

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОРШНЕВЫХ МАШИН

Науменко А.П. (НПЦ «Динамика», г. Омск)

Одной из важнейших задач диагностирования и мониторинга состояния поршневых машин (ПМ) является исследование, выбор и обоснование набора диагностических признаков (ДП), соответствующих видам технического состояния (ТС) и основным неисправностям ПМ, создание и исследование нормативно-методической базы ДП.

Теоретические и экспериментальные исследования по определению основных дефектов и неисправностей ПМ путем анализа параметров виброакустического (ВА) сигнала достаточно широко проводились различными научными школами в 60-х – 80-х годах прошлого века. Эти работы, как правило, основывались на стендовом моделировании различных неисправностей и дефектов отдельных деталей узлов и механизмов и выявлении закономерностей изменения ВА сигнала ДВС [2, 11, 12, 13].

С начала 90-х годов исследования в области диагностирования ПМ нефтегазохимического комплекса (НГХК) в нашей стране, ближнем и дальнем зарубежье проводятся путем широкомасштабной промышленной эксплуатации стационарных систем мониторинга состояния динамического оборудования КОМПАКС® [7, 8]. Теоретический и практический опыт по анализу ВА сигналов [4 – 9], а также разработки программно-аппаратных средств [5 – 8], позволили разработать методологию диагностирования динамического оборудования, которая дает возможность накапливать опыт диагностирования и ПМ [7, 8, 9].

Основные способы обработки и анализа ВА сигнала ПМ можно разделить на три группы (рис. 1): дисперсионный анализ ВА сигнала в различных частотных полосах, например, виброускорение, виброскорость, виброперемещение (среднее квадратичное значение (СКЗ), амплитуда); амплитудно-фазовый анализ, т.е. выделение по времени (углу поворота вала) и анализ параметров ВА сигнала в пределах выделенного интервала; выделение сигнала в характерной для данного элемента механизма области частот и анализ параметров выделенного ВА сигнала.

Из приведенных способов наиболее развитым и исследованным является выделение сигнала во временной области по углу поворота вала. При этом сигнал предварительно выделяется в определенной области частот и детектируется. Однако, информация о спектральном анализе огибающей ВА сигнала в [2, 11, 12, 13] отсутствует. Сегодня анализ огибающей во временной и частотной областях является одним из основных методов диагностики элементов механизмов ПМ в системах КОМПАКС® [7, 8].

Поршневая машина представляет собой сложную газо-механическую систему и является мощным и многофакторным источником ВА сигналов. Проведенный анализ результатов теоретических и практических исследований показывает, что источниками ВА активности машин и механизмов являются различные силовые, чаще всего, статистически независимые воздействия, которые с достаточной степенью условности можно разделить на импульсные (ударные) вынуждающие воздействия F_s (например, взаимодействие зубчатых пар, открытие и закрытие клапана), полигармонические вынуждающие воздействия F_g (например, момент несбалансированных масс) и шум F_n , возникающий вследствие трения контактирующих деталей или газогидродинамики [10]. Нелинейные взаимовлияния в

механической системе взаимодействующих элементов приводят к перемножению и суперпозиции всех силовых взаимодействий F_g , F_s , F_n с весовыми функциями в виде импульсных характеристик h_g^s , h_s^s , h_n^s , соответствующих каждой паре силовых воздействий.

С учетом импульсной характеристики канала преобразования, усиления $h_{tr}(t)$ получено выражение, описывающее электрический сигнал на выходе датчика, который может быть представлен как смесь шумовых и периодических составляющих (ШПС) [7, 8] ВА сигнала:

$$\|U_\Sigma(t)\| = \|h_{tr}(t) \cdot S_\Sigma(t)\| = \begin{vmatrix} h_{str}(t) & 0 & 0 \\ 0 & h_{gr}(t) & 0 \\ 0 & 0 & h_{nr}(t) \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} S_g(t)h_g(t) \cdot [0,5 + S_g^s(t)] & S_s(t)h_s(t) \cdot [0,5 + S_g^s(t)] \\ S_g(t)h_g(t) \cdot [0,5 + S_n^s(t)] & S_g(t)h_g(t) \cdot [0,5 + S_n^s(t)] \\ S_n(t)h_n(t) \cdot [0,5 + S_s^s(t)] & S_n(t)h_n(t) \cdot [0,5 + S_s^s(t)] \end{vmatrix}$$

где $h_{str}(t)$, $h_{gr}(t)$, $h_{nr}(t)$ - импульсные характеристики канала от места приема ВА сигнала до преобразования его в электрический сигнал для свободных затухающих, вынужденных незатухающих, широкополосных и случайных узкополосных колебаний ВА канала соответственно; $h_g(t)$, $h_s(t)$, $h_n(t)$ - импульсные характеристики канала от места возникновения сигнала до места приема; $S_g^s = S_n h_n^s$; $S_g^s = S_g h_g^s$; $S_n^s = S_n h_n^s$; $S_s^s = S_s h_s^s$; $S_g^s = S_g h_g^s$ при этом импульсная характеристика h_g^s определяет степень взаимовлияния S_g и S_s , h_s^s - степень взаимовлияния S_s и S_n , h_n^s - степень взаимовлияния S_g и S_n и т.д.

На основе предложенной модели, а также с учетом известных исследований в области ВА диагностики [7, 8] можно констатировать:

1. В целом ВА колебания могут быть представлены в виде ШПС [7, 8];
2. Вибраакустический сигнал на выходе датчика представляет собой суперпозицию колебаний соответствующих силовых воздействий и их взаимномодулированные компоненты;
3. Такие параметры ВА колебаний, как ускорение, скорость, перемещение, а также их изменение во времени при диагностике, являются ортогональными диагностическими признаками неисправностей, что доказано в работах В.Н. Костюкова [7, 8] и его учеников.

Поршневая машина имеет множество ТС, поэтому методология формирования ДП дефектов и неисправностей основывается на том, что фактически при диагностировании это множество разделяется на конечное число распознаваемых классов состояний. В каждом классе состояний объединяются дефекты и неисправности, обладающие одинаковой физической природой. На основании статистического анализа отказов объекта диагностирования для каждого класса ТС формируются усредненные для данного класса значения диагностических признаков.

Многолетний опыт мониторинга и диагностики ПМ показывает, что в качестве основных диагностических признаков неисправностей ПМ целесообразно выбрать СКЗ ускорения, скорости и перемещения ВА колебаний, оценки при заданном уровне вероятности амплитуд ускорения и перемещения вибrosигнала как за полный цикл работы ПМ, так и в заданные моменты по углу поворота коленчатого вала. Для повышения глубины диагностирования целесообразно проводить анализ огибающей ВА сигнала, выделенного в характерной области частот. При этом основными параметрами огибающей является оценка математи-

ческого ожидания амплитуды выделенного в соответствии с циклограммой работы ПМ ВА импульса, его длительности, положения во временной области, а также спектральная оценка периодических и шумовых составляющих огибающей. Опыт показывает, что в зависимости от места получения ВА информации указанные оценки адекватно характеризуют состояние соответствующего узла, например, клапанов поршневого компрессора (ПК) или состояние деталей цилиндропоршневой группы.

Теория ортогональности параметров ВА колебаний, сформулированная и обоснованная в работах В.Н. Костюкова и его учеников для широкого класса динамического оборудования, подтверждается и для ПМ. Приведенные тренды показывают различную реакцию виброускорения и виброскорости (рис. 2), виброускорения и виброперемещения (рис. 3) на различные состояния ПК. Особенны характерны тренды (рис. 2) при накоплении конденсата и последующем гидроударе – виброускорение, как параметр, реагирующий на газоакустические процессы, адекватно отражает процесс накопления конденсата в цилиндре и возникновение гидроудара. В тоже время виброскорость, параметр, отражающий энергию колебательных процессов, отреагировала только на изменения условий компримирования в виде уменьшения объема камеры сжатия. Тренды виброускорения и виброперемещения с датчика, установленного над ползуном крейцкопфа (рис. 3), не оставляют никаких надежд на выявление взаимосвязи между двумя этими вибропараметрами.

Важнейшей задачей диагностики и мониторинга состояния ПМ является формирование нормативных параметров ДП. Существующий нормативно-методический документ в области контроля вибрации ПМ [1] не позволяет диагностировать узлы и детали цилиндров, кривошипно-шатунного механизма. Нормирование ВА колебаний только по ускорению и скорости подшипников [3] также не обеспечивает достаточной глубины и достоверности диагностики ПМ.

Многолетние исследования и контроль состояния ПМ с помощью систем КОМПАКС® [4, – 8] позволили определить места установки датчиков вибрации, которые обеспечивают максимальную глубину диагностирования при минимально необходимом количестве датчиков (рис. 4): 1 – на крышки цилиндра; 2 – в зоне клапанов; 3 – на клапанах (устанавливаются при необходимости детальной диагностики клапанов); 4 – над штоком; 5 – над ползуном крейцкопфа; 6 – датчики на коренных подшипниках; 7 – датчик углового положения вала; 8 – на подшипнике двигателя.

Статистический анализ ВА сигналов с датчиков, установленных на крышки цилиндров, выявил, что функции распределения амплитудных значений ускорения (Рис. 5), скорости, перемещения изменяют свои параметры в зависимости от состояния субъекта.

Анализ статистической взаимосвязи СКЗ и амплитудных значений вибропараметров показывает, что СКЗ и амплитуда ускорения коррелированы, а СКЗ и амплитуда скорости и перемещения – некоррелированы (табл. 1).

Обработка вибропараметров сигналов и их трендов, полученных с различных узлов различных типов ПМ, показала, что функции распределения амплитуд ускорения, скорости, перемещения имеют перегиб в точке по уровню вероятности 99% для субъектов в состоянии ДОПУСТИМО («Д»). Функцию распределения амплитуд параметров ВА сигналов для субъектов в состоянии «Д» в диапазоне вероятностей от 82% до 99% можно аппроксимировать прямой линией с $R^2 \geq 0,9$.

Таблица 1 – Мера Линнера между амплитудой
с вероятностью Р и СКЗ параметров ВА сигнала

Вибропараметр	СКЗ виброускорения	СКЗ виброскорости	СКЗ виброперемещения
Амплитуда, Р=100%	0.77	0.24	0.11
Амплитуда, Р=99%	0.90	0.16	0.09
Амплитуда, Р=98%	0.94	0.15	0.14
Амплитуда, Р=97%	0.96	0.14	0.17
Амплитуда, Р=96%	0.98	0.14	0.20
Амплитуда, Р=95%	0.98	0.14	0.24

При изменении состояния субъектов точка перегиба функций распределения параметров ВА сигнала смещается в сторону меньших значений – с 99% до 93%. Поэтому для повышения достоверности показаний систем мониторинга и диагностики и защиты от субъективных факторов при проведении измерений амплитуды вибропараметров целесообразно уровень вероятности выбирать в пределах от 96% до 98%.

Статистический анализ сигналов и трендов виброускорения с датчиков, установленных на крышки цилиндров ПК итальянской фирмы Nuovo Pignone типа 4HF/2 серии HF и ПК типа 4GM16M-45/17-37 (г. Сумы), показывает, что среднее значение СКЗ ускорения составляет $9,7 \text{ м/с}^2$, амплитуды – 71 м/с^2 (рис. 6). Учитывая характер гистограммы амплитуд (наличие двух мод и выбросов) можно констатировать превышение уровня амплитуд по ускорению значения 70 м/с^2 . По используемым нормам 71 м/с^2 – уровень НЕДОПУСТИМО («НДП»). Таким образом, компрессоры по амплитуде ускорения неоднократно работали с превышением уровня «НДП». Гистограмма СКЗ ускорения также имеет две моды, но выраженную не так ярко как гистограмма амплитуд.

Значения СКЗ виброускорения около 10 м/с^2 соответствует медиане (рис. 6). Учитывая двухмодовость гистограмм целесообразно выбрать величину СКЗ 14 м/с^2 в качестве уровня ТРЕБУЕТ ПРИНЯТИЯ МЕР («ТПМ»). Величину СКЗ «НДП» можно выбрать на уровне 28 м/с^2 (Таблица 2).

Таблица 2 – Экспериментальные данные по СКЗ вибропараметров ПК

Субъект	Состояние	A, м/с ²	V, мм/с	S, мкм
Радиальное направление поршня Клапан нагнетательный, выпускной	Д	11,2	2,8	7,1
	ТПМ	18	3,6	11,2
	НДП	36	7,1	23
Осевое направление	Д	7,1	4,5	9
	ТПМ	14	6,3	14
	НДП	28	14	28
Крейцкопф	Д	4,5	3,6	7,1
	ТПМ	6,3	4,5	14
	НДП	11,2	8,7	36
Коренной подшипник	Д	2,8	4,5	7,1
	ТПМ	3,6	5,6	11,2
	НДП	7,1	11,2	24

Статистика параметров виброскорости показывает (рис. 7), что среднее значение СКЗ виброскорости составляет $1,14 \text{ мм/с}$, а амплитуды – $4,9 \text{ мм/с}$. Величина

СКЗ 1,15 мм/с соответствует медиане. Уровень «ТПМ» СКЗ составляет 6,3 мм/с, а величина «НДП» - 14 мм/с (Таблица 2).

Статистическая обработка параметров трендов (рис. 8) вывела, что для компрессора 4HF/2 (Nuovo Pignone) среднее значение СКЗ 40-суточных трендов виброперемещения составляет 13 мкм, для ПК 4ГМ16 - 4,7 мкм, совместно для обоих типов компрессоров - 8,8 мкм.

Обработка сигналов, значений виброперемещения и полученная статистика (Рис. 8) для всех типов компрессоров позволяют определить, что среднее значение СКЗ составляет 5,3 мкм, а амплитуды - 15,5 мкм, что соответствует уровню вероятности 50% и 60% соответственно. С учетом функций распределения и технического состояния компрессоров значение «ТПМ» будет составлять 14 мкм, уровень «НДП» - 28 мкм (Таблица 2).

Анализ циклограммы работы ПМ, в частности, ПК НХК, исследование значений измеренных параметров ВА сигнала по углу поворота вала, т.е. частотно-временная селекция сигналов, выделение огибающей ВА сигнала с датчиков, установленных в различных точках ПМ, позволяют наглядно представлять процессы, происходящие в машине, и повысить точность постановки диагноза [4-10]. Особенно эффективно применение огибающей при ее синхронизации с угловым положением коленчатого вала. Для выделения огибающей используются специально разработанные алгоритмы, позволяющие получать сигнал, несущий максимально возможную информацию о состоянии узлов и деталей ПМ. Разработаны нормы и предельные значения, в частности, для виброускорения [4, 5, 6], которые также имеют градации «Д», «ТПМ» и «НДП». Частотно-временная селекция сигналов и синхронная обработка существенно помогают обнаружить фундаментальные причины отказов и неисправностей.

Исследования спектральных составляющих огибающей ВА сигналов, полученных с различных узлов ПМ, позволили сформировать критерии оценки состояния узлов и протекания технологического режима эксплуатации ПМ, возникающих как по отдельности, так и совместно [7-10], основанные на соотношении спектральных составляющих гармоник частоты вращения вала.

В конце 2006 г. система КОМПАКС[®] осуществляла мониторинг технического состояния более 35 ПК на нефтегазоперерабатывающих заводах в городах Ангарске, Астрахани, Ачинске, Бургасе, Волгограде, Омске, Саратове, Сызрани и др. Под контролем системы эксплуатируется как компрессоры отечественного производства - на оппозитной базе марок: 4М16М-45/35-55, 4ГМ16М-45/17-37, 2ГМ16-20/42-60, 2М10-11/42-60; 5Г-600/42-60; 205ВП-16/70; 305ВП-16/70 и др., так и импортные - ВДСВ-30/30/20/20 (Worthington), 4HF/2 серии HF (Nuovo Pignone), 2TV2 (Neuman & Esser).

В результате проведенных исследований параметров ВА сигналов и их трендов определены нормативные значения СКЗ и амплитуд вибропараметров при заданном уровне вероятности для различных мест установки датчиков, в которых контролируется состояние различных узлов компрессора. Разработаны алгоритмы выделения огибающей ВА сигналов, их анализа во временной и частотной областях, сформированы критерии оценки состояния узлов и протекания технологического режима работы ПМ.

Литература:

1. ISO 10816-6:1995 Mechanical vibration. Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts. Part 6. Reciprocating machines with power ratings above 100 kW.

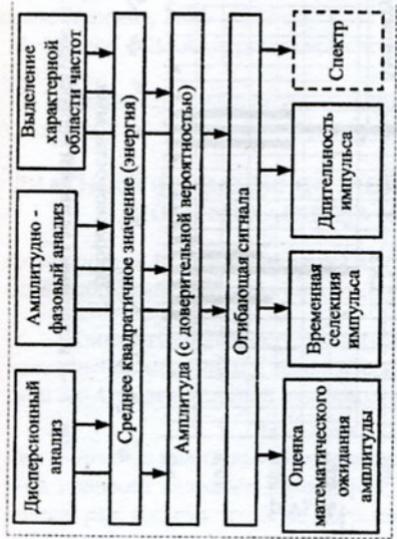


Рис. 1. Методы анализа ВА сигнала

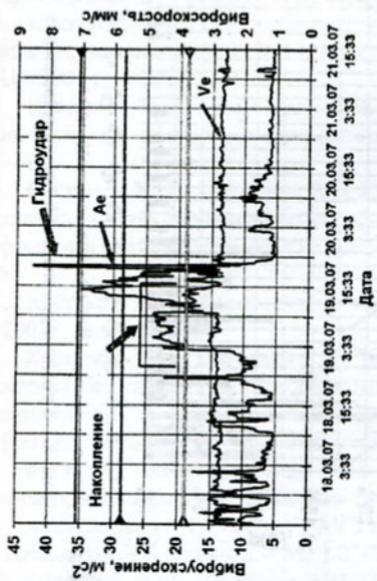


Рис. 2. Тренды вибропараметров, отражающие их ортогональность

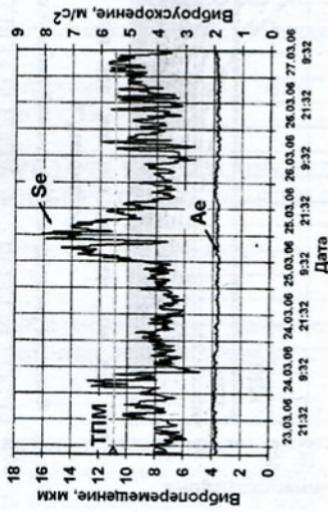


Рис. 3. Тренды виброскорения и виброперемещения подтверждают их ортогональность

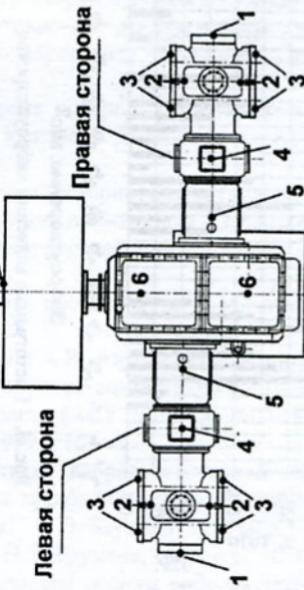


Рис. 4. Места установки датчиков

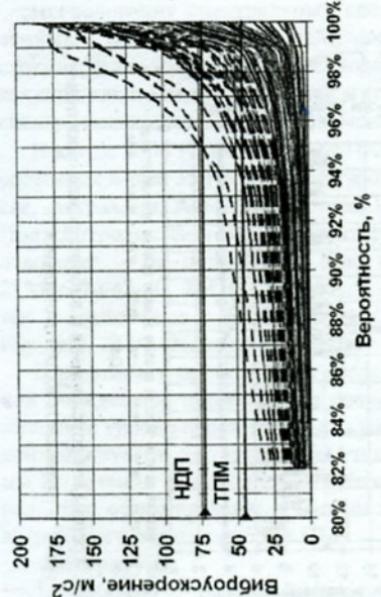


Рис. 5. – Функция распределения значений вибрускорения

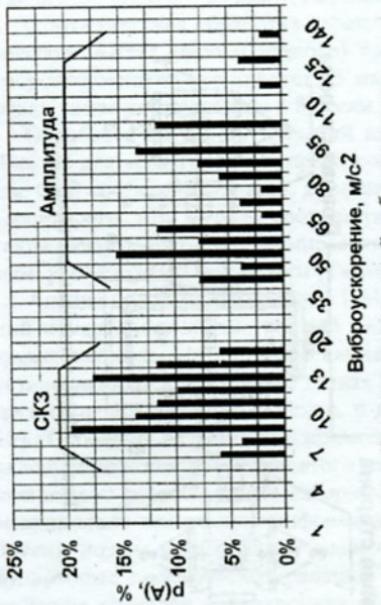


Рис. 6. – Гистограмма значений вибрускорения

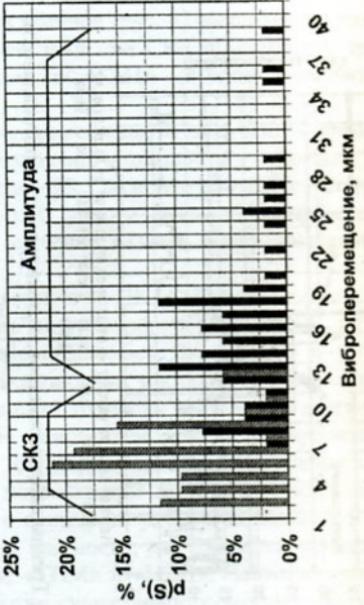


Рис. 7. – Гистограмма значений виброкорости

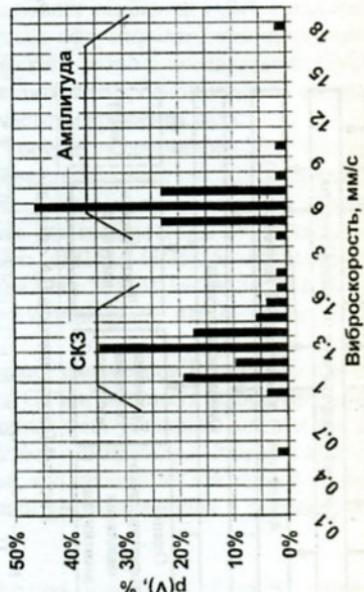


Рис. 8. – Гистограмма значений виброподвешивания

2. Диагностика автотракторных двигателей. / Под ред. Н.С. Ждановского. Изд. 2-е, перераб. и доп. - Л.: Колос, 1977. - 264 с.
3. ДСТУ 3162-95 Компрессорное оборудование. Определение вибрационных характеристик малых и средних поршневых компрессоров и нормы вибрации.
4. Костюков В.Н., Науменко А.П. Нормативно-методическое обеспечение мониторинга технического состояния поршневых компрессоров // Контроль. Диагностика. - №11 - 2005 г. - С. 20-23
5. Костюков В.Н., Науменко А.П. Система контроля технического состояния машин возвратно-поступательного действия // Контроль. Диагностика. - № 3, 2007 г. - С. 50-59
6. Костюков В.Н., Науменко А.П. Система мониторинга технического состояния поршневых компрессоров нефтеперерабатывающих производств // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. - №10. - 2006. - С. 38-48.
7. Костюков В.Н. Мониторинг безопасности производства. - М.: Машиностроение, 2002. - С. 93-103.
8. Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Костюков А.В. Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств (АСУ БЭР - КОМПАКС®) / Под ред. В.Н. Костюкова. - М.: Машиностроение, 1999. - 163 с.
9. Костюков В.Н., Науменко А.П. Практика виброакустической диагностики поршневых машин (статья) // Сборник научных трудов по проблемам двигателестроения, посвященный 175-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана // Под редакцией Н.А. Иващенко, Л.В. Грехова. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. - С. 30-35
10. Костюков В.Н., Науменко А.П. Практические основы виброакустической диагностики машинного оборудования: Учеб. пособие / Под ред. В.Н. Костюкова. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2002. - 108 с.
11. Луканин В.Н. Шум автотракторных двигателей внутреннего сгорания. - М.: Машиностроение, 1971. - 272 с.
12. Павлов Б.В. Акустическая диагностика механизмов. - М.: Машиностроение, 1971. - 224 с.
13. Техническая эксплуатация машино-тракторного парка / В.А. Аллилуев, Д.А. Ананьев, В.М. Михлин. - М.: Агропромиздат, 1991. - 367с.

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЦЕПНОЙ ПЕРЕДАЧИ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА МАЛООБОРОТНОГО ДИЗЕЛЯ

Соболенко А.Н., Корнейчук Ю.А. (Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет)

Кинематической погрешностью цепной передачи $\epsilon_{\text{кцп}}$ называют разность между действительным и теоретическим перемещениями ведомой звездочки передачи по дуге делительной окружности

$$\epsilon_{\text{кцп}} = (\phi_2 - \phi_1) \cdot r, \quad (1)$$

где: r - радиус делительной окружности ведомого колеса, м; ϕ_2 - действительный угол поворота ведомого колеса, рад; ϕ_1 - номинальный угол поворота ведомого колеса, рад. Кинематическую погрешность цепной передачи двухтактного дизельного двигателя можно упрощенно представить угловыми смещениями ведомого вала по отношению к равномерно врачающемуся ведущему валу.



Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана

Кафедра «Поршневые двигатели»



Сборник научных трудов
по материалам Международной конференции
Двигатель-2007, посвященной
100-летию школы двигателестроения
МГТУ им. Н.Э. Баумана

УДК 621.43

ББК 31.365

Сборник научных трудов по материалам Международной конференции Двигатель-2007, посвященной 100-летию школы двигателестроения МГТУ им. Н.Э. Баумана // Под редакцией Н.А. Иващенко, В.Н. Костюкова, А.П. Науменко, Л.В. Грехова – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 572 с.

Сборник сформирован на базе наиболее успешных докладов по проблемам двигателестроения Международной конференции Двигатель-2007, посвященной 100-летию школы двигателестроения МГТУ им. Н.Э. Баумана, проводившейся 19-21 сентября 2007 г. в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана. Статьи посвящены исследованиям в области теории двигателей, рабочих процессов, их конструированию, диагностики и эксплуатации, газовой динамики, наддуву, топливной аппаратуры и управления, проблемам применения альтернативных топливах. В сборник собрана 131 статья по актуальным темам двигателестроения.

Материалы сборника адресованы специалистам в области проектирования, исследования и эксплуатации поршневых и комбинированных двигателей, студентам и аспирантам.

Авторы благодарны НПЦ “Динамика” за оказание спонсорской помощи в издании этого сборника.

ISBN 5-7038-1452-9

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007

Подписано в печать 10.07.2007 г.

Исполнено 17.07.2007

Печать трафаретная

Заказ № 590

Тираж: 250 экз.

Типография «11-й ФОРМАТ»

ИНН 7726330900

115230, Москва, Варшавское ш., 36

(495) 975-78-56

www.autoreferat.ru

Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана

**Сборник научных трудов по
материалам международной
конференции Двигатель-2007,
посвященной 100-летию
школы двигателестроения
МГТУ им. Н.Э. Баумана**

Под редакцией Н.А. Иващенко, В.Н. Костюкова, А.П. Науменко,
Л.В. Грехова

Москва
2007

судовых дизелей	420
Картошкин А.П., Манджиев С.Т. Экологическая опасность сброса отработанных моторных масел.	424
Чесноков С.А., Потапов С.А., Тишин С.А. Химический турбулентный тепломассообмен в ДВС	428
7. ГАЗОВАЯ ДИНАМИКА, ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЕ, НАДДУВ	
Галышев Ю.В., Сидоров А.А., Пономарев А.С. Улучшение характеристик двигателя ВАЗ-2112 с помощью наддува приводным компрессором центробежного типа	433
Гришин Ю.А. Методика расчета течения в безлопаточном направляющем аппарате радиально-осевой турбины	435
Гришин Ю.А., Зенкин В.А., Кулешов А.С. Определение коэффициента расхода впускных окон двухтактного двигателя с помощью пространственного моделирования	437
Гришин Ю.А. Расчет отрывных потерь в решетках осевых турбин	442
Гришин Ю.А. Определение отрывных потерь в рабочих колесах радиально-осевых турбин	446
Гришин Ю.А. К расчету характеристик колеса центробежного компрессора с определением границы помпажа	450
Дидов В.В., Сергеев В.Д. Газотурбинная установка замкнутого цикла на базе систем «двигатель-генератор»	455
Епифанов Д.В. Методика управления РСА ТКР с целью получения требуемой ВХХ автомобильного дизельного двигателя удовлетворяющей современным экологическим и экономическим требованиям	459
Лобов Н.В., Кус Н.Н. Исследование неравномерности рабочего процесса двухтактного бензинового двигателя с помощью трёхмерной газодинамической модели	462
Черноусов А.А. Расчетная оптимизация размеров выпускного тракта ПуВРД	465
Гришин Ю.А. Расчет разветвления трубопроводов	470
Тишин С.А., Потапов С.А. Применение к-е модели турбулентности для изучения горения в ДВС	473
Боровиков А.В., Потемкина Т.В., Симонов А.М. Инновационная методика проектирования проточной части компрессора турбонаддува транспортного дизеля.	477
Адамия Р.Ш., Манджавидзе А.А., Натриашвили Т.М. Расчёт рациональных геометрических параметров впускных и выпускных каналов двигателей внутреннего сгорания	480
Киселёв Б.А. Математическое моделирование рабочего цикла и газообмена для ускорения разработки и совершенствования автомобильных ДВС	484
Клима Й., Вавра Р. Технические возможности современных турбокомпрессоров с радиальной турбиной	489
8. ДИАГНОСТИКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ	
Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Костюков А.В. Классификация систем мониторинга технического состояния оборудования	495
Костюков А.В., Костюков В.Н. Ортогональность сигналов виброускорения, виброскорости и виброперемещения в задачах	

вибродиагностики	500
Заяц Ю.А., Вереютин А.Ю. Оценка технического состояния приборов системы питания двигателей с впрыскиванием бензина	506
Костюков В.Н., Костюков А.В. Ранговый метод диагностики качества машин	510
Науменко А.П. Исследование виброакустических параметров поршневых машин	518
Соболенко А.Н., Корнейчук Ю.А. Диагностирование цепной передачи газораспределительного механизма малооборотного дизеля	525
Надежкин А.В., Безвербный А.В. Диагностирование дизельных двигателей по параметрам продуктов износа в работающем моторном масле	529
Обозов А.А. Методология статистической теории распознавания образов (СТРО) при алгоритмизации систем технической диагностики дизелей	534
Покусаев М.Н., Юницкий В.А. Современные методы и средства контроля крутильных колебаний в СЭУ	539
Покусаев М.Н., Сибяев К.О., Юницкий В.А. Анализ крутильных колебаний измерительным комплексом «Astech Electronics» в судовых валопроводах при использовании маховиков–демпферов	542
Лашко В.А. Коньков А.Ю. Идентификация технического состояния дизеля по индикаторной диаграмме с учетом особенностей эксперимента в условиях эксплуатации	547
Митяков А.В., Митяков В.Ю., Сапожников С.З. Градиентная теплометрия в ДВС: возможности и перспективы	551
Габитов И.И., Неговора А.В. Технический сервис топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых дизелей	556
Неговора А.В., Байрамов Р.А., Гусев Д.А. Повышение пусковых качеств ДВС оптимизацией средств тепловой подготовки	560
9. МЕТОДИЧЕСКАЯ СЕКЦИЯ	
Гоц А.Н., Эфрос В.В. О подготовке специалистов по двигателям внутреннего сгорания	564
Вальехо Мальдонадо П.Р., Гришин Д.К. Автоматизированное проектирование в учебном процессе с использованием средств Mathcad и Autolisp	567
Еникеев Р.Д., Никитин Р.В. Функционально-целевая технология подготовки специалистов по ДВС. Опыт применения и перспективы	570