

## МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИЛОВЫХ МОДУЛЕЙ НА ОСНОВЕ CALS/ИПИ ТЕХНОЛОГИЙ

*Е.А. Задорожная, д.т.н., профессор кафедры ЮУрГУ (НИУ), г. Челябинск,  
А.П. Маслов, к.т.н., главный специалист ГСКБД ООО «ЧТЗ-УРАЛТРАК», г. Челябинск,  
М.В. Левцов, студент, ЮУрГУ (НИУ), г. Челябинск*

В статье описывается методология создания единого информационного пространства для создания силовых модулей. Представленная архитектура информационного пространства может быть использована для разработки конструкций различных типов двигателей с учетом конкретных производственных требований и условий эксплуатации. Внедрение предлагаемой системы позволит проанализировать положительные и отрицательные аспекты развития на этапе проектирования и строительства и оперативно вносить изменения в конструкцию с учетом новых требований. Это позволит значительно снизить стоимость производства новых продуктов, быстро отреагировать на изменения рынка и потребности клиентов, а также создавать конкурентоспособные силовые модули с широким участием отечественных специалистов.

Приведен пример оптимизации конструкции шатуна W-двигателя для достижения идентичности кинематики поршней в цилиндрах с главным и прицепным шатуном.

### Введение

CALS-технологии являются современным средством, которое объединяет промышленные автоматизированные системы в единую многофункциональную систему. Цель такого объединения автоматизированных систем проектирования и управления — повышение эффективности создания и использования сложной техники [1, 2].

Повышение эффективности сложной техники достигаются применением современных CALS-технологий и выражается в следующем.

1. Повышается качество изделий за счет более полного учета имеющейся информации при проектировании и принятии управленческих решений;

2. Сокращаются материальные и временные затраты на проектирование и изготовление продукции;



3. Существенно снижаются затраты на эксплуатацию благодаря реализации функций интегрированной логистической поддержки.

Информационное обеспечение составляют базы данных, включающие сведения о промышленных изделиях, используемые разными системами в процессе проектирования, производства, эксплуатации и утилизации продукции. В состав информационного обеспечения входят также серии международных и национальных CALS стандартов и спецификаций.

Программное обеспечение CALS представлено программными комплексами, предназначенными для поддержки единого информационного пространства этапов жизненного цикла изделий. Это, прежде всего, системы управления документами и документооборотом, системы управления проектными данными, средства разработки интерактивных электронных технических руководств и некоторые другие.

Математическое обеспечение CALS включает методы и алгоритмы создания и использования моделей взаимодействия различных систем в CALS-технологиях. Среди этих методов в первую очередь следует назвать методы имитационного моделирования сложных систем, методы планирования процессов и распределения ресурсов.

Методическое обеспечение CALS представлено методиками выполнения таких процессов, как параллельное проектирование и производство, структурирование сложных объектов, их функциональное и информационное моделирование, объектно-ориентированное проектирование.

CALS-технологии получили широкое распространение в различных отраслях промышленности развитых стран [3–6]. Это способствовало повышению производительности труда и качества выпускаемой продукции. В настоящее время в России существует метод информационной поддержки жизненного цикла изделий (ИПИ). Этот метод успешно применяется в авиации и космонавтике благодаря высокому уровню компьютеризации и оборудования этих отраслей [7–11]. В работе Сазонова А.А. и др. [7] представлены результаты технико-экономического анализа внедрения CALS-технологии в структуру жизненного цикла изделий авиационной промышленности. По итогам проведенного анализа авторы сформулировали организационно-экономические проблемы внедрения CALS-технологий в отечественной авиационной промышленности и предложили стратегию современной организации процесса производства.

В последние несколько лет CALS/IPI-технологии начали применяться в оборонно-промышленном комплексе России [12]. Это связано с проявлением тенденции снижения качества и конкурентоспособности продукции военного назначения, поставляемой на экспорт. Решение проблемы обеспечения качества и конкурентоспособности требует тщательного планирования и скоординированной реализации комплекса мероприятий, направленных на повышение конкурентоспособности экспортируемой продукции.

К сожалению, в других отраслях использование CALS/IPI-технологий пока не получило широкого распространения. В том числе формирование информационного пространства для создания силовых модулей различного назначения на примере двигателей внутреннего сгорания требует повышенного внимания и развития.

#### **Основные подходы по созданию виртуального облика двигателя**

Основные подходы в реализации задачи по формированию информационного пространства для тепловых двигателей были представлены в работах авторов [13–16]. Некоторые из указанных подходов получили свое подтверждение в работе Суханова В.О. [10].

Выбор геометрических размеров основных компонентов двигателя обычно осуществляется на основе маркетинговых исследований, сравнительного анализа и выбора прототипа, отвечающего основным техническим и эксплуатационным требованиям. Довольно часто этот выбор продиктован субъективным мнением дизайнеров, направленным на получение требуемого уровня мощности, обеспечивающим минимальные потери на трение и издержки производства. В то же время важным фактором является оценка

возможности производства, основанная на субъективном мнении технологов и производственных рабочих. В статье Маслова А.П. и др. [15] была предложена методология формирования геометрических размеров основных компонентов двигателя на основе вычислительных и теоретических методов, объединенных в информационное пространство.

Основные технические решения, направленные на повышение литровой мощности двигателя, представлены в [16]. Оценка эффективности представленных технических решений базируется на виртуальной тестовой системе, использующей CALS/IPI-технологии.

Технологические аспекты формирования облика теплового двигателя были представлены в работах [2, 17–21].

В качестве программного обеспечения Т.И. Тергулов и А.А. Черноусов предлагают использовать пакет программ ALLBEA [22]. В работе обсуждается организация расчетов на ЭВМ процессов в ДВС как многоэтапных проектов в контексте расчетно-экспериментальной методологии. Параметрический анализ или синтез объекта является задачей крупных этапов таких проектов. В этой связи отмечается важность автоматизации расчетных работ теми или иными программными средствами. На примере расчетного анализа и оптимизации процессов газообмена дизеля 12ЧН15/18 показано использование моделей элементов тракта и вспомогательных средств из пакета программ ALLBEA в расчетном проекте.

Базовые принципы при проектировании конструкции двигателя ориентированы на формирование концепции информационного пространства. Реализация этих принципов определяют порядок выполнения расчетных, конструкторских, технологических и производственных работ на основе сквозного проектирования. При этом обратная связь должна быть обеспечена. Указанные работы могут быть выполнены в непрерывном развитии следующих направлений:

- технологии управления производством (MES-системы);
- системы планирования ресурсов всего жизненного цикла продукции (SCM-системы);
- технологии «бережливого производства» (LEAN-технологии), промышленной кооперации и субконтракции.

Алгоритм для формирования информационного пространства по созданию виртуального облика двигателя может быть построен следующим образом.

1. Сформировать базу расчетных комплексов для работы в едином информационном пространстве с указанием допущений. При этом

входные и выходные параметры, методы интеграции с другими программными продуктами должны быть описаны;

2. Сформировать построение математического ядра программного комплекса единого информационного пространства;

3. Разработать электронную модель геометрического облика, теплового и напряженно-деформированного состояния, кинематики и динамики элементов двигателя с оценкой его ресурсных параметров;

4. Подготовить и выполнить виртуальные испытания с имитацией полного спектра режимных и эксплуатационных параметров его работы;

5. Выполнить анализ критических состояний элементов двигателя по результатам виртуальных испытаний с оценкой критических режимов испытаний и условий эксплуатации. Внести соответствующие изменения в конструкцию с последующим выполнением всего комплекса работ и принятия окончательного конструкторского решения;

6. Выполнить технологическую оценку конструкции двигателя за счет отработки технологических схем, параметров инструментов и технологического оборудования на основе использования MES или ERP систем (систем организации и управления производством).

Реализация предлагаемой системы позволит на стадии проектирования и формирования конструкции осуществить анализ положительных и отрицательных аспектов разработки и оперативно вносить изменения в конструкцию с учетом новых требований. Это также позволит существенно снизить затраты на изготовление новой продукции, оперативно реагировать на изменения рынка и потребности заказчиков.

На рис. 1–3 представлена структура формирования облика двигателя с использованием модулей CAE, CAD, CAM, которые могут быть использованы в следующем качестве:

➤ CAE-модуль используется для составления расчетов модели и построения графиков;

➤ CAD-модуль используется для создания 3D-модели и создания ассоциативных чертежей и спецификаций;

➤ CAM-модуль используется для написания программ обработки модели на станке с числовым программным обеспечением.

Во всем мире унифицированные языковые средства для представления используемой информации бурно развиваются при отсутствии формализованных методов решения некоторых задач компьютеризованного интегрированного производства [23]. Широко известна методология SADT, послужившая основой для создания языка представления данных EXPRESS. Все большее

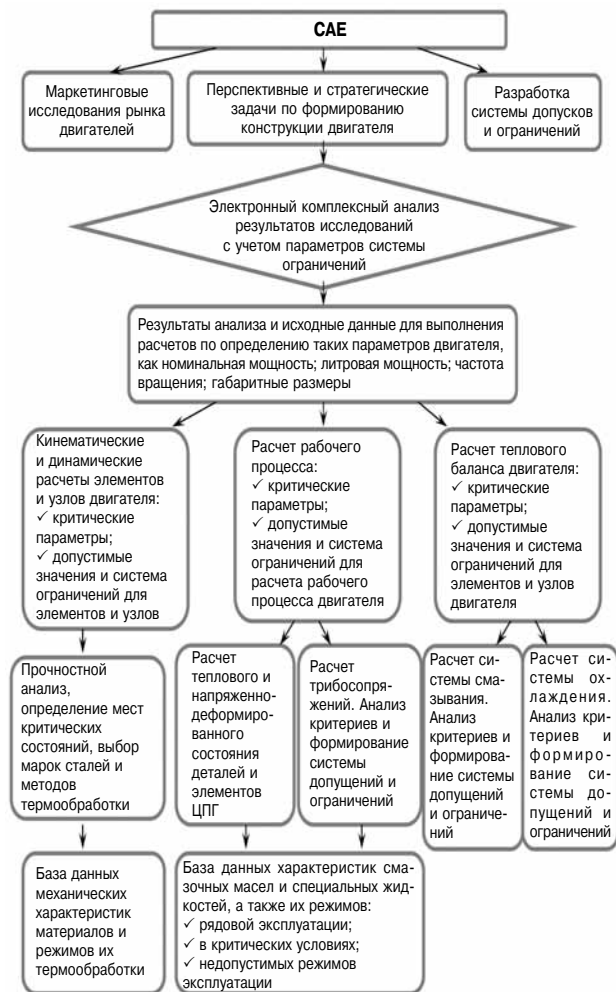


Рис. 1. Структурная схема системы CAE

распространение получает унифицированный язык моделирования UML, использующий методологию объектно-ориентированного программирования и в большей мере отражающий специфику смыслового описания процессов функционирования сложных систем. Несмотря на создание указанных средств, проблема разработки методов математического моделирования в области CALS-технологий остается весьма актуальной.

В настоящей работе применение расчетных методов в рамках CALS/ИПИ технологий было выполнено с использованием программного продукта Creo Parametric [24].

В рамках CAE выполняются инженерные расчеты, анализ теплового и напряженно-деформированного состояния, оптимизация геометрических параметров и уровня тепловой и силовой нагруженности с последующим моделированием облика разрабатываемой детали, узла, двигателя.

В рамках CAM выполняются работы по разработке технологических процессов, их синтеза в управляющие программы для технологической



Рис. 2. Структурная схема системы CAD



Рис. 3. Структурная схема САМ

обработки на оборудовании с числовым программным обеспечением.

В рамках логистики CAE, CAD, CAM можно осуществлять сквозное проектирование с использованием принципов MES систем, направленных на решение оперативных задач управления проектированием и создания двигателя. Так же при работе с этими модулями в одном программном продукте имеется возможность визуально оценить все недочеты и возможные ошибки. Виртуальные испытания опытного образца проводят для возможного исправления, корректировки модели и программы обработки узлов сборки.

#### Применение CALS-технологий для решения задач проектирования элементов теплового двигателя

Авторы книги «Семейство двигателей W Программа самообучения 248 (устройство и принцип работы)» [25] отметили, что двигатели такого типа отличаются новым подходом к конструированию автомобильных силовых установок, отличительной особенностью которых является большое количество цилиндров. При этом такие двигатели характеризуются крайне небольшими

размерами. Новые двигатели W8 и W12 концерна «Фольксваген» входят в новое поколение автомобильных двигателей семейства W.

Конструктивная особенность двигателя W заключается в том, что расположение цилиндров может быть представлена как сдвоенное V. Принципиальная компоновка такого двигателя представлена на рис. 4.

На первом этапе, используя модуль САПР, была создана трехмерная тестовая модель W-образного поршневого двигателя с прицепными поршнями. Результат моделирования показан на рис. 5.

Данная модель была открыта в САЕ-модуле для проведения кинематического анализа (в тестовой модели были взяты 2 главных и 2 прицепных шатуна, находящихся на одной шейке).

Кинематика поршня была получена в результате расчета (рис. 6). Из графика видно, что ход поршня в цилиндрах с прицепным шатуном меньше, чем в цилиндрах с главным шатуном.

Было принято решение изменить 3D модель главного и прицепного шатуна для корректировки хода прицепного шатуна в соответствии с ходом главного. Для этого был использован CAD-модуль программного обеспечения, в котором происходит разработка данного двигателя.

В результате корректировки геометрических параметров главного и прицепного шатунов



Рис. 4. Принципиальная компоновка двигателя W

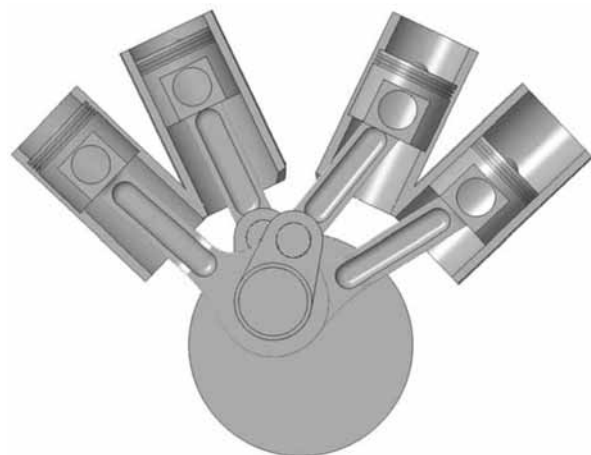
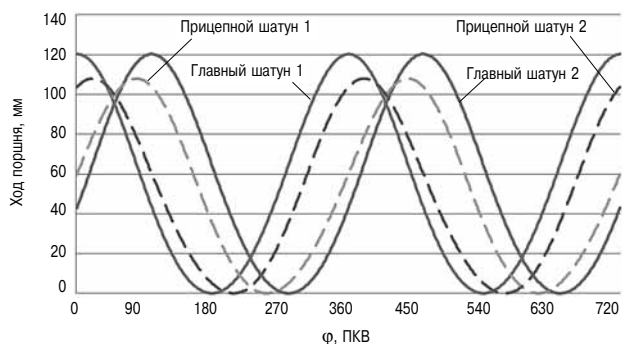
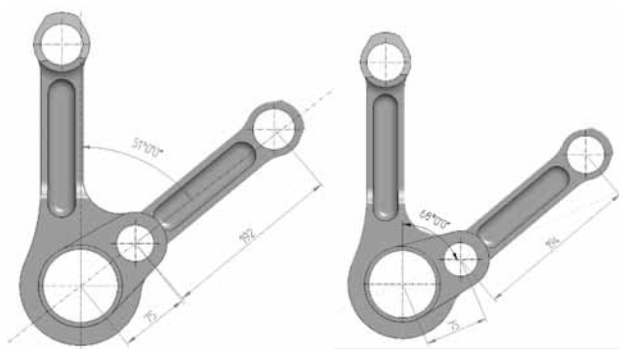


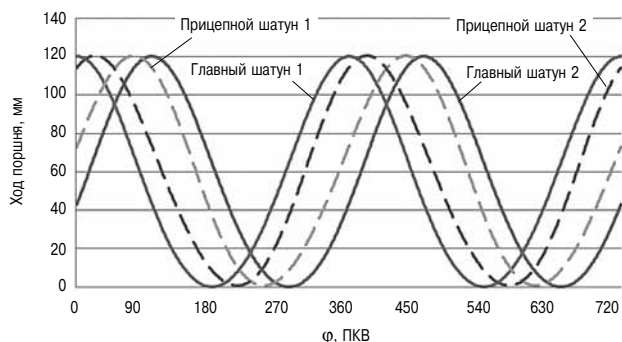
Рис. 5. Схема кривошипно-шатунного механизма с прицепными шатунами



**Рис. 6. Кинематика движения поршней, первоначальный вариант**



**Рис. 7. Конструктивные изменения главного и прицепного шатунов**



**Рис. 8. Кинематика движения поршней, окончательный вариант**

угол расположения отверстия относительно оси шатунной шейки главного цилиндра был изменен (с  $51$  до  $68^\circ$ ). Также межосевое расстояние прицепного шатуна было увеличено (с  $192$  до  $194$  мм). Это позволило обеспечить одинаковый ход поршня у главного и прицепного шатунов (рис. 7, 8).

На данном примере можно отследить связанную работу CAD и CAE-модулей. Использование этих модулей в одном программном продукте способствует наименьшей потере данных, наглядности и быстрдействию при необходимой корректировке. Дальнейшее исследование кинематики и динамики данной конструкции может быть проанализировано в со-

ответствии с результатами анализа уравнивания двигателя, представленного в работе В.В. Гусарова и Ф.В. Автаева [20].

После внесения изменений и согласования всех чертежей технологическая карта и программа обработки деталей для станков с числовым программным обеспечением в САМ-модуле, опираясь на ассоциативную 3D модель, может быть составлена. Это способствует взаимосвязанной работе конструктора, расчетчика, технолога и программиста станков с числовым программным обеспечением.

#### **Заключение**

В статье рассмотрены возможности и методика создания единого информационного пространства для создания силовых модулей. Предложена схема взаимодействия различных организаций в рамках заданного пространства. Представленная архитектура информационного пространства может быть использована при разработке конструкций двигателей различных типов с учетом конкретных производственных требований и условий эксплуатации.

На примере кинематического анализа работы W-двигателя с прицепными шатунами выполнена предварительная оценка влияния геометрических размеров деталей и их соотношений на кинематику двигателя.

Результаты показали, что использование инструмента CALS/ИПИ-технологий (Creo Parametric) позволяет выполнить анализ конструктивных изменений, конструкторско-технологические и производственные операции с оценкой технологичности и возможностей производства.

Представленная архитектура информационного пространства может быть использована при разработке конструкций двигателей различных типов с учетом конкретных производственных требований и условий эксплуатации. Внедрение предлагаемой системы позволит проанализировать положительные и отрицательные стороны разработки на стадии проектирования и строительства и оперативно вносить изменения в проект с учетом новых требований. Это позволит значительно снизить себестоимость изготовления новой продукции, оперативно реагировать на изменения рынка и потребности заказчиков, а также создавать конкурентоспособные силовые модули с широким участием отечественных специалистов.

#### **Литература**

1. Imaoka Z. Understand Supply Chain Management through 100 words. Published by KOUGYOU-CHOUSAKAI, 2012 [Online]. <http://www.leanmanufacturing-japan.com/scm-terminology/push-pull-manufacturing.html>

2. *Норенков И.П., Кузьмик П.К.* Информационная поддержка наукоемких изделий (CALS-технологии). — М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. — 320 с. [http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=Default/110\\_CALS.cou](http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=Default/110_CALS.cou)
3. *Chiang P.H., Torg C.C.* Development of total logistics support management information system and its applications to the aerospace industry // *International Journal of Industrial and Systems Engineering*. 2006. Vol. 23, № 4, pp. 482–499.
4. *Whiteside A., Shehab E., Beadle C., Percival M.* Developing a current capability design for manufacture framework in the aerospace industry // *Proceedings of the 19th CIRP Design Conference «Competitive Design»*. 2014, pp. 223–228.
5. *Swift K.G., Brown N.J.* Implementation strategies for design for manufacture methodologies // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. 2003. Vol. 217, № 6, pp. 827–833.
6. *Mase T.* Vehicle CALS — A big challenge to virtual development // *Proceedings of the International Working Conference on the Design of Information Infrastructure Systems for Manufacturing (DIISM '96)*. 1996, pp. 3–10.
7. *Сазонов А.А., Джамай В.В., Повекевичных С.А.* Анализ эффективности внедрения CALS-технологий (на примере отечественного авиастроения) // *Организатор производства*. — 2018. — Т. 26. — № 1. С. 84–92.
8. *Бендиков М.А., Клочков В.В.* Экономические аспекты внедрения CALS-технологий в авиационной промышленности // *Прикладная информатика*. — 2010. — № 1 (25). — С. 21–34.
9. *Вольсков Д.Г.* Сертификация компонентов воздушных судов в методологии CALS-технологий // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. — 2014. — Т. 16, № 6 (2). — С. 406–411.
10. *Суханов В.О., Кукарцев В.В.* Актуальность применения CALS-технологий на машиностроительных предприятиях России // *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. — Красноярск: Изд.-во СГАУ имени М.Ф. Решетнева, 2011. — Т. 1, № 7. — С. 466–467.
11. *Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение* / Под ред. А.Г. Братухина. — М. : ОАО «НИЦ АСК», 2008. — 608 с.
12. Концепция развития ИПИ технологий для продукции военного назначения, поставляемой на экспорт / А.А. Суханов, О.Н. Рязанцев, С.А. Артизов, А.Н. Бриндииков, Н.И. Незаленов, А.В. Карташев, П.М. Елизаров, Е.В. Судов. — М. : НИЦ CALS «Прикладная логистика», 2013.
13. *Маслов А.П., Бирюк В.В.* Как нам преобразовать тракторное двигателестроение // *Двигателестроение*. — 2010. — № 4. — С. 35–38.
14. *Маслов А.П.* Формирование информационного пространства по созданию силовых модулей на основе САКС/ИПИ технологий // *Двигателестроение*. — 2013. — № 2 (252). — С. 33–36.
15. *Маслов А.П., Задорожная Е.А., Еникеев Р.Д., Черноусов А.А.* Информационное пространство для определения геометрических размеров базовых деталей двигателя // *Двигателестроение*. — 2013. — № 4. — С. 31–36.
16. *Задорожная Е.А., Маслов А.П.* Разработка элементов дизельного двигателя повышенной мощности на основе применения системы виртуальных испытаний // *Двигателестроение*. — 2014. — № 1. — С. 36–40.
17. *Судов Е.В., Левин А.И.* Концепция развития CALS технологий в промышленности России. — М. : НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», 2002. — 102 с.
18. *Бирюк В.В., Каюков С.С. и др.* Методика прогнозирования качества распыливания топлива форсункой на основе CALS/ИПИ-технологий // *Двигателестроение*. — 2015. — № 2 (260). — С. 15–19.
19. *Пестрецов С.И.* CALS-технологии в машиностроении: основы работы в CAD/CAE-системах. — Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. — 104 с.
20. *Гусаров В.В., Автаев Ф.В.* Уравновешивание двигателей типа W8 // *Двигателестроение*. — 2015. — № 1. — С. 7–13.
21. *Зрелов В.А., Коротков В.А., Проданов М.Е. и др.* Организация информационного взаимодействия участников жизненного цикла изделия на этапе послепродажного обслуживания // *Инновации. Технологии. Производство*. — 2015. — С. 110–114.
22. *Терегулов Т.И., Черноусов А.А.* Программный пакет ALLBEA: расчетный анализ и синтез характеристик газообмена дизеля с турбонаддувом // *Двигателестроение*. — 2013. — № 3. — С. 28–32.
23. *Павлов В.В.* Структурное моделирование в CALS-технологиях. — М. : Наука, 2006. — 307 с.
24. *Беккель Л.С., Сломинская Е.Н.* Анализ возможностей CREO PARAMETRIC // *Международный научный журнал «Инновационная наука»*. — 2016. — № 9. — С. 47–50.
25. Программа самообучения 248. Семейство двигателей W. Устройство и принцип действия [Электронный ресурс] [https://www.autodela.ru/assets/files/books/VW/248\\_W-dvig\\_W8\\_W12\\_Volkswagen.pdf](https://www.autodela.ru/assets/files/books/VW/248_W-dvig_W8_W12_Volkswagen.pdf)