

ТЕПЛОТЕХНІКА ТА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА

УДК 536.24

© Маслов В.А.¹, Берестовой И.О.², Берестовая Г.В.³

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВЫБОРА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ И РЕМОНТЕ ЭНЕРГОПРЕОБРАЗУЮЩИХ ОБЪЕКТОВ

В статье рассматривается проблема повышения эффективности работы энергоустановок, содержащих двигатели внутреннего сгорания. Выполнен сравнительный анализ существующих методик оценки и моделей двигателей внутреннего сгорания. Проведены статистические исследования современных двигателей и их анализ, на основе которых разработан метод оценки подбора двигателя внутреннего сгорания с оптимальными параметрами. Реализация данного метода упрощает оценку и подбор дизелей при модернизации и ремонте энергоустановок, что приводит к ускорению реализации энерго- и ресурсосберегающих мероприятий.

Ключевые слова: модель развития, двигатель внутреннего сгорания, тренд, диаметр цилиндра, ход поршня, теплообмен.

Маслов В.О., Берестовой И.О., Берестовая Г.В. Розробка методу вибору двигуна внутрішнього згорання на основі оцінки умов теплообміну при модернізації та ремонті енергоперетворюючих об'єктів. У статті розглядається проблема підвищення ефективності роботи енергоустановок, що містять двигуни внутрішнього згорання. Виконано порівняльний аналіз існуючих методик оцінки та моделей двигунів внутрішнього згорання. Проведено статистичні дослідження сучасних двигунів та їх аналіз, на основі яких розроблено метод оцінки підбору двигуна внутрішнього згорання з оптимальними параметрами. Реалізація даного методу спрощує оцінку і підбір дизелів при модернізації та ремонті енергоустановок, що призводить до прискорення реалізації енерго- та ресурсозберігаючих заходів.

Ключові слова: модель розвитку, двигун внутрішнього згорання, тренд, діаметр циліндра, хід поршня, теплообмін.

V.O. Maslov, I.O. Berestovoi, G.V. Berestovaya. Development of an internal combustion engine selection method on the basis of heat exchange conditions evaluation at modernization and repairs of energy-transforming objects. The problem of raising efficiency of power plants with internal combustion engines has been analyzed in the article. Comparative analysis of internal combustion engines has been carried out. Energy conversion in internal combustion engines is one of the most energy consuming systems. Efficiency increase of this system is considered with due regard to both the design parameters of a diesel engine and its operating conditions, making it possible to work out more reliable and objective methods of minimizing consumption of natural and energy resources in power plants. Comparative analysis of the existing methods of evaluation as well as of internal combustion engines models were performed with due regard to all the limitations. on its basis the principal drawbacks and imitations of those methods as well as types of engines were determined. It has been decided that in

¹ д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, maslov_v_o@pstu.edu

² ст. преподаватель, АМИ ОНМА, г. Мариуполь; bio1987@mail.ru

³ аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, ainagoz.galina@mail.ru

spite of plenty of investigations on the internal combustion engines the problem of selecting a proper engine type it has not been solved yet and solved and further investigations are required. A method of specifying an internal combustion engine type on the basis of descriptive forecasting model was suggested. Such models are compiled by processing of statistic investigations results. The main tendency of development becomes evident, it being the most important result of this investigation and making it possible to increase the efficiency of these processes. The developed method makes it possible to specify internal combustion engines with optimal parameters, taking into account the heat transfer conditions at modernization or repairs of energy transforming objects. Implementation of this method simplifies evaluation and selection of diesel engines at modernization and repairs that results in energy and resources saving and ensures optimal conditions for technological processes.

Keywords: *model of development, the internal combustion engine, the trend, heat transfer.*

Постановка проблеми. В современных условиях развития энергетики Украины и вхождения ее в мировые энергетические системы актуальными являются вопросы эффективного комплексного использования топливно-энергетических ресурсов с учетом требуемых экологических показателей и защиты окружающей среды. Особенно это относится к энергопреобразующим установкам, в которых используются двигатели внутреннего сгорания (ДВС), в частности дизели.

Преобразование энергии в двигателях внутреннего сгорания является одной из наиболее энергоресурсорасходных систем. Повышение эффективности этой системы должно рассматриваться комплексно с учетом конструктивных параметров дизеля, а также условий его эксплуатации, что позволит разработать более достоверные и объективные методы минимизации затрат природно-энергетических ресурсов в энергетических установках.

В эксплуатации при модернизации и ремонте энергоустановок возникает проблема оценки и подбора двигателя внутреннего сгорания с оптимальными параметрами. В этих условиях возникает необходимость исследования в современных ДВС взаимосвязи конструктивных и эксплуатационных факторов с показателями их топливной экономичности.

Анализ последних исследований и публикаций. Значительный вклад в развитие вопроса повышения эффективности и моделирование процессов в ДВС внесли Г. Вошни [1], Г.Б. Розенблит [2]. Несмотря на то, что со времени их выхода в свет прошло уже много лет, идеи и результаты, изложенные в работах этих авторов, не утратили своей актуальности и сегодня.

Из публикаций, рассматривающих повышение эффективности эксплуатации ДВС и методы её оценки, в современный период в первую очередь следует назвать работы Варнатц Ю. [3], Р.З. Кавтарадзе [4, 5], К. Вогел [6].

Предлагаемые Варнатц Ю. в [3] численные модели процессов горения различных систем и образования вредных загрязнений при горении углеводородных топлив в ДВС объединяет механику сплошной среды и химию горения, не рассматривая при этом влияния на них теплообменных процессов в рабочей камере. Варнатц Ю. приводит в [3] теоретические основы возникновения и развития нестационарных процессов в бедных пламенах воздушных смесей насыщенных углеводородов в двигателях и рассматривает различные способы химической стимуляции, включающие в себя впрыск в зону горения химически активных непредельных соединений и рост концентрации свободных радикалов. Вместе с тем следует отметить, что теория стимуляции горения как методом впрыска высоко активных реагентов, так и другими методами, нуждается в развитии и формировании эффективного математического аппарата, описывающего физические процессы при скачкообразном увеличении концентрации активных частиц.

Изложенные автором в [4], результаты расчетных исследований влияния формы камеры сгорания на локальные параметры рабочего процесса в цилиндре газового двигателя с принудительным зажиганием, работающем на природном газе, позволяют установить связь между кинетической энергией турбулентности и скорости распространения фронта пламени в камере сгорания. Также автором [4] произведена оценка шума работы двигателя с камерой сгорания различной формы и определены оптимальные формы камеры сгорания по критериям макси-

мального эффективного КПД работы двигателя и минимальных выбросов вредных веществ без учета таких параметров как диаметр цилиндра или ход поршня.

Разработанная в [5] модель теплообмена с учетом взаимодействия радиации и конвекции и использованием обобщенных интегральных соотношений, позволяет применять полученные теоретические соотношения для расчета камер сгорания быстроходных дизелей.

К. Вогел предложил в [6] многофакторную модель, позволяющую определить лишь механические показатели работы дизеля, как при эксплуатации, так и стендовых испытаниях.

Для оценки повышения эффективности ДВС прикладная статистика [7] использует различные методы и критерии (Хальда-Аббе, Спирмена, Фишера, и др.) которые отличаются по сложности реализации и эффективности. Это многообразие дает возможность выбора, но в тоже время применение указанных критериев при анализе реальных параметров не дает ожидаемых результатов ввиду несоблюдения условий их корректного использования, т.е. несоответствия выбранной статической модели реальным данным.

Несмотря на обилие исследований, касающихся ДВС, вопрос метода оценки выбора двигателя внутреннего сгорания не является полностью решенным и требует дальнейшего изучения.

Цель статьи – повышение эффективности работы энергоустановок на основе разработанного метода оценки подбора двигателя внутреннего сгорания с оптимальными параметрами при модернизации и ремонте энергоустановок.

Изложение основного материала. В настоящей работе предлагается метод выбора двигателя внутреннего сгорания на основе описательной прогнозной модели. Данные модели используются главным образом для анализа энергетических или экономических зависимостей [8], что не исключает применения их для выявления оценки возможных вариантов поведения системы и тем самым для подготовки решений.

Модели развития формируются путем обработки данных статистических исследований. Важнейшим результатом таких исследований является тренд, или основная тенденция развития, особенно при рассмотрении повышения эффективности процессов.

Статистическая интерпретация трендов развития многообразна, однако основное ее применение в анализе состояния и динамики изменения эффективности энергопреобразующих систем, включающих ДВС, заключается в определении основных направлений повышения эффективности как объекта исследования, выделении ее типичных черт и прогнозировании при выполнении задач модернизации и ремонта данных систем. Форма кривой тренда определяется в результате статистического анализа соответствующих показателей и наиболее приемлемым является метод, который основывается на сравнении характеристик изменения приростов исследуемого ряда с соответствующими характеристиками кривых роста. Для описания тренда выбирается та кривая, закон изменения прироста которой наиболее близок к закономерности изменения фактических данных.

Для устранения опасности выбора неадекватной кривой необходимо при выделении тренда либо аппроксимировать одиночные данные различными кривыми и проследить, как они будут вести себя в дальнейшем, либо осуществлять аппроксимацию с помощью системы ортогональных полиномов, например Лягерра, Эрмита, Чебышева и др. [8].

Для оценивания тренда в данном случае использовалась аппроксимация по методу наименьших квадратов. Суть метода состоит в следующем: к реальным данным подбирается функция и её параметры, чтобы разности (отклонения, остатки) между реальными и вычисленными значениями y были минимальны. Но разностей много, поэтому минимизируется сумма квадратов этих разностей.

Сумма квадратов остатков, зависящая от параметров a и b (рис. 1)

$$L(a, b) = \sum_{i=1}^n (a + bx_i - y_i)^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

где n – количество измерений.

Эта функция достигает минимума в точке, где её частные производные по a и по b равны нулю:

$$\frac{\partial L}{\partial a} = 2 \sum_{i=1}^n (a + bx_i - y_i) = 2na + 2b \sum_{i=1}^n x_i - 2 \sum_{i=1}^n y_i = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial L}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^n (a + bx_i - y_i)x_i = 2a \sum_{i=1}^n x_i + 2b \sum_{i=1}^n x_i^2 - 2 \sum_{i=1}^n x_i y_i = 0 \quad (3)$$

или

$$a \cdot n + b \sum x = \sum y, \quad (4)$$

$$a \sum x + b \sum x^2 = \sum x \cdot y. \quad (5)$$

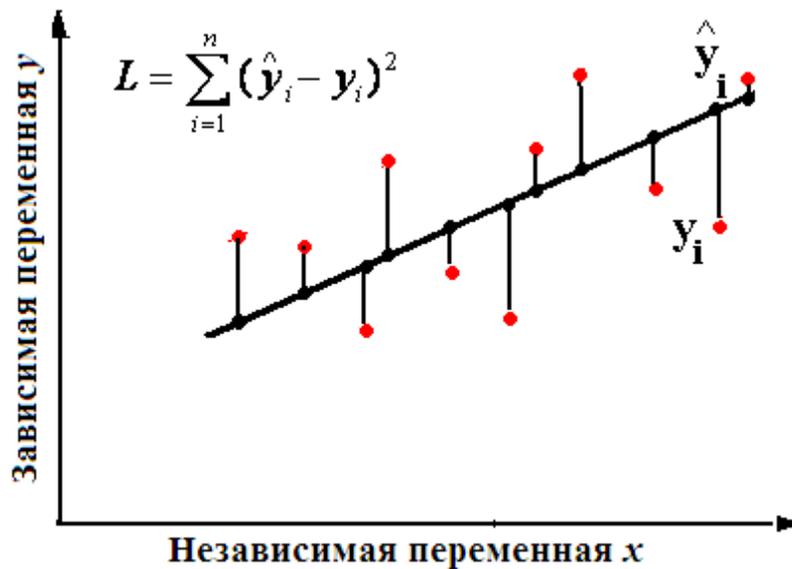


Рис. 1 – Отклонения реальных y от оценённой функции регрессии

Эта процедура обеспечивает минимизацию суммы квадратов независимо от статистических предположений. Критерий минимума суммы квадратов отклонений фактических данных от тренда обладает рядом достоинств, главными из которых являются следующие:

- 1) критерий имеет достаточно ясный физический смысл - дисперсия выходного сигнала предиктора относительно процесса;
- 2) критерий не использует никаких других предположений о случайных возмущениях, кроме предположения о существовании конечных дисперсий;
- 3) при наличии гауссовских помех оценка по этому критерию дает наилучшее приближение;
- 4) критерий достаточно удобен при проведении различных математических операций.

Эти обстоятельства обеспечили широкое применение данного метода в задачах прогнозирования и были использованы для данных статистических исследований.

На основании статистических исследований современных двигателей фирмы MAN B&W Diesel A/S [9] с диаметром цилиндров от 260 мм до 980 мм и ходом поршня от 980 мм до 3188 мм с использованием выше описанного метода получен анализ влияния конструктивных параметров камеры сгорания дизеля на долю количества теплоты Q_e , превращенной в полезную работу (рис. 2), и трендовый прогноз

$$Q_e = 59,2267 - 0,0117 \cdot d - 5,031 \cdot \frac{S}{d} + 2,2367 \cdot 10^{-6} \cdot d^2 + 0,0035 \cdot S + 0,5149 \cdot \frac{S^2}{d^2}, \quad (6)$$

где d – диаметр цилиндра, мм; S – ход поршня, мм.

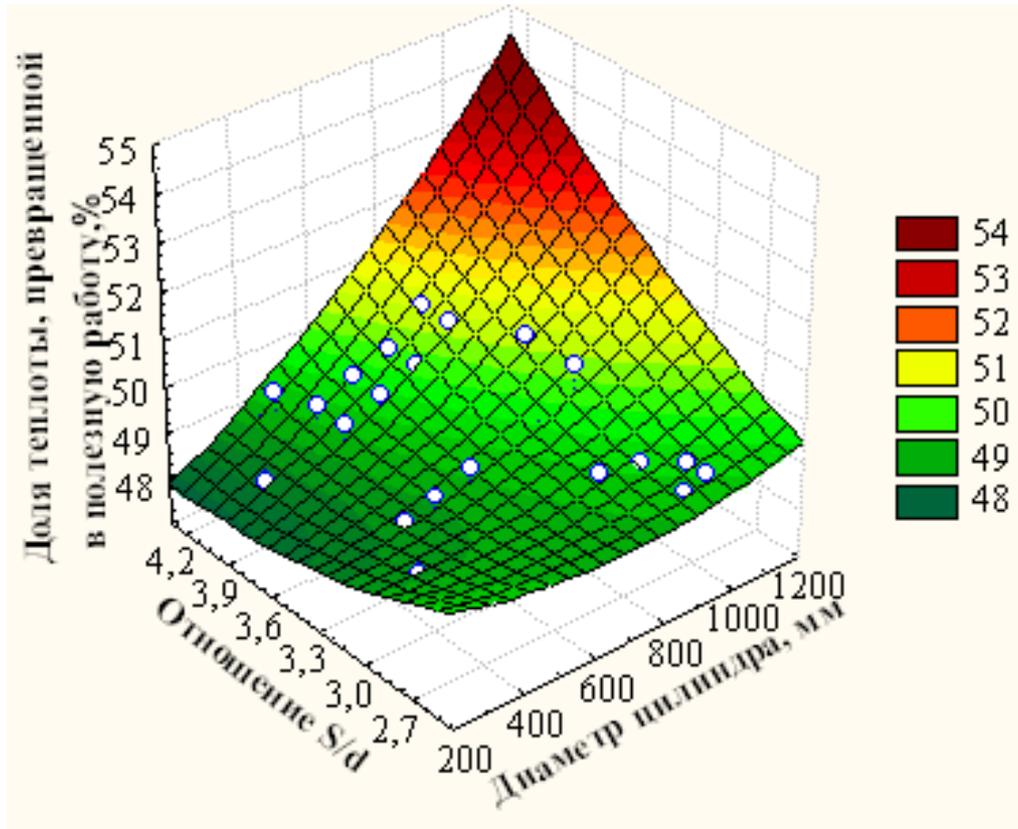


Рис. 2 – Тренд влияния геометрических размеров цилиндра на долю количества теплоты, превращенной в полезную работу

Для оценки среднеквадратическое отклонение результатов, полученных на основании прогнозного тренда, используется формула

$$\sigma \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}, \quad (7)$$

где X_i – i -го измерения; \bar{X} – среднее арифметическое значение; n_i – число наблюдений, выполненное при измерении i -го аргумента.

Расчет показывает, что среднеквадратическое отклонение полученных результатов составляет менее 10%.

Как следует из данного трендового прогноза, применительно к работе группы малооборотных двухтактных дизелей на номинальных режимах, короткоходные двигатели обладают повышенным расходом топлива по сравнению с длинноходными, а как следствие ухудшением процессов преобразования тепловой энергии внутри камеры сгорания. Такой эффект вероятнее всего объясняется тем, что длинноходный двигатель имеет более выгодное отношение охлаждаемой поверхности к объему камеры сгорания при положении поршня в верхней мертвой точки, что более важно, так как в этот период цикла температура газов, определяющая потери теплоты, наиболее высока. Сокращение поверхности теплоотдачи в этой фазе процесса расширения уменьшает тепловые потери и улучшает индикаторный КПД двигателя.

Выводы

Проведенные статистические исследования, результаты анализа и численного моделирования сделать следующие выводы:

1. Разработанный метод позволяет на основе оценки условий теплообмена при модернизации и ремонте энергопреобразующих объектов подобрать двигателя внутреннего сгорания с оптимальными параметрами.

2. Реализация данного метода упрощает оценку и подбор дизелей при модернизации и ремонте энергоустановок, что приводит к ускорению реализации энерго- и ресурсосберегающих мероприятий, а также к обеспечению оптимальных условий протекания технологических процессов.

Список использованных источников:

1. Вошни Г. Вихревое движение воздуха в быстроходном дизеле с четырьмя клапанами на цилиндр / Г. Вошни, К. Цайлингер, Р.З. Кавтарадзе // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер.: Машиностроение. – 1997. – № 1. – С. 74-84.
2. Розенблит Г.Б. Теплопередача в дизелях / Г.Б. Розенблит. – М.: Машиностроение, 1977. – 216 с.
3. Варнатц Ю. Горение: Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ / Ю. Варнатц, У. Маас, Р.М. Диббл. – М.: Физматлит, 2003. – 352 с.
4. Влияние формы камеры на нестационарные процессы переноса и турбулентного сгорания в дизеле, конвертированном в газовый двигатель / А.И. Леонтьев, Р.З. Кавтарадзе, А.В. Шибанов, А.А. Зеленцов, С.С. Сергеев // Известия РАН. Энергетика. – 2009. – № 2. – С. 49-63.
5. Кавтарадзе Р.З. Моделирование радиационно-конвективного теплообмена в камерах сгорания / Р.З. Кавтарадзе, В.В. Арапов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер.: Машиностроение. – 2000. – № 1. – С. 29-47.
6. Vogel Ch. Einfluss von Wandablagenmgen auf den Warmeiibergang im Verbrennungsmotor: Dissertation / Ch.Vogel Ch. – TUMiinchen, 1995. – 119 p.
7. Миргород В.Ф. Особенности применения трендовых статистик при обработке данных в системах технической диагностики / В.Ф. Миргород, Г.С. Ранченко // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2005. – № 4. – С. 25-27. (Рус.)
8. Рихтер К.Ю. Транспортная эконометрия / К.Ю. Рихтер. – М.: Транспорт, 1982. – 317 с.
9. MAN B&W Two-stroke MC/MC-C Engines / Germany: MAN B&W Diesel A/S, 2000. – 235 с.

Bibliography:

1. Voshni G. Vortex motion of air in the high-speed diesel engine with four valves per cylinder / G. Voshni, K. Tsaylinger, R.Z. Kavtaradze // Vestnik MSTU. N.E. Bauman. Ser.: Mechanical Engineering. – 1997. – № 1. – P. 74-84. (Рус.)
2. Rozenblit G.B. Heat transfer in diesel / G.B. Rozenblit. – M.: Mashinostroenie, 1977. – 216 p. (Рус.)
3. Varnatts Yu, Combustion: Physical and chemical aspects, modeling, experiments, the formation of pollutants / Yu. Varnatts, U. Maas, R.M. Dibbl. – M.: Fizmatlit, 2003. – 352 p. (Рус.)
4. Effect of the camera on the unsteady transport processes and turbulent combustion in a diesel engine, converted to gas engine / A.I. Leontiev, R.Z. Kavtaradze, A.V. Shibanov, A.A. Zelencov, S.S. Sergeev // Math. Russian Academy of Sciences. Energy. – 2009. – № 2. – P. 49-63. (Рус.)
5. Kavtaradze R.Z. Modeling of radiative-convective heat transfer in combustion chambers / R.Z. Kavtaradze, V.V. Arapov // Vestnik MSTU. N.E. Bauman. Ser.: Mechanical Engineering. – 2000. – № 1. – P. 29-47. (Рус.)
6. Vogel Ch. Einfluss von Wandablagenmgen auf den Warmeiibergang im Verbrennungsmotor: Dissertation / Ch. Vogel Ch. – TUMiinchen, 1995. – 119 p.
7. Myrgorod V.F. Features of the application of trend statistics in data processing systems of technical diagnostics / V.F. Myrgorod G.S. Ranchenko // Technology and design of electronic equipment. – 2005. – № 4. – P. 25-27. (Рус.)
8. Richter K.J. Transport Econometrics / K.J. Richter. – M.: Transport, 1982. – 317 p. (Рус.)
9. MAN B&W Two-stroke MC/MC-C Engines / Germany: MAN B&W Diesel A/S, 2000. – 235 p.

Рецензент: А.М. Берестовой
д-р тех. наук, проф., АМИ ОНМА

Статья поступила 05.02.2015