv@mail.ru

Автономные электростанции на основе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) составляют широкий класс электроэнергетических систем. Установки «ДВС – электрический генератор», обладая высокой надежностью, достаточно большим моторесурсом и долговечностью, являются зачастую единственным источником основного или резервного энергоснабжения удаленных территорий, как например, районов Дальнего Востока, Сибири, Севера. Для обеспечения оптимального режима работы ДВС по фактору экономии топлива и снижения выбросов в атмосферу необходимо обеспечить регулирование его частоты вращения в зависимости от мощности нагрузки в соответствии с многопараметровой характеристикой. В работе исследовался двигатель внутреннего сгорания мощностью 3,0 кВт, входящий в состав установки «дизель-электрический генератор». При этом частота вращения ДВС регулировалась в зависимости от мощности нагрузки. Установлено, что применение двигателей внутреннего сгорания переменной частоты вращения позволяет достичь экономии топлива до 15%, что, в свою очередь, приводит к снижению эмиссии парниковых газов, в частности уменьшая выбросы в атмосферу газов CO и CH.

Ключевые слова: двигатели внутреннего сгорания, электрический генератор, автономные электростанции, выбросы в атмосферу, вредные вещества, экономия топлива

RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES FOR AUTONOMOUS PLANT BASED ON ICE

Sosnina E.N., Masleeva O.V., Darenkov A.B., Pachurin G.V.

FGBOU VPO «Nizhny Novgorod State Technical University R.A. Alekseev», Nizhny Novgorod, e-mail: pachuringv@mail.ru

Independent power based on the internal combustion engine (ICE) constitute a class of electric power systems. Settings «ICE – electric generator», having high reliability, large enough lifespan and durability, are often the only source of primary or backup power supply remote areas, such as areas of the Far East, Siberia and the North. To ensure optimal operation of the engine by a factor of fuel economy and reduce emissions is necessary to regulate its speed according to the power load in accordance with the multi-parameter characterization. The paper studied the internal combustion engine power 3,0 kW, which is part of the installation «diesel-electric generator». In this engine speed regulated according to the power load. It is found, that the use of internal combustion engines of variable speed fuel can be saved by 15%, which in turn leads to reduced emissions of greenhouse gases, in particular reducing the emissions of CO and HC gases.

Keywords: internal combustion engines, electric generator, autonomous power stations, emissions of harmful substances, fuel economy

Автономные электростанции на основе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) составляют широкий класс электроэнергетических систем. Установки «ДВС – электрический генератор» (Д-Г), обладая высокой надежностью, достаточно большим моторесурсом и долговечностью, незаменимы в качестве автономных источников основного или резервного электроснабжения [14].

Подавляющее большинство существующих Д-Г работают с постоянной (номинальной) частотой вращения вала во всем диапазоне изменения нагрузки. При постоянной частоте вращения n основные показатели ДВС (расход топлива, эффективный и механический КПД и др.) можно оценивать в зависимости от одного из показателей, отражающих нагрузку на его валу. Таким показателем может быть эффективная мощность N_e (рис. 1) [15, 16]. Из рис. 1, на котором представлена нагрузочная характеристика ДВС, видно, что кривая расхода топлива g_e имеет выраженный минимум при частичной загрузке двигателя. Следовательно, ДВС, работая при постоянной частоте вращения, но при переменной нагрузке, как это обычно бывает, в основном работает с неоптимальным расходом топлива.

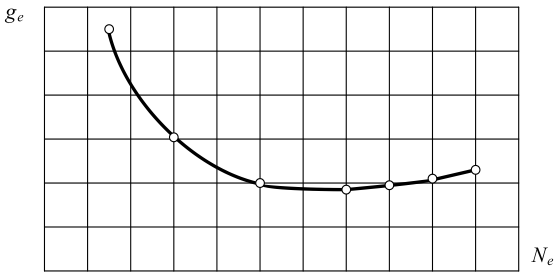

Рис. 1. Нагрузочная характеристика ДВС (n = const)

Для выбора экономичного режима работы ДВС удобно использовать его многопараметровую характеристику. Многопараметровая характеристика ДВС строится в системе, в которой координатами служат два основных показателя его работы, при различных значениях третьего, используемого в качестве параметра и остающегося постоянным для каждой из нанесенных кривых. На многопараметровой характеристике, представленной на рис. 2, штрихпунктирной линией показана зависимость эффективного давления p_e и эффективной мощности N_e от частоты вращения n вала ДВС при наименьшем удельном расходе топлива g_e.

Как видно из рис. 2, для достижения оптимального, с точки потребления топлива, режима работы ДВС необходимо обеспечить его работу при переменной частоте вращения. При этом приводимый во вращение ДВС генератор будет вырабатывать напряжение, частота которого будет меняться и, как правило, будет ниже номинального значения. Это требует нового подхода к построению системы Д-Г, который должен обеспечивать стабилизацию выходных напряжения и частоты генератора с помощью преобразователя частоты (рис. 3) [3].

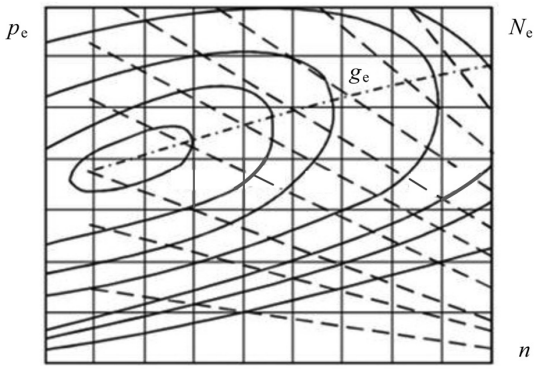

Рис. 2. Многопараметровая характеристика ДВС

Важнейшим вопросом при разработке Д-Г переменной частоты вращения является исследование снижения потребления топлива и количественных характеристик отходящих газов ДВС [4].

Образование токсичных веществ

Образование токсичных веществ – продуктов неполного сгорания и оксидов азота в цилиндре двигателя в процессе сгорания – происходит различными путями. Первая группа токсичных веществ связана с химическими реакциями окисления топлива, протекающими в предпламенный период и в процессе сгорания – расширения. Вторая группа токсичных веществ образуется при соединении азота и избыточного кислорода в продуктах сгорания.

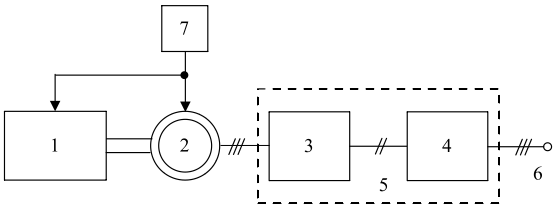

Рис. 3. Функциональная схема Д-Г переменной частоты вращения: 1 – ДВС; 2 – генератор; 3 – выпрямитель; 4 – инвертор напряжения; 5 – преобразователь частоты; 6 – выходные выводы; 7 – система управления

К токсичным компонентам отработавших газов относятся: оксид углерода, углеводороды, оксиды азота, сажа [5, 13].

Причиной образования оксида углерода и частично углеводородов является неполное сгорание углерода (массовая доля которого в бензинах достигает 85 %) из-за недостаточного количества кислорода. Поэтому концентрации оксида углерода и углеводородов в отработавших газах возрастают при обогащении смеси. Некоторое количество CO может образовываться в пристеночных слоях смеси или вследствие диссоциации CO_2 при высоких температурах.

Углеводороды состоят из исходных или распавшихся молекул топлива. Их содержание увеличивается при обогащении или при обеднении смеси, что объясняется повышенным количеством непрореагировавшего топлива из-за избытка воздуха и пропусков воспламенения в отдельных цилиндрах. Образование углеводородов происходит также из-за того, что у стенок камеры сгорания температура газов недостаточно высока для сгорания топлива, поэтому здесь пламя гасится и полного сгорания не происходит.

Оксиды азота. В реакции образования оксида азота может участвовать как азот, содержащийся в топливе, так и азот атмосферного воздуха. Оксид азота образуется как во фронте пламени, так и в продуктах сгорания, т.е. за фронтом пламени. Так как температура за фронтом пламени выше, то именно в зонах, где топливо сгорает в первую очередь, образуется большее количество NO.

Основная доля образовавшихся в камере сгорания CO окисляется до CO_2, не выходя за пределы камеры. Окисление CO в CO_2 происходит в выпускной трубе и в нейтрализаторах отработавших газов.

Токсичность вредных веществ [1, 2]

Оксид углерода при вдыхании легко проникает в кровь. Оксид углерода, проникший в кровь, вступает во взаимодействие с гемоглобином (Hb) эритроцитов, образуя карбоксигемоглобин (HbCO), не способный к транспорту кислорода. Общемозговые нарушения выражаются в жалобах на головную боль, головокружение, тошноту, рвоту. Психические нарушения могут выражаться нарушением памяти с дезориентацией во времени и месте, зрительными, слуховыми галлюцинациями. Нарушение функции сердечно-сосудистой системы: отмечаются признаки гипоксии миокарда и нарушения коронарного кровообращения.

Оксид азота, подобно CO, способен присоединяться к гемоглобину крови, образуя нестойкое нитрозосоединение, которое не способно обратимо связывать кислород.

Диоксид азота раздражает легкие и слизистые оболочки, в больших концентрациях вызывает отек легких, понижает кровяное давление. Отравление начинается с легкого кашля, головной боли, иногда рвоты, раздражения слизистой оболочки глаз.

Оксиды азота при контакте с влажной поверхностью легких образуют азотную кислоту, что приводит к отеку легких. Из оксидов азота в крови образуются нитраты и нитриты, которые вызывают расширение сосудов и снижение давления.

Первые признаки отравления углеводородами – головная боль, сонливость, ослабление внимания, рвота, замедление пульса и снижение давления. На поражение легких после отравления углеводородами внутрь указывают кашель, рвотные движения и удушье. Наиболее опасные проявления кардиотоксического действия отравления. При остром отравлении углеводородами наблюдается угнетение ЦНС, возможно развитие комы и эпилептических припадков.

Нормирование загрязняющих веществ, содержащихся в атмосфере

Согласно гигиеническим требованиям установлены предельно-допустимые концентрации (ПДК, мг/м^3) вредных веществ, загрязняющих атмосферный воздух. ПДК – это максимальная концентрация вредного вещества в воздухе, которая не оказывает вредного воздействия на организм человека, т.е. концентрация вредного вещества не должна превышать ПДК.

Предельно допустимые концентрации приняты согласно ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест».

Перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу, и санитарно-гигиенические характеристики загрязняющих веществ представлены в табл. 1. При проведении расчетов загрязнения атмосферы для углеводородов используется ОБУВ по керосину (код 2732).

Задачи

Экологическое сравнение было выполнено для двух вариантов:

– традиционный: при работе двигателя с числом оборотов 3000 об/мин,

– при использовании системы управления, которая обеспечивает оптимальный режим работы двигателя, изменяя число оборотов при изменении мощности нагрузки.

Экологическая оценка проводилась по следующим параметрам:

– расход топлива,

– концентрация оксида углерода,

– концентрация углеводородов,

– расход электроэнергии при добыче, транспортировке и переработке нефти,

– расход водопотребления и водоотведения при добыче и переработке нефти,

– образование отходов.

Измерительная аппаратура

Измерения проводили с помощью газоанализатора «Инфракар М». Газоанализаторы «Инфракар М» предназначены для измерения объемной доли оксида углерода (CO), углеводородов, диоксида углерода (CO_2), кислорода (O_2) в отработавших газах автомобилей с бензиновыми двигателями. Принцип действия датчиков объемной доли (CO, CO_2, углеводородов) – оптико-абсорбционный. Расход топлива измерялся штихпробером ШПБ-10–15 с оптическими датчиками ИК-диапазона.

Таблица 1

Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест

№ код	Наименование вещества	Формула	Величина ПДК (мг/м^3)		Класс опасности
			максимально-разовая	среднесуточная	
521	Углерод оксид	CO	5	3	4
2732	Углеводороды	CH	1,2	–	–

Все испытания проведены в соответствие с ГОСТ 18508-73 на типовые испытания ДВС. Все измерения текущих рабочих параметров и выходных показателей ДВС проводились на прогретом двигателе.

Применяемые экологические методики

Снижение расхода топлива приводит не только к уменьшению загрязнения окружающей природной среды, но и к уменьшению потребления природных ресурсов, что, в свою очередь, приводит к снижению расхода электроэнергии при процессе добычи нефти и производства бензина, образования отходов, потребления воды и сброса сточных вод [6, 9, 10].

Снижение расхода электроэнергии было рассчитано исходя из величин удельных расходов электрической энергии при добыче, транспортировке и переработке нефти [11].

Снижение расхода водопотребления и водоотведения рассчитывалось исходя из значений средних удельных расходов воды и количества сточных вод при добыче и переработке нефти [12].

Снижение образования отходов было рассчитано исходя из значений удельных показателей образования отходов при первичной переработке нефти и очистке бензина [8].

Максимальные значения приземных концентраций вредных веществ, опасные скорости ветра рассчитывают в соответствии с ОНД-86 «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий».

Расчет эмиссии парниковых газов был выполнен в соответствии с методикой «Пересмотренные Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК», которые включают методологии по сжиганию топлива, индустриальным процессам, сельскохозяйственным почвам, изменению землепользования и лесному хозяйству, отходам. При расчете учитывались следующие парниковые газы: углекислый газ, закись азота и метан. Для расчета использовали модуль «Энергетика».

При расчете эмиссии парниковых газов учитывается потенциал глобального потепления для каждого вещества. Потенциал глобального потепления (ПГП) оценивает радиационное (разогревающее) воздействие молекулы парникового газа относительно двуокиси углерода, осредненное за выбранный период времени после эмиссии.

Потенциал глобального потепления для парниковых газов составляет:

– двуокись углерода (CO_2) ПГП = 1
– метан (CH_4) ПГП = 21
– закись азота (N_2O) ПГП = 310.

Снижение выбросов парниковых газов было рассчитано исходя из удельных показателей эмиссии парниковых газов при добыче, транспортировке и переработке нефти [11].

Объект исследования

В качестве объекта исследования использовался бензиновый генератор SDMO HX 3000, оснащенный одноцилиндровым искровым двигателем с воздушным охлаждением HONDA GX-200. На двигателе установлены каталитические нейтрализаторы. Рабочие параметры установки, заявленные производителем, приведены в табл. 2. В качестве моторного топлива использовался товарный неэтилированный бензин марки «Регуляр-92».

Таблица 2

Технические параметры двигателей

Страна-производитель	Япония
ДВС	HONDA GX-200
Рабочий объем двигателя, см^3	196
Мощность, кВт	3,0
Рабочая частота вращения, мин – 1	3000
Число фаз	1
Напряжение номинальное, В	230
Расход топлива, л/ч	1,2

Результаты исследования и их обсуждение

На первом этапе были проведены экспериментальные исследования для определения оптимальных режимов ДВС при вариациях частоты его вращения от 2550 до 3720 об/мин в полном диапазоне возможных нагрузок от 0,4 до 3,13 кВт. Моделирование нагрузки агрегата выполнялось прямым подключением электрогенератора к резисторной сборке с плавной регулировкой электрического сопротивления. Электрические параметры регистрировались непосредственно на клеммах нагрузочного устройства.

На всех измеряемых точках нагрузочных характеристик регистрировался часовой расход топлива, ток и напряжение на нагрузке, температура отходящих газов, а также концентрации токсичных компонентов CO, CH (%). Экспериментальные исследования отражены комплектом моторных характеристик, включающих в себя нагрузочные характеристики для семи скоростных режимов, внешнюю скоростную характеристику и характеристику холостого хода. Путем обработки вышеуказанных характеристик были построены многопараметровые поля удельного расхода топлива и коэффициента использования теплоты сгорания топлива (рис. 4).

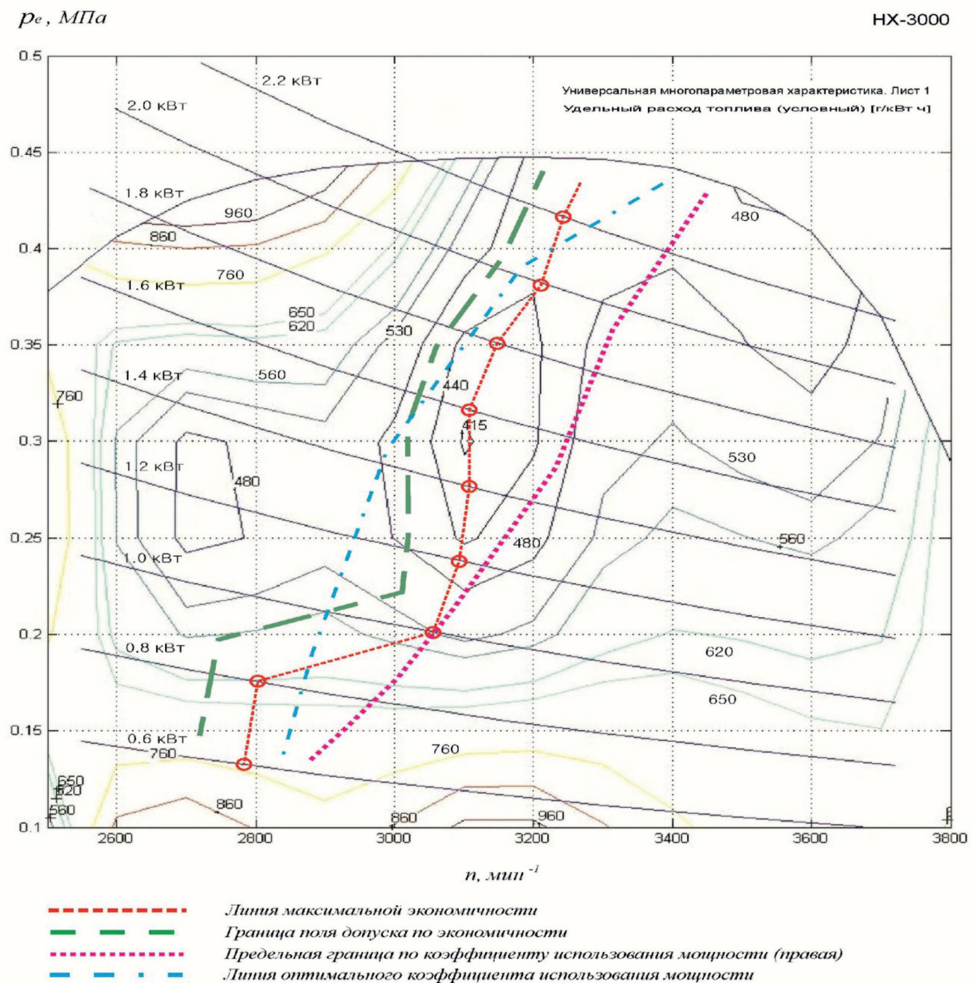

Рис. 4. Многопараметровые поля удельного расхода топлива и коэффициента использования теплоты сгорания топлива

Таблица 3

Снижение антропогенного воздействия источника энергии при использовании системы управления для двигателя HONDA GX-200

Снижение величины	При снижении расхода топлива, кг	
	109	570
Образование отходов, кг	0,001	0,006
Свежая вода из источника, м^3	392	2052
Сточные воды, м^3	49	257
Расход электрической энергии, кВт*ч	19	98

Способ подбора оптимального режима (сочетание мощности и частоты вращения) выбран по критерию эксплуатационной экономичности (линия максимальной экономичности на рис. 4).

Согласно экспериментальным исследованиям для двигателя HONDA GX-200 в штатной комплектации при применении системы управления в зоне малых нагрузок можно ожидать экономию топлива около 5% (109 кг/год), на нагрузках, близких к номинальной, при работе на 3150–3170 об/мин возможно повышение экономичности до 15% (570 кг/год).

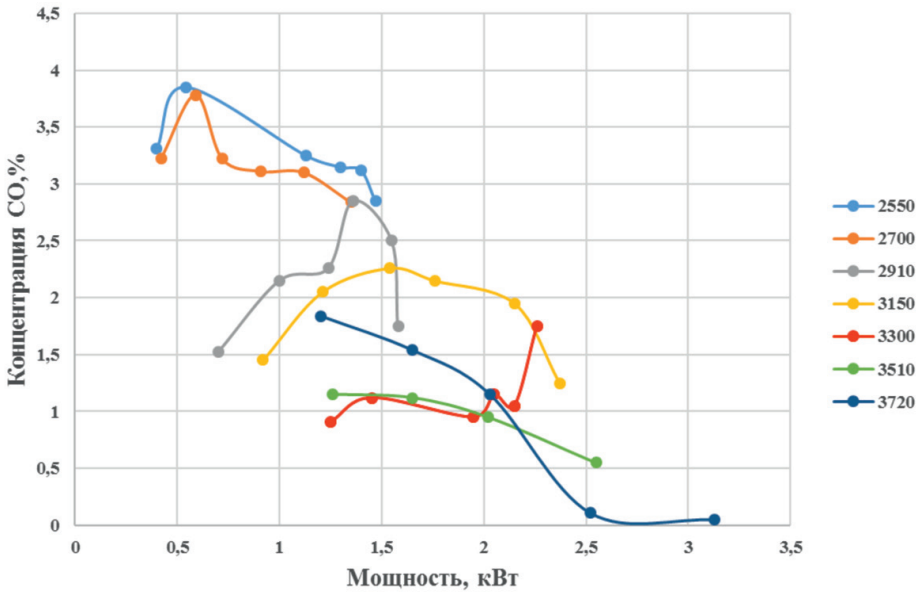

Рис. 5. Изменение концентрации оксида углерода в отработанных газах для различных частот вращения в зависимости от мощности

Таблица 4

Исходные данные для расчета выбросов в атмосферный воздух

3000 об/мин						
Мощность, кВт	0,92	1,21	1,54	1,76	2,15	2,37
Объем ГВС, м^3/сек	0,00184	0,00191	0,00219	0,00253	0,00358	0,00431
Температура ГВС, °С	640	650	660	700	740	780
Масса CO, г/сек	0,0100	0,0145	0,0181	0,0191	0,0235	0,0174
Масса CH, г/сек	3,93E-05	2,90E-05	2,43E-05	2,19E-05	3,97E-05	8,66E-05
Оптимальный режим						
Мощность, кВт	0,72	0,91	1,21	1,54	1,76	2,4
Объем ГВС, м^3/сек	0,00163	0,00170	0,00191	0,00219	0,00253	0,00368
Температура ГВС, °С	560	560	650	660	700	740
Масса CO, г/сек	0,0215	0,0216	0,0145	0,0181	0,0191	0,0118
Масса CH, г/сек	2,21E-05	2,31E-05	2,90E-05	2,43E-05	2,19E-05	1,51E-04

Экологическая оценка снижения расхода топлива

Используя удельные расходы [8, 11, 12], мы рассчитали уменьшение величин образования отходов, потребления и сброса вод, расхода электроэнергии при полученных величинах сокращения расхода топлива для двигателя. Результаты расчета снижения антропогенного воздействия источника энергии при использовании системы управления приведены в табл. 3.

Расчет выбросов вредных веществ

Исходными данными для экологических расчетов являются результаты экспериментальных исследований. На рис. 5 показано изменение концентрации оксида углерода в отработанных газах для различных режимов работы (мощности и частоты вращения).

Концентрации оксида углерода имеют минимальное значение вблизи номинальной мощности. На остальных мощностях концентрация оксида углерода возрастает с уменьшением мощности.

Исходя из концентраций оксида углерода и углеводородов, температуры выхлопных газов и объема газовоздушной смеси (ГВС), были рассчитаны массы вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу в единицу времени. Исходные данные приведены в табл. 4.

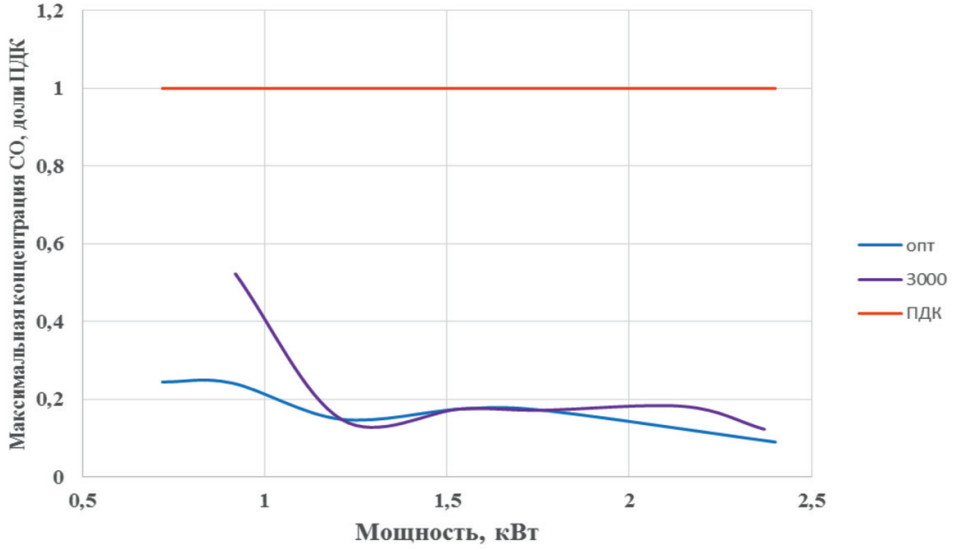

Рис. 6. Максимальные концентрации оксида углерода для двигателя HONDA GX-200

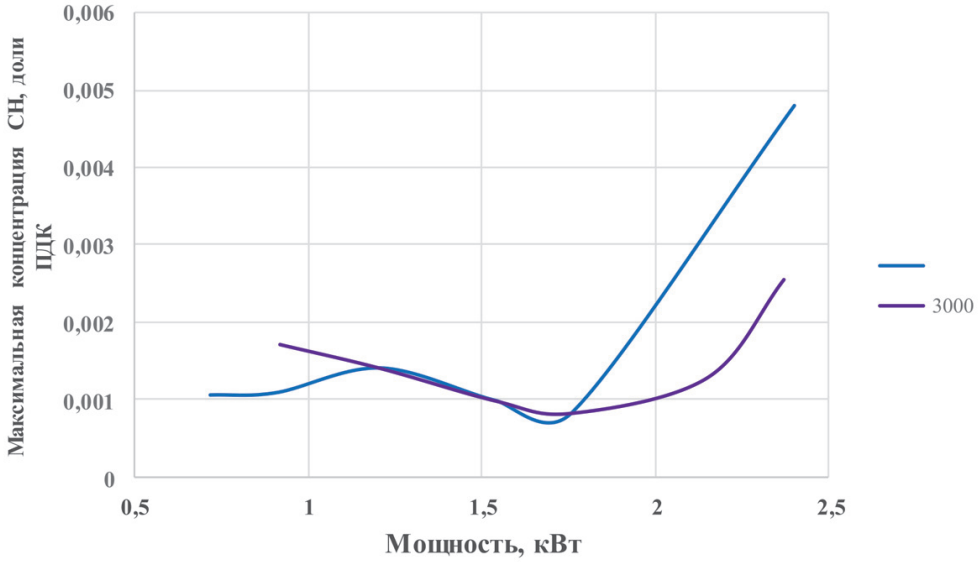

Рис. 7. Максимальные концентрации углеводородов для двигателя HONDA GX-200

Расчеты уровня загрязнения атмосферного воздуха были проведены для климатической зоны г. Нижнего Новгорода. Основные расчетные климатические характеристики, необходимые для расчетов приземных концентраций вредных веществ, приняты по СНиП 23-01-99 «Строительная климатология».

При расчетах было принято, что двигатель находится в контейнере, который имеет дымовую трубу с высотой $H = 2$ м и диаметром трубы $D = 0{,}1$ м. Результаты расчета максимальных приземных концентраций для двигателя HONDA GX-200 показаны на рис. 6 для оксида углерода и на рис. 7 для углеводородов.

Эмиссия парниковых газов

На основе величин сокращения расхода топлива был выполнен расчет сокращения суммарной эмиссии парниковых газов в пересчете на тонну CO_2-экв в процессе эксплуатации, при добыче нефти, ее транспортировке и переработке. В табл. 5 представлен результат расчета уменьшения суммарной эмиссии парниковых газов в пересчете на тонну CO_2-экв для двигателя HONDA GX-200 в процессе эксплуатации.

Таблица 5

Результаты расчета сокращения эмиссии парниковых газов для двигателя HONDA GX-200 в процессе эксплуатации

Сокращение расхода топлива, кг	Эмиссия парниковых газов, кг/год			Эмиссия парниковых газов в пересчете на CO_2экв, кг CO_2/год			Эмиссия парниковых газов в пересчете на кг CO_2экв
	CO_2	N_2O	CH_4	CO_2	N_2O	CH_4	кг CO_2/год
109	336,4	0,05	0,03	336,4	15,2	0,06	352
570	1752,7	0,26	0,02	1752,7	79,2	0,32	1832

Таблица 6

Снижение эмиссии парниковых газов для двигателя HONDA GX-200

Технологический процесс	Снижение эмиссии парниковых газов, кг CO_2экв, при снижении расхода топлива, кг	
	109	570
Добыча нефти	0,12	0,60
Транспортировка	0,03	0,18
Нефтехимические производства	0,03	0,18
Эксплуатация	352	1836
Всего	352,2	1837,0

Снижение эмиссии парниковых газов, кроме процесса эксплуатации, также произойдет при добыче нефти, ее транспортировке и переработке. Результаты расчета приведены в табл. 6.

Выводы

Основной вклад при снижении расхода топлива будут иметь ресурсосберегающие показатели. Снижение расхода топлива приведет к значительному снижению добычи нефти, а также сокращение при процессах добычи нефти и производства бензина потребления свежей воды из источника и объема сточных вод, расхода электроэнергии и образования отходов.

Расчеты выбросов вредных веществ показали, что:

– максимальные концентрации оксида углерода и углеводородов достигают на расстоянии 5м от источника выбросов,

– максимальные концентрации оксида углерода и углеводородов в рассматриваемом диапазоне мощностей не превышают ПДК,

– при применении системы управления значительное снижение концентрации СО происходит на малых мощностях, на остальных отличается незначительно,

– при применении системы управления происходит увеличение концентрации СН на мощностях, близких к номинальной, на остальных отличается незначительно, поскольку концентрация углеводородов, зависит от ряда факторов: угла опережения зажигания, скорости сгорания (для богатых смесей концентрация углеводородов будет выше), теплового состояния двигателя.

Расчеты выбросов парниковых газов показали, что:

– экономия расхода топлива приведет к снижению эмиссии парниковых газов для всех этапов технологической цепочки,

– основной вклад в снижение эмиссии парниковых газов вносит этап эксплуатации, которому и надо уделять в дальнейшем основные внимание.

Список литературы

1. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Изд. 7-е, пер. и доп. В трех томах. Том 3. Неорганические и элементоорганические соединения. Под ред. засл. деят. науки проф. Н.В. Лазарева и докт. биол. наук проф. И.Д. Гадаскиной. – Л.: Химия, 1977. – 608 с.

2. Вредные химические вещества. Справочник /под общей ред. В.А. Филова. – Л.: Химия, 1989.

3. Дарьенков А.Б., Хватов О.С. Автономная электростанция переменного тока. Патент РФ на изобретение № 2412513, бюл. № 5 – 2011.

4. Дарьенков А.Б., Хватов О.С., Юрлов Ф.Ф., Усов Н.В. Определение экономической эффективности дизель-генераторных электростанций с переменной частотой вращения вала. Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2014. – № 3. – С. 64–68.

5. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. Второе издание, перераб. – М.: Машиностроение, 1981. – 160 с.

6. Маслеева О.В., Пачурин Г.В. Комплексная экологическая оценка жизненного цикла малой распределенной

и возобновляемой энергетики // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 8. – С. 81–86.

7. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2010 гг. Часть 1. – М.: Росгидромет, Институт Глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, 2012. – 386 с.

8. Сборник удельных показателей образования отходов производства и потребления. – М.: – 1999.

9. Соснина Е.Н., Маслеева О.В., Пачурин Г.В., Крюков Е.В. Экологическая оценка процесса производства возобновляемых источников энергии // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 174–180.

10. Соснина Е.Н., Маслеева О.В., Пачурин Г.В., Кечкин А.Ю., Головкин Н.Н. Экологические проблемы возобновляемых источников энергии: монография / Е.Н. Соснина [и др.]; под общей ред. Г.В. Пачурина; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2014. – 164 с.

11. Справочник по проектированию электрических сетей // Под ред. Д.Л. Файбисовича. – М.: ЦН ЭНАС, 2006. – 175 с.

12. Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности / Совет Эконом. Взаимопомощи. ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1978. – 590 с.

13. Филиппов А.З. Токсичность отработавших газов тепловых двигателей. 8. Монография. – Киев: Вища школа. Головное издательство, 1980. – 160 с.

14. Федоров О.В., Дарьенков А.Б. Энергосберегающая политика. Монография. – М.: КНОРУС, 2015. – 294 с.

15. Darenkov A.B., Erofeev V.I. Semiconducting inverter generators with minimal losses. 2014 International conference on informatics, networking and intelligent computing (INIC 2014), China. – P. 227–230.

16. Khvatov O.S., Darenkov A.B. Power plant based on a variable-speed diesel generator. Russian Electrical Engineering. – March 2014, Volume 85, Issue 3. – P. 145–149.