МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Томский государственный архитектурно-строительный университет
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Сборник научных трудов
XII Международной конференция студентов и молодых ученых

21–24 апреля 2015 г.

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

XII International Conference of students and young scientists

21–24 April, 2015

Томск 2015

УДК 50(063)
ББК 20л0
П27

Перспективы развития фундаментальных наук [Электронный ресурс] : сборник трудов XII Международной конференция студентов и молодых ученых (Томск, 21–24 апреля 2015 г.) / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 1556 с.

ISBN 978-5-4387-0560-4

Сборник содержит труды участников XII Международной конференции студентов и молодых учёных «Перспективы развития фундаментальных наук». Включает доклады студентов и молодых ученых, представленные на секциях «Физика», «Химия», «Математика», «Биология и медицина», «Наноматериалы и нанотехнологии», «Технология», «Конкурс архитектурных работ», «IT-технологии и электроника».

Предназначен для студентов, аспирантов, молодых ученых, преподавателей в области естественных наук и высшей математики.

УДК 50(063)
ББК 20л0

Редакционная коллегия

И.А. Курзина, доктор физико-математических наук, доцент ТПУ.
Г.А. Воронова, кандидат химических наук, доцент ТПУ.
С.А. Поробова, инженер ТГАСУ.

ISBN 978-5-4387-0560-4

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ,
электронный текст, 2015

СОПРЯЖЕННЫЙ АНАЛИЗ ГИДРОУПРУГОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ТОПЛИВНОЙ ФОРСУНКИ

С.Д. Замбалов

Научный руководитель: профессор, д. ф.-м. н. В.А. Скрипняк

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: zambalovsd@yandex.ru

COUPLED ANALYSIS OF HYDROELASTIC INTERACTION CONSTRUCTIONAL ELEMENTS OF FUEL INJECTOR

S.D. Zambalov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. V.A. Skripnyak

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: zambalovsd@yandex.ru

Annotation. *The subject of research is injector using to preparation high viscosity fuels. Physical-mathematical model determining fluid flow and solid structure interactions are described. System approach including methods of deformable solid mechanics and computational fluid dynamics are proposed.*

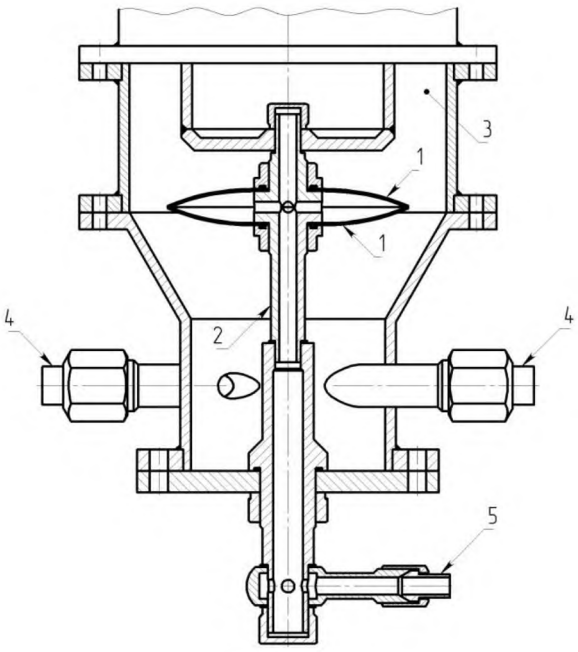


Рис. 1. Схема конструкции топливной форсунки

На сегодняшний день основным источником тепловой и электрической энергии являются различные углеводородные топлива. Одним из распространенных видов топлива для котельных агрегатов электростанций, промышленных и бытовых печей, судовых котельных установок являются различные виды нефтяного мазута. Однако методы сжигания с использованием форсунок традиционных конструкций обладают рядом существенных недостатков. Например, высокая засоряемость топливных каналов форсунок, вследствие низких эксплуатационных характеристик мазута, значительное количество вредных выбросов в окружающую среду, связанных с неполным сгоранием сырья [1]. Таким образом, создание и разработка новых устройств для сжигания высоковязких видов котельного топлива с учетом повышенных требований по экологичности и энергоэффективности, является актуальной задачей

В данной работе рассматривается сопряженная задача определения рабочих параметров диспергирования паромазутной смеси и надежности деформируемых элементов конструкции на примере

топливной форсунки с щелевым соплом (рис. 1). В рамках создания единой вычислительной модели необходимо использовать системный подход, описывающий гидроупругое взаимодействие твердых тел и жидкости [2, 3]. Для равномерного заполнения камеры смешения мелкодисперсной смесью топлива и окислителя используется система диспергирования, основанная на комбинации пульсационного и аэродинамического методов распыления [4]. Паромазутная смесь через штуцер 5 подается в распределяющий стержень 2. Окислитель подается в камеру смешения 3 тангенциальным образом через штуцеры 4. При возникновении волнового импульса, создаваемого генератором пульсации давления, вогнутые пластины форсунки 1 испытывают кратковременную упругую деформацию, соприкасающиеся стенки расходятся и формируют щелевое сопло, через которое происходит подача диспергируемой смеси в камеру смешения с окислителем 3. При этом площадь истечения щелевого сопла является переменной и обусловлена взаимодействием пульсаций давления смеси с упругим откликом элементов конструкции. Компонентами топливной смеси являются топочный мазут марки М-100 ГОСТ 10585-99 и водяной пар в массовом соотношении 1:1. Упругие элементы конструкции 2 камеры распределения выполнены методом штамповки из конструкционной стали марки 30 ХГС ГОСТ 4543-71. Толщина пластин 1 мм, диаметр вогнутости 300 мм.

Сопряженная задача определения надежности элементов конструкции топливной форсунки включает в себя следующие одновременно решаемые задачи:

1. Определение динамических параметров движения жидкости и газа (распределение полей давлений и скоростей) и их влияния на механическое поведение элементов конструкции форсунки.

2. Определение структурного отклика конструкции на периодическую динамическую нагрузку (распределение напряжений и деформаций) и его влияния на технологические параметры диспергирования топливной смеси.

Для решения системы разрешающих уравнений использовался метод конечных элементов, реализованный в программном пакете ANSYS. Для задания выражений, связанных с сопряжением расчетных областей и перестройкой сеточного разбиения области в результате изменения положения стенок упругих элементов использовались пользовательские функции, написанные на языке APDL и CEL.

На рис. 2 представлены контуры распределения полей динамического, статического и полного давлений в момент времени 1,063 с, соответствующий максимальному раскрытию щелевого сопла.

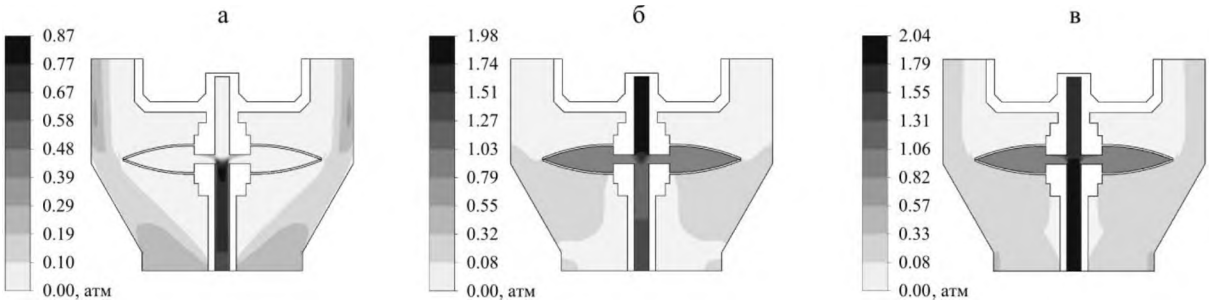


Рис. 2. Контуры распределения (а) динамического, (б) статического и (в) полного давления

Максимальное значение полного давления наблюдается в зоне распределяющего стержня 2 и составляет 2,04 атм. Возникающие зоны разрежения в окрестности деформируемых элементов 1, формируются в вихревой камере смешения за счет расходящегося потока окислителя.

Зависимости максимальных эквивалентных напряжений и перемещений элементов конструкции от времени представлены на рис. 3. Штриховыми линиями указаны результаты решения задачи в рамках теории упругости, когда влияние потока жидкости на конструкцию упрощенно учитывается путем задания равномерно распределенной, периодической по времени нагрузки в виде давления, т.е. без решения области сопряженной задачи, относящейся к механике жидкости и газа. Функции распределения указанных параметров имеют вид некоторой волновой функции и достигают максимума в момент максимального раскрытия щелевого сопла (1 с – результаты, полученные при решении задачи в рамках теории упругости; 1,063 с – решение сопряженной задачи). Такое смещение по времени обусловлено влиянием динамики течения диспергируемой жидкости на элементы конструкции топливной форсунки. При использовании единой вычислительной модели в рамках сопряженного анализа рассчитанные значения напряжений и перемещений на 10% и 15% меньше, чем при решении задачи только в рамках теории упругости соответственно.

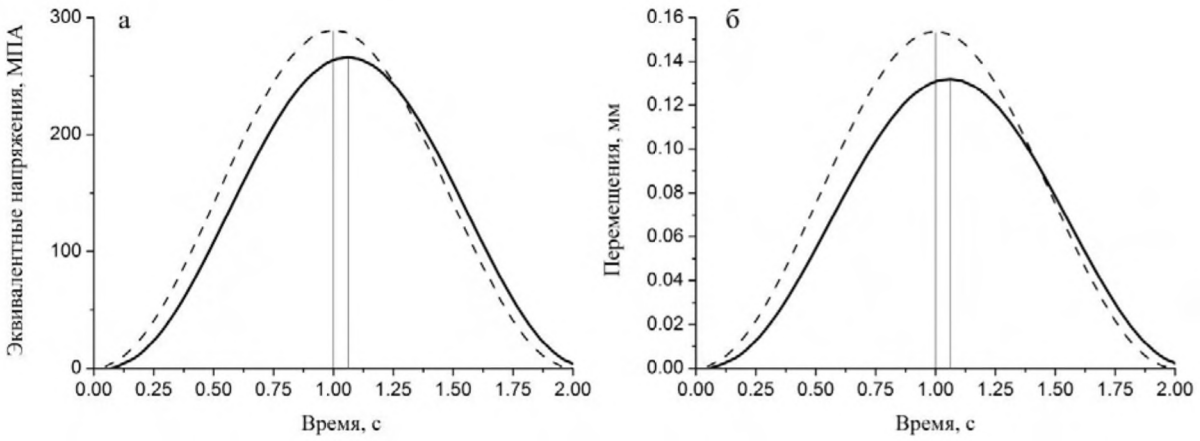


Рис. 3. Зависимость (а) максимальных эквивалентных напряжений и (б) перемещений от времени

В результате решения сопряженной задачи получены уточненные значения возникающих напряжений и параметров усталостной долговечности, что позволяет оптимально скорректировать используемый коэффициент запаса, увеличить эффективность работы устройства, продлить его долговечность, а также уменьшить массогабаритные характеристики прототипа конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Забродин А.Г. и др. Анализ физико-механических свойств мазута и устройство для его эффективной подготовки и сжигания // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т.16. – №5. – С. 226-230.
2. Русаков С.В., Шуваев Н.В. Численное моделирование аэроупругого взаимодействия компрессорной лопатки с дозвуковым потоком воздуха в трёхмерной постановке // Вычислительная механика сплошных сред. – 2013. – Т.6. – №3. – С. 300-308.
3. Ковеня В.М. Некоторые тенденции развития математического моделирования // Вычислительные технологии. – 2002. – Т.7. – №2. – С. 59-73.
4. Коровина Н.В., Кудряшова О.Б., Антонникова А.А., Ворожцов Б.И. Распыление жидкости при импульсном воздействии // Известия вузов. Физика. – 2013. – Т.56. – №9/3. – С. 169-172.