

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ МОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ЧУГУННЫХ ПОРШНЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Пуляев А. А., Орендарчук Ю. В., Акимов О. В., Пензев П. С., Мариненко Д. В., Марченко А. П.

1. Введение

При создании современных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и повышении качественных показателей существующих особое внимание уделяется конструкторско-технологической подготовке производства их деталей, прежде всего поршней, которые из всех деталей двигателя работают в наиболее сложных условиях. Именно поршни определяют надежность и ресурс двигателя в целом.

Достижения в области производства отливок из высокопрочного чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом в последние десятилетия, вызывают повышенное внимание и интерес к чугуну, как материалу для высоконагруженных деталей дизельных двигателей внутреннего сгорания. В конце 80-х годов прошлого столетия совместными исследованиями кафедр двигателей внутреннего сгорания и литейного производства Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» (Украина) проводились научно-исследовательские работы по использованию чугуна для поршней перспективных дизельных двигателей. В результате этих исследований были разработаны и изготовлены тонкостенные монолитные и составные поршни из ЧВГ.

Традиционно эти работы выполнялись последовательно от разработки конструкции поршня до проектирования технологии его производства. В настоящее время проектирование и производство двигателей внутреннего сгорания невозможно без учета технологических аспектов изготовления деталей и узлов двигателя. Это может обеспечить современный технический уровень конструкторско-технологического проектирования ДВС и является обоснованием актуальности исследований, проводимых в данном направлении.

2. Объект исследования и его технологический аудит

Объектом исследования является процесс конструкторско-технологической подготовки изготовления литых поршней ДВС. Характерной особенностью данного объекта является сложность учета взаимосвязей отдельных элементов проектирования и технологии изготовления литых поршней ДВС. Для выявления этих взаимосвязей был проведен технологический аудит типового процесса проектирования с использованием экспертных оценок, имеющий целью выявление существенных факторов, определяющих узкие места системы проектирования. Обоснование такого подхода состоит в том, что фактически единого мнения относительно приоритетности того или иного элемента в проектировании не существует. Конструкторская часть, базирующаяся на использовании фундаментальных принципов проектирования из области сопро-

тивления материалов, динамики и прочности машин, теплопередачи и т. п., не учитывает особенности технологии изготовления. При этом, как показывает практика, конструкторская сторона не учитывает реальные возможности, обеспечиваемые существующим уровнем оборудования и технологий. С другой стороны, технологическая сторона проекта базируется на своих реальных возможностях и не всегда обеспечивает возможность реализации конструкторских идей в полной мере. Это приводит к тому, что эксплуатационные показатели готовых литых деталей оказываются существенно отличающимися от проектных. Естественно предположить, что правильная и обоснованная взаимосвязь всех элементов конструкторско-технологической подготовки производства литых поршней ДВС является обязательной для получения качественных и конкурентоспособных деталей.

3. Цель и задачи исследования

Цель исследования является разработка структуры системы организации модульного проектирования чугунных поршней ДВС.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ потенциально важных взаимосвязей в структуре конструкторско-технологической подготовки производства литых поршней.
2. Провести компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния монолитных чугунных поршней как примера формирования одного из компонентов процесса проектирования.

4. Исследование существующих решений проблемы

Как свидетельствует практика ведущих мировых конструкторских бюро, технологические аспекты обязательно учитываются при разработке и применении САПР ДВС. В работе [1] рассматривали автоматизированную систему проектирования как комплекс, в котором интегрируются все сферы деятельности фирмы – от учета спроса рынка, через проектирование и производство, до распределения продукции заказчикам.

Поршни современных ДВС представляют собой многоэлементную конструкцию, в которой каждый элемент выполняет свою функцию. Следует отметить, что различие требований и условий эксплуатации поршней приводит к множеству их конструктивных решений. Кроме того, поршни отличаются материалом и технологией производства. Совместное решение всех этих, иногда противоречивых, задач в одной конструкции не всегда возможно, поэтому на всех этапах его создания необходимо сохранять неразрывную связь между конструкторскими и технологическими разработками с целью получения оптимальной конструкции поршня и обеспечения технологичности его изготовления. Для решения задач подобной сложности еще с 2000 года используется модульная технология проектирования и изготовления деталей машин [2].

К настоящему времени в связи с ростом уровня конструкторско-технологических разработок значительно возросли и требования, предъявляемые к конструкциям поршней и их материалу [3]. Поэтому, для дальнейшего совершенствования конструктивных и технологических параметров чугунных поршней

необходимо использовать современные методы математического моделирования.

Для обеспечения заданного уровня качества продукции, при уменьшении затрат на проектирование, в работе [6] рассмотрено решение задачи по определению напряженно-деформированного состояния поршня на основе решения обратной задачи, которое позволяет уточнить граничные условия при проведении численного эксперимента. Кроме этого, предложена двухуровневая расчетная модель поршня с обоснованием принятых граничных условий и методика определения достаточного уровня сложности расчетной модели для предварительного и окончательного расчетов. Изучено влияние тепловой составляющей на общее напряженно-деформированное состояние поршня и влияние конструктивных параметров поршня на его НДС.

Среди основных направлений обеспечения качества поршней путём проведения компьютерного моделирования в ресурсах мировой научной периодики могут быть выделены работы [7–12].

В частности, работа [7] посвящена моделированию стационарного состояния и температурного поля переходного состояния поршня. В работах [9, 10] представлены результаты анализа распределения температуры стационарного состояния в поршне высокоскоростного дизельного двигателя. Авторами [8] проведены теоретические исследования термомеханических условий внутри поршня дизельного двигателя. Работы [11, 12] посвящены расширенному численному анализу частей двигателей, нагруженных тепловыми и механическими силами.

Таким образом, результаты анализа позволяют сделать вывод о том, что поршни современных ДВС являются сложной многоэлементной конструкцией, при создании которых нужно учитывать многие факторы. Для учёта этих факторов применяется модульная технология проектирования и изготовления поршней ДВС. Для обеспечения заданного уровня качества продукции, при уменьшении затрат на проектирование, применяют методы компьютерного моделирования.

5. Методы исследования

Проектирование – один из наиболее трудоемких и существенных этапов создания поршня. На этом этапе происходит формирование физической и математической моделей поршня и расчетные исследования его напряженно-деформированного состояния.

На этапе проектирования разработка 3D моделей и проведение теплового и силового расчёта производилась в программе SolidWorks (США) и его дополнительном модуле SolidWorks Simulation. В данном программном продукте присутствует полный инструментарий для расчётов напряжённо-деформируемого состояния (НДС) поршня, а также возможность создать материалов для расчётов по заданным свойствам.

Применение данной программы позволяет:

- уменьшить стоимость модели за счет проведения ее испытания на компьютере вместо дорогостоящих эксплуатационных испытаний;
- сократить время, необходимое для представления продуктов на рынок, путем уменьшения количества циклов разработки изделия;
- улучшить изделия посредством быстрой проверки сразу большого коли-

чества концепций и сценариев перед принятием окончательного решения, тем самым предоставляя дополнительное время на обдумывание новых конструкций.

6. Результаты исследований

Для решения поставленных задач предлагается все основные работы разделить на отдельные модули, выполняемые одновременно по трем направлениям: организационном, конструкторском и технологическом. Данные модули являются составными секторами единой модульной системы организации конструкторско-технологической подготовки производства чугуновых поршней ДВС (рис. 1).

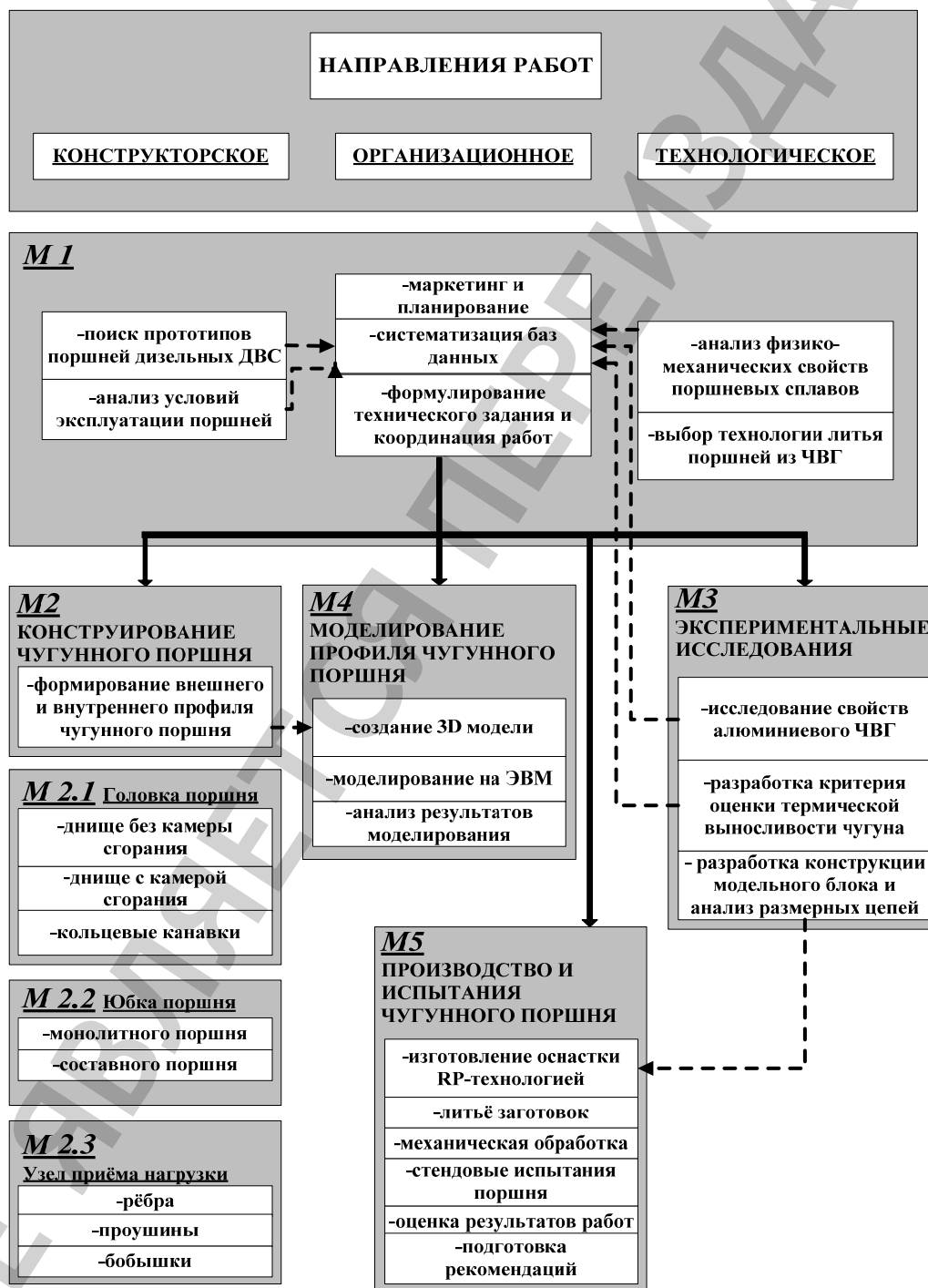


Рис. 1. Система организации модульного проектирования чугуновых поршней двигателей внутреннего сгорания

Через модули организационного направления осуществляется координация работ, выполняемых в рамках модулей конструкторского и технологического направлений от начала проектирования до изготовления и испытания опытных образцов.

Создание разных вариантов конструкций поршней, например, монолитного или составного, осуществлялось путем разделения модуля *М-2* на три подмодуля конструкторского направления проектирования (рис. 2):

- подмодуль *М 2-1* – головки поршня, включая днище с камерой сгорания, кольцевой пояс и ребра жесткости (для универсальных вариантов поршней);
- подмодуль *М 2-2* – юбки поршня с бобышками для поршневого пальца (для монолитных поршней);
- подмодуль *М 2-3* – узла приема нагрузки с проушинами для передачи нагрузки на поршневой палец и самоустанавливающуюся юбку (для составных поршней).

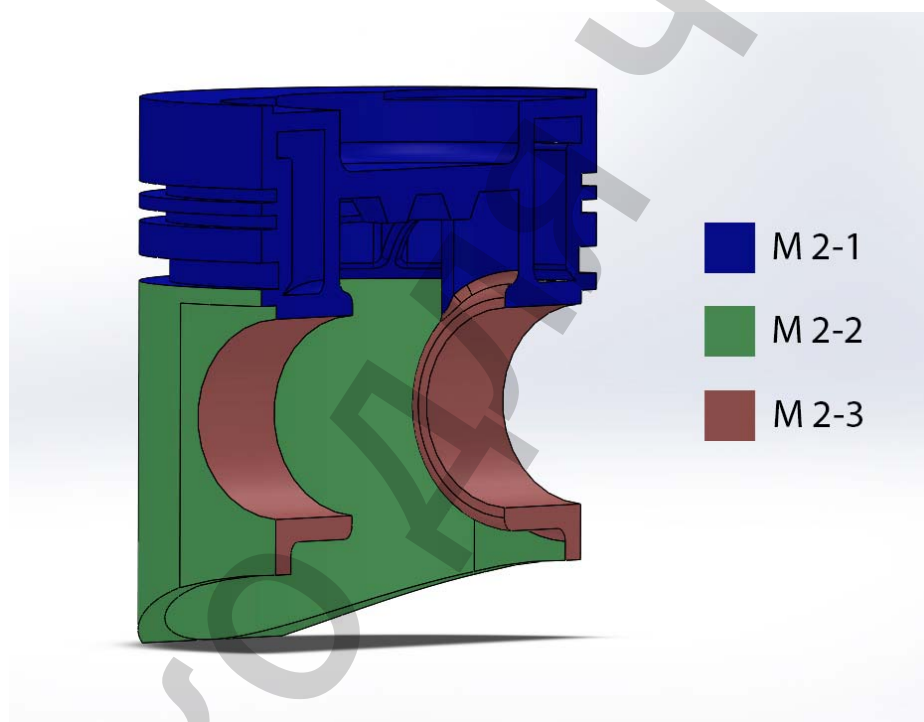


Рис. 2. Проектируемые зоны поршня

Такая организация проектирования дает возможность получать универсальные многовариантные конструктивные решения отдельных элементов поршня, пополняя базу данных и используя её при решении аналогичных задач.

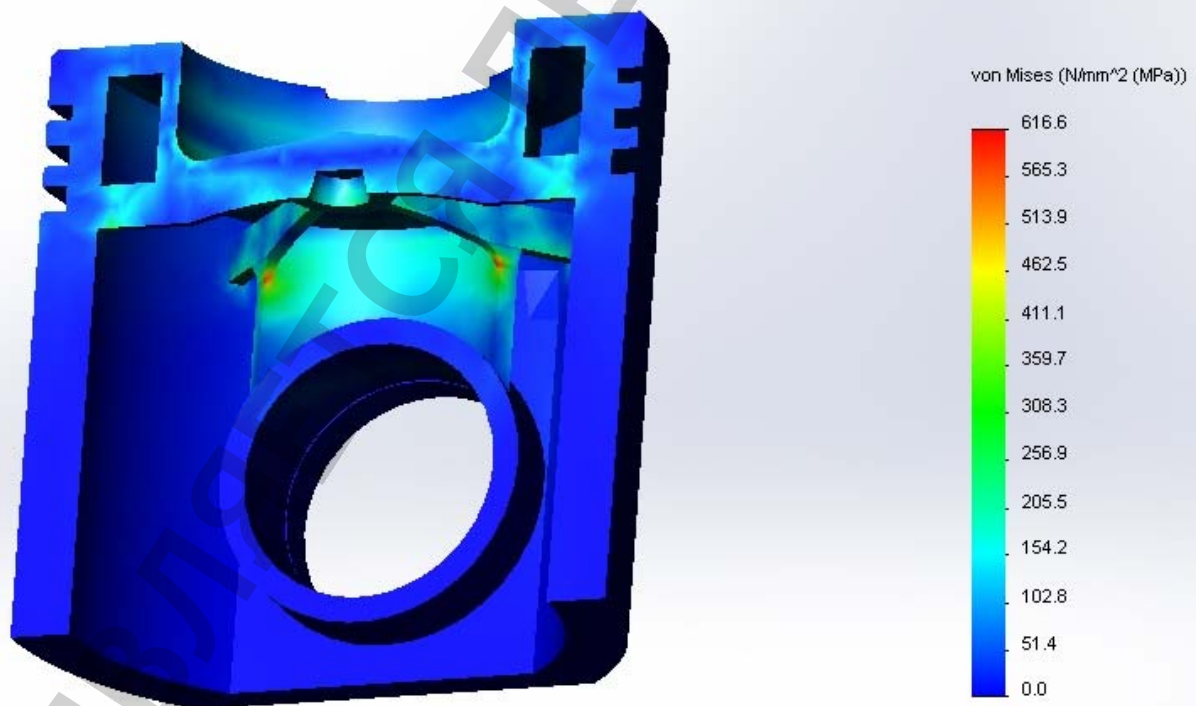
Одним из примеров реализации этапов проектирования может быть приведен процесс компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния монолитных чугуновых поршней.

При необходимости совершенствования существующей или разработки новой конструкции поршня, реализация технического задания начинается с выполнения проектирования. В рамках компетенции модуля *М-2* конструкторского проектирования, а также модулей *М-3* технологического и *М-4* организационного проектирования, используя базу данных модуля *М-1* организацион-

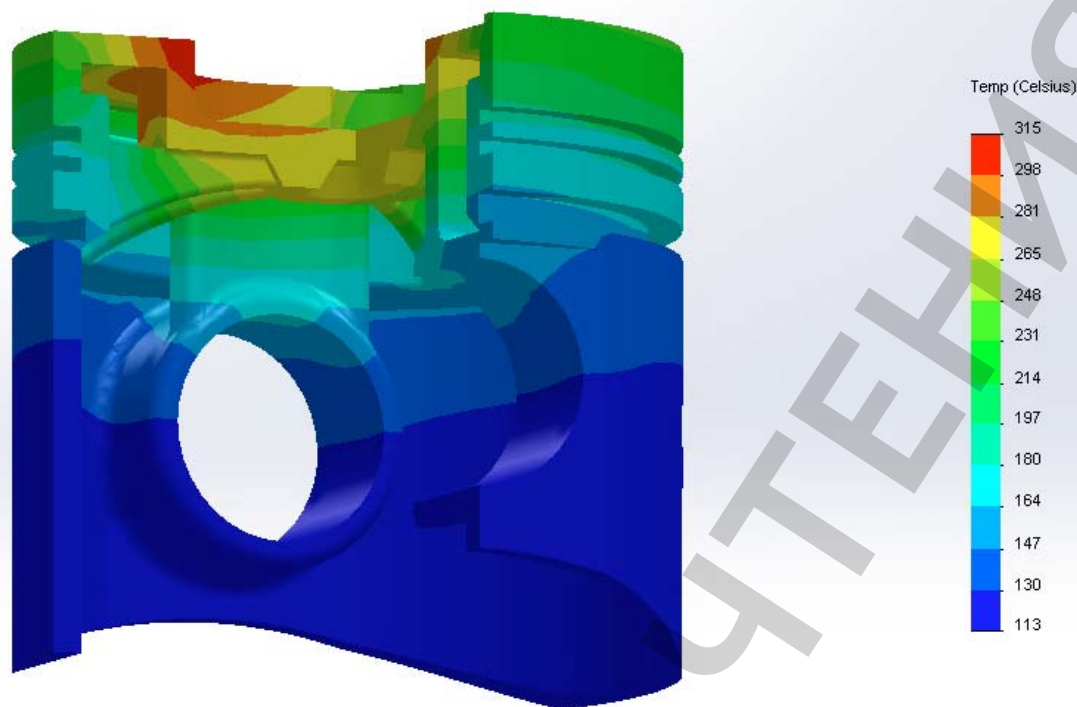
ного направления. На этапе конструкторско-технологического проектирования выполняются наиболее трудоемкие работы по формированию физической и математической моделей поршня, а также расчетные исследования его НДС, разрабатываются трехмерные модели проектируемых поршней с применением модульного проектирования.

При создании трехмерной модели поршня применялась методика сквозного проектирования, позволяющая закладывать в модель готового изделия модель заготовки с имитацией последующей механической обработки. Модель полностью параметризована и имеет возможность изменяться в соответствии с изменениями соответствующих параметров. Расчетная модель поршня базируется на его упрощенной трехмерной модели. С целью снижения трудоемкости расчета и уменьшения машинного времени предлагается использовать для расчетной модели половину поршня в виду его симметричности. Расчетные модели могут иметь различный уровень сложности в зависимости от количества входящих в них кинематических элементов. В данной работе предлагается использовать упрощенную модель начального уровня, состоящую из одного компонента – поршня.

На рис. 3 приведены результаты расчётов напряжённо-деформируемого состояния и поля распределения температур в теле поршня. Результаты показывают, что максимальная температура составляет 315 °С и сосредоточена на краю камеры сгорания. Величина напряжений не превышает 617 МПа.



a



б

Рис. 3. Результаты расчётов:

а – напряжённо-деформируемого состояния (0–616,6 МПа);

б – распределение температур в поршне (113–315 °С)

Во время разработки профиля чугунного поршня необходимо учитывать, что кроме решения задач выполнения функциональных требований, предъявляемых к поршню, профиль поршня должен иметь возможность его получения технологическими приемами литейного производства. В связи с этим допустимы компромиссные решения между конструкторскими и технологическими модулями, которые могут накладывать некоторые ограничения, как на конструкцию поршня, так и на технологию его производства.

7. SWOT-анализ результатов исследований

Strengths. Среди сильных сторон данного исследования необходимо отметить возможность минимизации затрат времени на проектирование. Использование предложенного модульного принципа обеспечивает также возможность минимизации затрат, связанных с отработкой конструкторских решений путем изготовления серии промышленных образцов. Необходимость в этом отпадает, т. к. процесс конструкторско-технологической подготовки ведется параллельно с использованием компьютерного моделирования.

Weaknesses. Слабые стороны данного исследования связаны с тем, что реализация предложенных решений неизбежно сталкивается с проблемой модернизации существующего оборудования и технологий. Ограничения, накладываемые на процесс проектирования этими факторами, проявляется в необходимости их учета непосредственно в процессе проектирования. Это означает, что эксплу-

атационные характеристики полученных на выходе готовых литых поршней будут ниже проектных, причем иногда очень существенных. Необходимость же модернизации связана со значительными тратами в развитие производства.

Opportunities. Дополнительные возможности при использовании приведенных результатов в промышленных условиях связаны с устранением недостатков, обусловленных несовершенством технологий. При этом нужно в качестве приоритетной выдвинуть необходимость эффективного менеджмента, ведь без грамотной политики руководства компании в отношении обновления производства, не следует ожидать реально высоких показателей.

Threats. Очевидные риски при использовании полученных результатов связаны с дополнительными затратами, сопутствующими внедрению новых решений в области конструкторско-технологического проектирования. Вероятно на первом этапе наличие растянутого во времени процесса проектирования, неизбежно требующего вложений в модернизацию производства.

8. Выводы

1. Проанализировано взаимосвязи в структуре конструкторско-технологической подготовки производства литых поршней. Предложено все основные работы разделить на отдельные модули, выполняемые одновременно по трем направлениям: организационном, конструкторском и технологическом. Такая организация проектирования дает возможность получать универсальные многовариантные конструктивные решения отдельных элементов поршня, пополняя базу данных и используя её при решении аналогичных задач.

2. Проведено компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния монолитных чугунных поршней как примера формирования одного из компонентов процесса проектирования. Приведены результаты расчётов напряжённо-деформируемого состояния и поля распределения температур в теле поршня. Результаты показывают, что максимальная температура составляет 315 °С и сосредоточена на краю камеры сгорания. Величина напряжений не превышает 617 МПа.

Литература

1. Engelke, W. D. How to Integrate CAD/CAM Systems: Management and Technology (Mechanical Engineering) [Text] / W. D. Engelke. – CRC Press, 1987. – 400 p.

2. Bazrov, B. M. Modul'naia tehnologiya v mashinostroenii [Text] / B. M. Bazrov. – Moscow: Mashinostroenie, 2001. – 368 p.

3. Puliaev, A. A. Aluminium ChVG – material dlia porshnei forsirovannyh dizel'nyh DVS [Text] / A. A. Puliaev, O. V. Akimov, B. P. Taran // Liteinoe proizvodstvo. – 2016. – № 1. – P. 14–16.

4. Taran, B. P. Otsenka termicheskoi vynoslivosti materialov porshnei DVS [Text] / B. P. Taran, O. V. Akimov, A. P. Marchenko // Dvigateli vnutrennego sgoraniia. – 2010. – № 1. – P. 70–72.

5. Belogub, A. V. Nauchno-tehnicheskie osnovy integrirovannogo proektirovaniia i proizvodstva tonkostennyh porshnei DVS [Text]: PhD thesis: 05.05.03 /

A. V. Belogub. – Kharkov, 2011. – 469 p.

6. Zotov, A. A. Sovershenstvovanie tehnologii proektirovaniia tonkostennyh porshnei DVS s prinuditel'nym zazhiganiem [Text]: PhD thesis: 05.05.03 / A. A. Zotov. – Kharkov, 2010. – 150 p.

7. Lu, Y. Analysis of thermal temperature fields and thermal stress under steady temperature field of diesel engine piston [Text] / Y. Lu, X. Zhang, P. Xiang, D. Dong // Applied Thermal Engineering. – 2017. – Vol. 113. – P. 796–812. doi:[10.1016/j.applthermaleng.2016.11.070](https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.11.070)

8. Liu, X. F. Finite element analysis of thermo-mechanical conditions inside the piston of a diesel engine [Text] / X. F. Liu, Y. Wang, W. H. Liu // Applied Thermal Engineering. – 2017. – Vol. 119. – P. 312–318. doi:[10.1016/j.applthermaleng.2017.03.063](https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.03.063)

9. Ong, J. H. Steady state thermal analysis of a diesel engine piston [Text] / J. H. Ong // Computers in Industry. – 1990. – Vol. 15, № 3. – P. 255–258. doi:[10.1016/0166-3615\(90\)90024-j](https://doi.org/10.1016/0166-3615(90)90024-j)

10. Zhang, H. Temperature field analysis to gasoline engine piston and structure optimization [Text] / H. Zhang, Z. Lin, J. Xing // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2013. – Vol. 48, № 2. – P. 904–909.

11. Spaniel, M. Diesel engine head steady state analysis [Text] / M. Spaniel, J. Macek, M. Divis, R. Tichanek // International Journal of Middle European Construction and Design of Cars. – 2003. – Vol. 2, № 3. – P. 34–41.

12. Tichanek, R. Steady state heat analysis of engine head [Text] / R. Tichanek, M. Spaniel, M. Divis // International Journal of Széchenyi István University of Applied Sciences. – 2003. – Vol. 20, № 3. – P. 74–75.