

СОЗДАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ТРАКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Чайкин Алексей Евгеньевич

студент Уральского Федерального Университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, РФ, г. Екатеринбург

Суханов Владимир Иванович

Аннотация. Целью данной работы является создание компьютерной программы для расчета аэрогидродинамического тракта. Программа была написана на языке Java с использованием IDE Eclipse. Программа содержит графический редактор для создания аэрогидродинамических схем и расчетный модуль для вычисления аэрогидродинамической характеристики произвольного тракта. Также в работе описаны преимущества и недостатки методов расчета данной программы в сравнении с зарубежными аналогами. На момент написания дипломной работы возможности программы ограничены расчетом последовательных трактов. В дальнейшем планируется расширить ее возможности. Программа может применяться в любой области, в которой возникает необходимость расчета характеристики тракта и выбора нагнетателя (вентилятора, компрессора и др.) для обеспечения необходимых условий работы. Программа, рассматриваемая в дипломной работе, еще далека от совершенства и требует существенной доработки в плане дизайна, но она уже способна выполнять сложные расчеты последовательных трактов.

Ключевые слова: метод конечных элементов, метод сопротивлений, ANSYS, Java.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существуют программные продукты для расчетов трактов различной формы и длины, использующие, в основном, метод конечных элементов [1]. Одним из таких продуктов является программный комплекс Ansys [2]. Однако для решения таких задач Ансису требуются время и ресурсы компьютера, причем, чем больше элементов и, соответственно, узлов требуется для решения задачи, тем больше времени и ресурсов компьютера будет использовано. Также следует отметить, что для работы в программном комплексе Ansys требуется специальное образование.

Существуют различные, достаточно простые, задачи, которые необходимо решить за короткий промежуток времени, к тому же не каждый компьютер, которым владеет рядовой пользователь, обладает необходимыми и достаточными ресурсами для решения задачи в программном комплексе Ansys. Для таких задач была разработана программа для расчета аэрогидродинамического тракта с использованием метода аэрогидродинамических сопротивлений [3] – [6]. Данный метод позволяет быстро решить аэрогидродинамическую задачу с простой геометрией и с достаточно длинным трактом.

1. Этапы разработки программы

1.1 Выбор языка программирования и архитектуры программы

Первоочередной задачей в создании программ является выбор архитектуры программы (рисунок 1). Пользователь задает исходные данные: физические характеристики, подаваемого в тракт, вещества и геометрию тракта в графическом редакторе. Затем данные поступают в расчетную часть программы, где происходят необходимые вычисления, после чего на пользовательский экран выводятся результаты расчета. Для написания программы был выбран объектно-ориентированный язык программирования Java с использованием IDE Eclipse и IDEA.

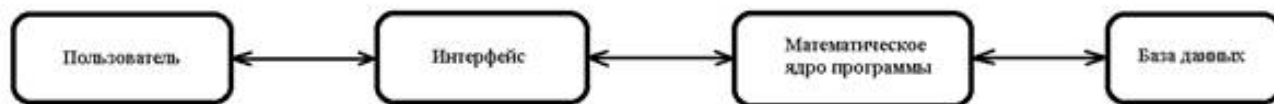


Рисунок 1. Архитектура программы

1.2 Графический редактор

При составлении геометрии тракта пользователю необходима максимальная наглядность. С достижения этой цели возникла необходимость в графическом редакторе. Т.к. метод расчета основан на известном со школьного курса физики законе Ома, то графический редактор должен представлять собой поле с набором узлов для построения сопротивлений между ними. По причине того, что практически все редакторы электрических схем, которые мне удалось проанализировать, не имели открытого исходного кода и не выводили данные в виде коллекций, мне пришлось создать свой собственный графический редактор (рисунок 2). На рисунке 2, в области 1 находятся 4 кнопки (слева направо):

- 1) Задание начальных условий;
- 2) Создать сопротивление;
- 3) Создать линию, соединяющую сопротивления;
- 4) Произвести расчет.

Область 2 представляет собой графическое отображение геометрии тракта в виде сопротивлений.

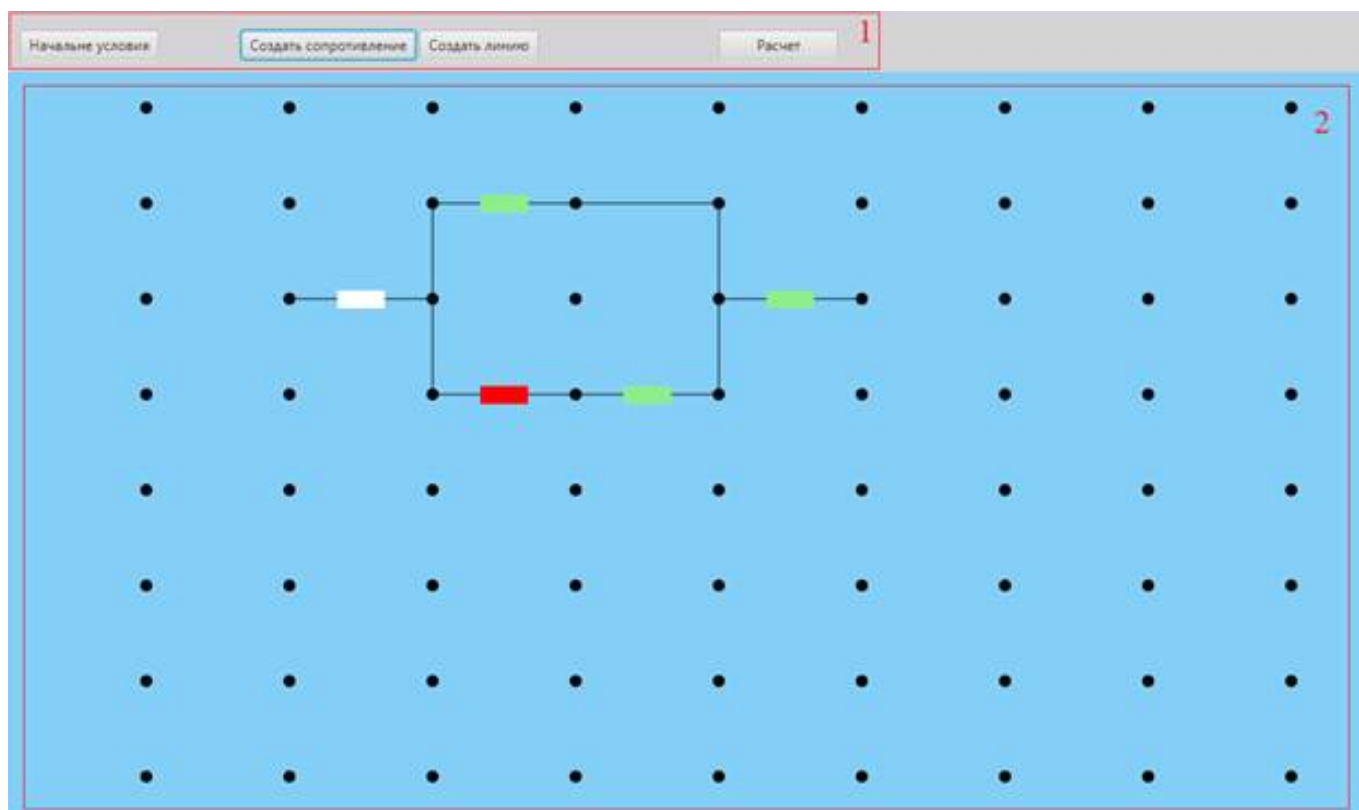


Рисунок 2. Общий вид графического редактора

2. Математическое ядро программы

2.1 Вычисление гидравлического сопротивления в последовательном тракте

В каждой сети, как и в отдельных участках, часть полного давления, идущая на преодоление сил гидравлических сопротивлений, является для нее безвозвратно потерянной, так как из-за молекулярной и турбулентной вязкости движущейся среды механическая работа сил сопротивления преобразуется необратимо в теплоту. Поэтому общая энергия (включающая и тепловую энергию) потока на данном участке трубы при отсутствии теплопередачи через стенки остается неизменной. Однако состояние потока при этом меняется, так как давление падает. Температура же вдоль потока при неизменной скорости не меняется. Объясняется это тем, что работа расширения, обусловленная падением давления, целиком преобразуется в работу сил сопротивления, и теплота, возникающая из этой механической работы, возмещает охлаждение, получаемое вследствие расширения. Вместе с тем энергия, приобретенная потоком в результате работы компрессора (вентилятора и т.п.), для данной сети теряется в виде кинетической или тепловой энергии при выходе жидкости (газа) в окружающую среду (в другой объем).

Различают два вида потерь полного давления (гидравлического сопротивления) в сети трубопровода:

- 1) Потери на трение (сопротивление трения) $\Delta p_{\text{тр}}$;
- 2) Местные потери (местное сопротивление) $\Delta p_{\text{м}}$.

Оба вида потерь суммируют по принципу наложения потерь, при котором берут арифметическую сумму потерь на трение и местных потерь:

$$\Delta p_{\text{сум}} = \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{м}} = (\xi_{\text{м}} + \xi_{\text{тр}}) \frac{\rho w^2}{2} = \xi_{\text{сум}} \frac{\rho w^2}{2},$$

(1)

где ρ – плотность вещества (жидкости или газа) $\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$, w – скорость потока $\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$, $\xi_{\text{сум}}$ – суммарный коэффициент гидравлического сопротивления.

Коэффициент гидравлического сопротивления представляет собой отношение потерь на данном участке полной энергии (мощности) к кинетической энергии (мощности) в принятом сечении или отношение потерь на том же участке полного давления к динамическому давлению в принятом сечении, т.е. неравномерного распределения всех параметров потока по сечению и переменной плотности вдоль потока, можно написать

$$\xi \equiv \frac{\frac{\Delta N_{\text{общ}}}{\rho_0 F_0 w_0^2}}{2} = \frac{\frac{\Delta N_{\text{общ}}}{Q_0 \rho_0 w_0^2}}{2} = \frac{\frac{\Delta p_{\text{общ}}}{\rho_0 w_0^2}}{2} = \frac{\frac{p_0 - p_1}{\rho_0 w_0^2}}{2}. \quad (2)$$

При неизменной плотности вдоль потока ($\rho_0 = \rho_1 = \rho = \text{const}$)

$$\xi \equiv \frac{\frac{\Delta p_{\text{общ}}}{\rho w_0^2}}{2}. \quad (3)$$

Коэффициент сопротивления трения рассчитываемого элемента выражается через коэффициент гидравлического трения λ :

$$\xi_{\text{тр}} = \lambda \cdot l / D_r, \quad (4)$$

где l – длина участка гидравлического сопротивления (м), D_r – эквивалентный диаметр сечения гидравлического сопротивления (м).

Зависимость коэффициента гидравлического трения λ от числа Рейнольдса Re , установленная опытами Никурадзе для стабилизированного течения в трубах с равномерно-зернистой шероховатостью, указывает на существование трех основных режимов протекания потока.

Первый режим, называемый ламинарным, относится к малым значениям чисел Re (до $Re \approx 2000$) и характеризуется тем, что шероховатость не оказывает никакого влияния на величину λ . По закону Гагена – Пуазейля

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \quad (5)$$

Второй режим, называемый переходным, содержит три участка кривых сопротивления для труб с равномерно – зернистой шероховатостью.

Участок, относящийся к переходной (критической) области между ламинарным и

турбулентным течениями (примерно в пределах $Re = 2000 \div 4000$). В этой области коэффициент сопротивления λ возрастает с увеличением числа Re . Вместе с тем этот коэффициент продолжает оставаться одинаковым для различных значений относительной шероховатости.

Участок, для которого кривые сопротивления труб с различной шероховатостью совпадают с кривой Блазиуса для гладких труб

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}. \quad (6)$$

Закон сопротивления по последней формуле справедлив в тем меньшем интервале чисел Re, чем больше относительная шероховатость.

Третий режим, называемый квадратичным, или режимом вполне шероховатых стенок, а также режимом турбулентности, характеризуется тем, что коэффициенты сопротивления для каждого значения относительной шероховатости становятся постоянными, не зависящими от числа Re.

2.2 Вычисление гидравлического сопротивления в параллельном тракте

Общее сопротивление сети определяют, используя формулы суммирования последовательно и параллельно включенных сопротивлений, образующих простые и разветвленные тракты. Для простого тракта

$$Z_{\Sigma} = \sum_{i=2}^{n-1} [Z_{mi}(\varphi_{i,i-1} + \varphi_{i,i+1} - 1)] + Z_{m1}\varphi_{1,2} + Z_{mn}\varphi_{n,n-1} + \sum_{k=1}^m Z_{pk}, \quad (7)$$

для разветвленного

$$Z_{\Sigma} = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{Z_i} \right) \right]^{-2}. \quad (8)$$

Здесь $\varphi_{i,i-1}(\varphi_{i,i+1})$ – коэффициент взаимного влияния местных сопротивлений Z_m – сопротивления Z_{mi} и предвключенного (послевключенного) сопротивления; Z_{pi} – путевые сопротивления. Коэффициент $\varphi \neq 1$, если расстояние между местными сопротивлениями меньше $(10 \div 15)d_r$, где d_r – меньший из гидравлических диаметров. Ориентировочно

$\varphi = 1 \div 1,5$ для сопротивлений с изменением проходного сечения и $\varphi = 1,5 \div 2$ при резких поворотах потока.

Суммирование проводят вначале для «элементарных» (простых) трактов. Это означает замену каждого из них эквивалентным сопротивлением Z_{Σ} . Переходя к ячейкам все большего масштаба, представляющим собой последовательное или параллельное соединение уже рассмотренных ячеек, находят их сопротивление и в итоге – общее гидравлическое сопротивление.

При расчете распределения расходов по ветвям тракта используют уравнение

$$Q_i = Q_{\Sigma} \sqrt{Z_{\Sigma} / Z_{\Sigma i}}, \quad (9)$$

где Q_{Σ} – общий расход в ячейке с сопротивлением Z_{Σ} ; Q_i – расходы в простых трактах с сопротивлениями $Z_{\Sigma i}$, которыми заменены ячейки меньшего уровня сложности, составляющие рассматриваемую ячейку.

Расчет начинают с ячейки самого верхнего уровня сложности ($Z_{\Sigma} = Z_c$) и ведут вплоть до единичных простых трактов. Если подводящие и отводящие части параллельно соединенных ветвей являются раздающими или собирающими каналами, используют метод последовательных приближений.

2.3 Вывод графика «Расход - Давление»

После вычисления гидравлического сопротивления тракта P (или ΔP) найдем коэффициент сопротивления

$$Z = P/Q^2, \quad (10)$$

где P – сопротивление тракта [Па]; Q – расход [$\text{м}^3/\text{ч}$].

На основании коэффициента Z строится график зависимости давления от расхода или расходная характеристика аэрогидродинамического тракта.

3. Заключение

В результате работы была создана программа для расчета аэрогидродинамического тракта методом аэрогидродинамических сопротивлений. В программе реализован графический редактор построения схем сопротивлений и математическое ядро, позволяющее произвести расчет тракта с заданными геометрическими характеристиками и физическими характеристиками веществ, проходящих через тракт. Данная программа использовалась мной для расчетов аэрогидродинамических трактов. В то время как решение методом конечных элементов было получено спустя несколько недель расчетов, метод сопротивлений, используемый в моей программе, давал усредненный результат спустя несколько минут. В дальнейшем планируется существенно доработать интерфейс программы. Также планируется доделать часть математического ядра для расчета параллельных соединений с использованием метода последовательных приближений. Считаю необходимым ввести пояснительные сообщения для пользователя, защиту от ввода некорректных данных. При выводе результатов расчета планируется выводить всю схему тракта с обозначением перепада давлений на каждом участке тракта. Это крайне важно для планирования изменений на определенном участке тракта для его оптимального функционирования.

Список литературы:

- 1 Бате Н., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. – М.: Стройиздат, 1982. – 448 с.
- 2 Федорова Н.Н., Вальгер С.А., Данило М.Н. Основы работы в ANSYS 17. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 210 с.: ил.
- 3 Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: «Машиностроение», 1975г.
- 4 Борисенко А. И., Костиков О. Н., Яковлев А. И. Охлаждение промышленных электрических машин. М.: «Энергоатомиздат», 1983г.
- 5 Под общей редакцией Григорьева В. А. и Зорина В. М., 2-е издание, переработанное. Книга 2. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент. Справочник. М.: «Энергоатомиздат», 1988г.
- 6 Краткое справочное пособие по охлаждению радиоэлектронной аппаратуры. «Министерство радиопромышленности СССР», 1973г. с.77-80.
- 7 Электровентильторы осевые постоянного тока. ТУ 3317-007-12058815-2010. Каталог продукции. «Промышленно-производственная группа «ИОЛЛА».
- 8 Электровентильторы осевые. ОСТ. 16.0539.007-74, г. Пермь, «Промышленно-производственная группа «ИОЛЛА».

- 9 Бреббия К., Теллес Ж., Вроубел Л. Методы граничных элементов в технике. - М.: Мир, 1987. - 524 с.
- 10 Тимошенко С. П. Устойчивость упругих систем. - М.: Гостехиздат, 1955. - 92 с.
- 11 Тимошенко С. П., Янг Д. Х., Уивер У. Колебания в инженерном деле. - М.: Машиностроение, 1985. - 472 с.
- 12 Соммервилл Иан. Инженерия программного обеспечения, 6-е издание: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. — 624 с.
- 13 Мартин Р., Ньюкирк Дж., Косс Р. Быстрая разработка программ. Принципы, примеры, практика. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. — 752 с.
- 14 Мартин Фаулер. Рефакторинг. Улучшение существующего кода. — СПб.: Символ-Плюс, 2008. — 312 с.
- 15 Мартин Фаулер. Архитектура корпоративных программных приложений. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. — 544 с.
- 16 Нотон П. Java. Справочное руководство: пер. с англ. - М.: Восточная книжная компания, 1996.
- 17 Морган М. Java 2. Руководство разработчика: пер. с англ.: учеб. пособие. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2000.
- 18 Берд, Барри Java для чайников / Барри Берд. - М.: Диалектика / Вильямс, 2013. - 521 с.
- 19 Гарнаев, Андрей WEB-программирование на Java и JavaScript. - Москва, 2017. - 718 с.
- 20 Савитч, Уолтер Язык Java. Курс программирования / Уолтер Савитч. - М.: Вильямс, 2015. - 928 с.