

АВТОМАТИКА, КОМП'ЮТЕРНІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 536.715; 621.564.27

В. Е. Козут, Е. Д. Бутовский✉, **В. М. Бушманов, М. Г. Хмельнюк**

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, г. Одесса, 65039, Украина

✉ e-mail: ariesoon@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5260-4952>

СОЗДАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОЧИСТКЕ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

Несмотря на развитие атомной и альтернативной энергетик, горение органических топлив является одним из основных источников получения энергии. Использование этого источника сопряжено с выбросами в атмосферу дымовых газов, в состав которых входят различные химические соединения. Создание эффективных методов очистки дымовых газов перед их выбросом в атмосферу, несмотря на многолетний опыт применения в промышленных целях, все еще остается актуальной задачей. Одним из современных перспективных методов очистки является применение эжекторного фильтра. Авторами создана гидродинамическая модель эжекторного фильтра. Компьютерное исследование протекания газов через эжекторный фильтр показывает наличие дополнительного гидродинамического эффекта Коанда, который, предположительно, повышает степень выпадения в осадок охлажденных легкоконденсирующихся компонентов дымовых газов.

Ключевые слова: Дымовые газы; Эффект Коанда; Канцерогены; Скоростное ядро потока; Полициклические ароматические смолы

В. О. Козут, Є. Д. Бутовський✉, **В. М. Бушманов, М. Г. Хмельнюк**

Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, г. Одеса, 65039

✉ e-mail: ariesoon@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5260-4952>

РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ ЕКСПЕРИМЕНТА З ОЧИЩЕННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ

Незважаючи на розвиток атомної та альтернативної енергетик, горіння органічних палив є одним з основних джерел отримання енергії. Використання цього джерела пов'язане з викидами в атмосферу димових газів, до складу яких входять різні хімічні з'єднання. Створення ефективних методів очищення димових газів перед їх викидом в атмосферу, незважаючи на багаторічний досвід застосування в промислових цілях, все ще залишається актуальним завданням. Одним із сучасних перспективних методів очищення є застосування ежекторного фільтра. Авторами створено гідродинамічна модель ежекторного фільтра. Комп'ютерне дослідження протікання газів через ежекторний фільтр показує наявність додаткового гідродинамічного ефекту Коанда, який, імовірно, підвищує ступінь випадання в осад охолоджених компонентів димових газів, що легко конденсуються.

Ключові слова: Димові газы; Ефект Коанда; Канцерогены; Швидкісне ядро потоку; Поліциклічні ароматичні смолы

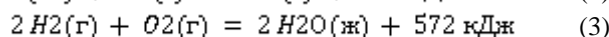
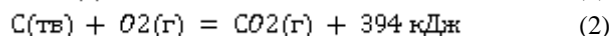
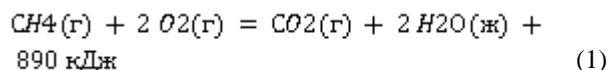


This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

I. ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на развитие атомной и альтернативной энергетик, горение органических топлив является одним из основных источников получения энергии. Использование этого источника сопряжено с выбросами в атмосферу дымовых газов, в состав которых входят различные химические соединений. Наиболее опасными из них являются такие вещества как оксиды серы, азота, а также довольно обширная группа полициклических ароматических смол, имеющих канцерогенное влияние.

Простейшие химические реакции горения с выделением тепла можно записать следующим образом (формулы 1-3). Формулу горения топлива можно разделить на простейшие случаи горения отдельных веществ. Уравнения в таком случае выглядят следующим образом:



Также по формулам рассчитывается примерный состав и количество дымовых газов. Однако эти методы дают низкую точность при расчете топлива с не полностью известным составом топлива.

Создание эффективных методов очистки дымовых газов перед их выбросом в атмосферу, несмотря на многолетний опыт применения в промышленных целях, все еще остается актуальной задачей. Одним из современных перспективных методов очистки является применение эжекторного фильтра.

Эжекторный фильтр – устройство, в котором происходит передача кинетической энергии от одной среды, движущейся с большей скоростью, к другой. Данный аппарат, работая по закону Бернулли, создаёт в сужающемся сечении пониженное давление одной среды, что вызывает подсос в поток другой среды, которая затем переносится и удаляется от места всасывания энергией первой среды. Эжектор, на базе которого был сконструирован эжекционный фильтр, был изобретен в 1858 году инженером Жиффаром во Франции (изобретателем газобаллонного пневматического оружия на углекислом газе, изобретателем систем клапанных устройств для пневматического оружия).

Эжекторы используются в струйных насосах, например, водоструйных, жидкостно-ртутных, парортутных, паромасляных. Однако в данном случае при модификации базового устройства, авторы представляют возможность применения эжектора в качестве фильтра очистки дымовых газов путем создания очищающего эффекта.

Основной фактор очистки этого фильтра заключается в охлаждении потока дымовых газов за счет преодоления сопротивления и активного смешивания с хладагентом, а также последующим выпадением в осадок легко конденсирующихся веществ (канцерогенные смолы при некоторой доработке, могут быть удалены из потока оксидов серы). В дальнейшем потоки разделяются в специальном баке, в котором тяжеловесные компоненты выпадают в осадок, а более легкие, не сконденсированные, поднимаются вверх (возможно дополнительное вытягивание насосом).

II. СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ

В некоторых случаях, которые наиболее изучены или же не представляются затруднительными с точки зрения подсчета, возможно произвести расчет по имеющимся формулам с эмпирическими зависимостями. Данные формулы были установлены посредством проведения ряда экспериментов в изучаемой области. Но в случае отклонения от исследованной области, точность результатов значительно уменьшается. В дальнейшем, при отклонении от указанной области, расчеты по эмпирическим формулам теряют актуальность. В таких случаях существует ряд широко используемых пакетов. Также возможно использование аналитических методов решения, для которых создается целая система дифференциальных уравнений. Она в последствии упрощается и решается другими математическими пакетами.

Существуют пакеты, созданные для решения

конкретных физических задач. В эти пакеты заранее встроены дифференциальные и эмпирические уравнения и разработан удобный интерфейс взаимодействия с расчетным ядром. Данные пакеты отличаются от математических тем, что в них уже подготовлена необходимая «база» для проведения расчетов. Вследствие этого происходит частичное уменьшение точности при специфических расчетах. Описываемый недостаток устраняют открытые пакеты с возможностью исправления и внесения изменений в уравнения.

Далее в общем описании представлены некоторые широко используемые пакеты для расчетов. Одни из них являются многофункциональными, решающими не только гидродинамические, но и химические, или прочностные расчеты – SolidWorks, Comsol Multiphysics, Ansys. Другие же сосредоточены на решении какой-либо одной, конкретной задачи. Последние могут работать на принципах численного или аналитического решения систем дифференциальных уравнений Навье-Стокса. Также возможно решение методов конечных объемов. Так как расчет ведется различными способами, возможно применение различных пакетов одновременно для того, чтобы составить более полную картину протекания процессов в установке.

III. ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В ЭЖЕКТОРЕ

Для расчетов гидродинамических процессов в эжекторе были применены следующие пакеты расчетов: Solid Works, FlowVision, Comsol Multiphysics. В целом, задачи по расчету можно проводить с акцентом на скорость и доступность расчета (можно применять для предварительных расчетов). Также, актуален расчет на точность, когда первые данные уже получены и есть возможность проводить расчеты с предварительной подготовкой.

Гидравлический расчет определенных характеристик, их изменения в течения времени и распределения по ходу движения газа\жидкости.

Определение мест наибольших сопротивлений. Это необходимо для выявления потерь давления и иных несовершенств модели. Данное определение важно для дальнейшей возможности их устранения.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

На рисунке 1 показана гидродинамическая модель эжектора, созданная с помощью SolidWorks. На изображении видны завихрения и неустойчивости в потоке, возникающие после сужения в эжекторе, а также сжатие и повышение скорости в сужении. Согласно предварительным приблизительным расчетам с помощью уравнения сплошности скорость на сужении возрастает в четыре раза.

Тем не менее, SolidWorks, в первую очередь, пакет для создания трехмерных объектов, сборок и чертежей и функции вычисления здесь, в основном, играют вспомогательную роль. Однако данный пакет можно использовать для быстрого предварительного расчета.

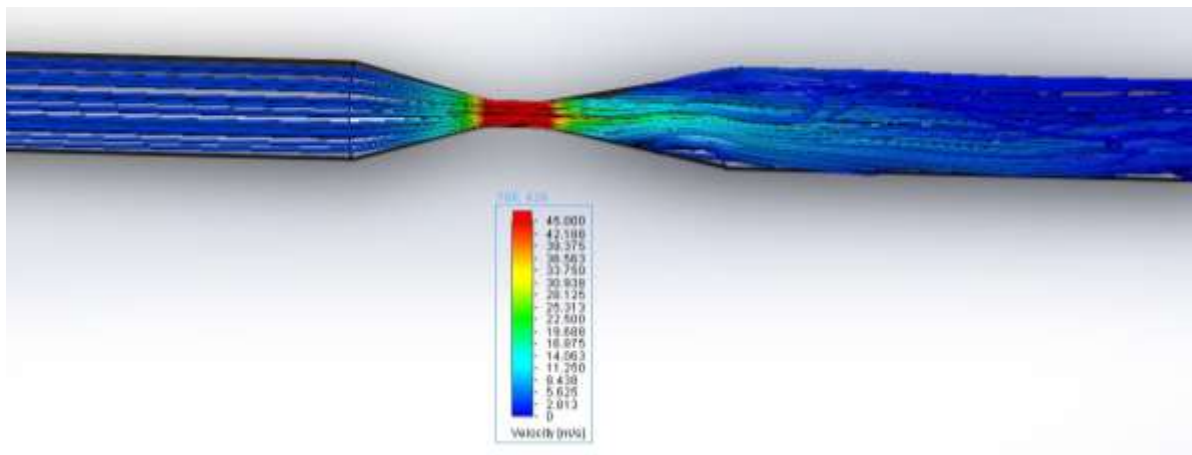


Рисунок 1 – Модель протекания через эжектор, созданная с помощью приложения *Solid Works, Solid Flow*

Следующий рассматриваемый пакет создан для расчетов в области гидродинамики. Он не имеет в себе встроенных средств для создания объекта. Данный пакет обладает более широкими настройками для расчетов и, как следствие, выдает более точные ре-

зультаты. На рисунке 2 показан скоростной профиль потока. По векторам видно ускорение потока в сужении и последующее смещение скоростного ядра потока к верхней границе.

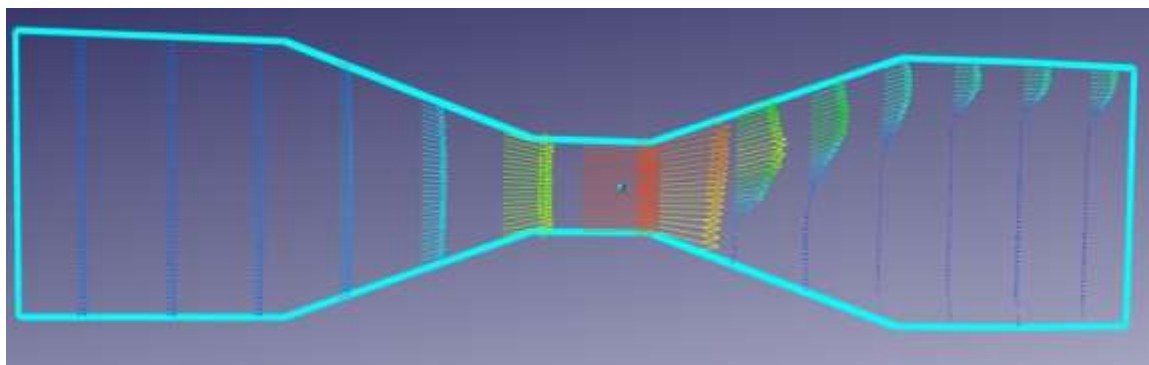


Рисунок 2 – Гидродинамический расчет в пакете *Flow Vision*

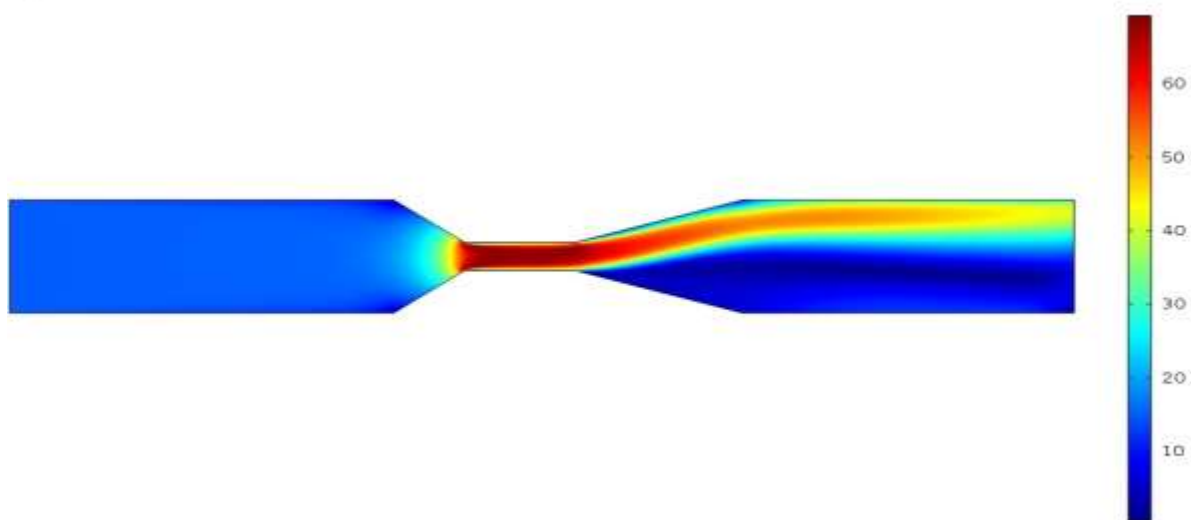


Рисунок 3 – Распределение скорости потока в эжекторе (пакет *Comsol Multiphysics*)

В последнем рассматриваемом случае применялся пакет Comsol Multiphysics. Разработанный для расчетов множества физических задач одновременно, этот пакет обладает достаточно высокой точностью расчетов.

На рисунке 3 видно постепенное увеличение скорости потока при прохождении конфузора. В горловине можно наблюдать резкое скачкообразное увеличение скорости. На этом участке проводится впрыск хладагента (в данной модели не показан). В конфузоре происходит распределение потока и посте-

пенное уменьшение скорости. Также из данной модели видно отделение высокоскоростного факела от общего потока и «налипания» его к верхней поверхности эжектора. Предположительно, именно это скоростное распределение должно способствовать разделению более тяжелых сконденсированных компонентов благодаря эффекту Коанда, которое объясняет прилипание скоростных струй газов к поверхностям за счет разницы давлений у обтекаемой поверхности и в некотором отдалении от нее.

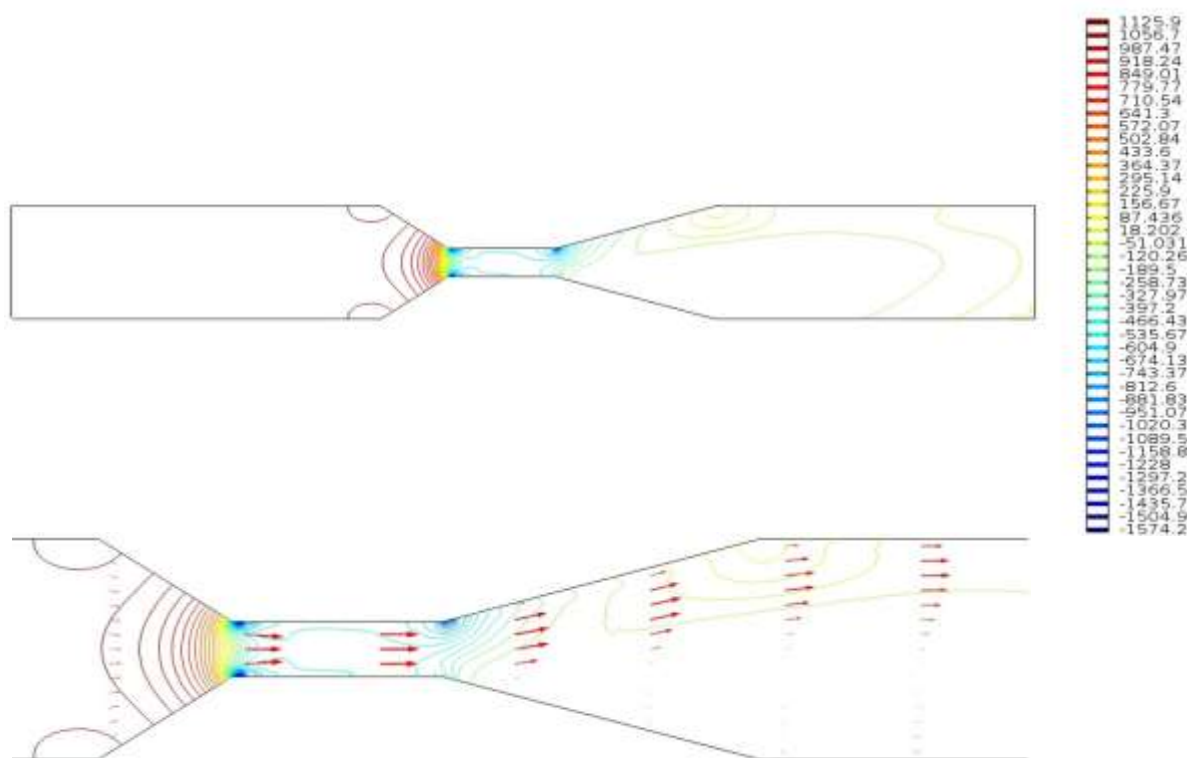


Рисунок 4 – Распределение волн давления в эжекторе

ВЫВОДЫ

Создание компьютерной модели эксперимента перед непосредственным экспериментом или же параллельно его проведению может значительно упростить интерпретацию результатов, а также разобрать эффекты, которые возникают в эксперименте, но не всегда доступны к пониманию.

Компьютерное исследование протекания газов через эжектор показывает наличие дополнительного гидродинамического эффекта Коанда, который предположительно повышает степень выпадения в осадок охлажденных легкоконденсирующихся компонентов дымовых газов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Когут В. Е.** Эжекционный фильтр для конденсации канцерогенов в составе дымовых газов // В.Е. Когут, В.М. Бушманов, Е.Д. Бутовский, М.Г. Хмельнюк / International scientific conference “High technologies. Business. Society 2016” – №5 (191) – 16.03.2016.
2. Очистка вредных выбросов дымовых газов котельных [Электронный ресурс, название с экрана]. Режим доступа: <http://ecoalliance.com.ua/bbloteka/statt-ro-povtryu/ochistka-vrednyix-vybrosov-dyimovyix-gazov-kotelnyix>.
3. **Когут В. Е.** Защита окружающей среды от канцерогенных смол при розжиге отопительных систем // В. Е. Когут, Е. Д. Бутовский / Холодильная техника и технология. – Одесса – 2014 – Том 51, вып. 4 – С. 45-52.

Отримана в редакції 05.07.2016, прийнята до друку 08.09.2016

V. Kogut, I. Butovskiy[✉], V. Bushmanov, M. Khmelniuk

Odessa National Academy of Food Technologies, Kanatnaya str., 112, Odessa, 65039, Ukraine

✉ e-mail: ariesoon@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5260-4952>

CREATING A COMPUTER MODEL EXPERIMENT ON FLUE GAS CLEANING

Despite development of atomic and alternate power engineering's, combustion of organic combustibles are one of key sources of power generation. Usage of this radiant are conjugate with venting is of flue gases which one composition gone into different chemical joints. Making of efficient purification methods of flue gases a front are more their venting, despite a long experience of application in the industrial purposes, remained the actual task. Of the modern perspective purification methods application of the ejector screen are one. Authors had framed a hydra a dynamic model of the ejector screen. Computer probe of passing of gases through the ejector screen displayed availability of padding hydrodynamic Coanda effect who, presumptively, increased a level of settling-out of cooled easily condense builders of flue gases.

Keywords: Flue Gases; Coanda effect; Carcinogenic; Speed flow core; Polycyclic aromatic resins.

REFERENCES

1. Kogut V., Bushmanov V., Butovskiy I., Khmelniuk M. (2016). Induction filter for condensation of carcinogens in the composition of the flue gases. Procc. of International scientific conference "High technologies. Business. Society 2016", 16 March 2016, No.5 (191).
2. Ochistka vrednykh vybrosov dymovykh gazov kotelen [Cleaning of harmful flue gases boiler] [Electronic source]. URL: <http://ecoalliance.com.ua/bbloteka/statt-povtryu/ochistka-vrednyix-vyibrosov-dyimovyix-gazov-kotelnyix> (in Russian).

3. Kogut, V. E., Butovskiy, I. D., Bushmanov, V. M., Khmelniuk, M. G. (2015). Environmental protection against carcinogens resin at ignition of heating systems *Refrigeration engineering and technology*, 51(4), 45-52 (in Russian) DOI:10.15673/0453-8307.4/2015.39288

Received 05 July 2016

Approved 08 September 2016

Available in Internet 31 October 2016