

размерности задачи (количества узлов в сети). Здесь объем вычислений выражен через эквивалентное число арифметических сложений [6]. Полученные данные учитывают слабую заполненность матрицы проводимостей, что приближено к реальной электротехнической задаче.

Количество узлов, n	10	100	500	1000
Объем вычислений методом Гаусса	$84 \cdot 10^3$	$35 \cdot 10^8$	$105 \cdot 10^{11}$	$35 \cdot 10^{14}$
Объем вычислений методом экспресс-оценки потокораспределения	$57 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^8$	$0,7 \cdot 10^{11}$	$0,015 \cdot 10^{14}$
Относительная эффективность	1,46	23	150	233

Выполненный анализ позволяет сделать вывод, что предложенная методика оценки структурной надежности электрической сети является высокоэффективным инструментом в задаче управления развитием и эксплуатацией электрических сетей для выявления энергоэффективных мероприятий.

#### *Библиографический список*

1. Арзамасцев Д.А., Обоскалов В.П. Расчет показателей структурной надежности энергосистем: Учебное пособие. Свердловск: УПИ им. С.М. Кирова, 1986. 80 с.
2. Демин А.С., Котов О.М., Анализ структурной надежности электрической сети с учетом оценки потокораспределения // Электроэнергетика глазами молодежи: науч. труды междунар. науч. техн. конф.: сборник статей. В 3 т. Самара: СамГТУ, 2011.
3. Алгоритм и программа оперативной оценки возможности отключения элементов основных сетей и межсистемных связей / И.Л. Кирпикова, А.И. Кулешов, А.В. Липес, В.Г. Неуймин // Советчики диспетчера по оперативной коррекции режимов работы ЭЭС. Иркутск: АН СССР, СЭИ, 1984.
4. Аюев Б.И., Бартоломей П.И. Расчеты установившихся режимов в задачах оперативного и автоматического управления ЭЭС: Учебное пособие. Екатеринбург: УГТУ, 1999. 33 с.
5. Бартоломей П.И., Демин А.С., Котов О.М., Нелюбин И.С. Экспресс-расчёты установившихся режимов электрической системы для оценки структурной надежности // Управление, информация и оптимизация в электро-энергетических системах: Сборник докладов Междунар. молодежн. науч.-техн. конф.. Новосибирск: НГТУ, 2011.
6. Воеводин В.В. Численные методы алгебры. Теория и алгоритмы. М., 1996. 248 с.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЭВОЛЬВЕТНЫХ ФОРСУНОК СКРУББЕРА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS**

*Николенко А.Н., Горбунов В.А.*

*Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина*

*E-mail: [tevp@tvp.ispu.ru](mailto:tevp@tvp.ispu.ru)*

Скруббер является уникальным нестандартным оборудованием, предназначенным для очистки колошникового газа, опасного для жизни человека. Вместе с тем он является энергоемким оборудованием, требующим значительных затрат воды и энергии. При проведении физического эксперимента по исследованию скруббера возникают трудности, так как

газовая очистка доменной печи работает непрерывно. Методы неразрушающего контроля применительно к скрубберу не всегда можно использовать.

Целью моделирования эвольвентных форсунок является: определить области перекрытия факелами воды, образованными эвольвентными форсунками, канала прохождения доменного газа внутри скруббера в зависимости от расхода воды на орошение.

В качестве программного комплекса для моделирования работы форсуночного скруббера выбран пакет ANSYS.

Скруббер изготовлен на Иркутском заводе тяжелого машиностроения и предназначен для очистки доменного газа от частиц пыли. Степень очистки газа во многом зависит от степени перекрытия факелами капель воды, образованными эвольвентными форсунками, канала прохождения колошникового газа внутри скруббера. Эвольвентные форсунки установлены в три яруса, расстояние между которыми 4,2 м, расстояние от зеркала воды до нижнего яруса – 16,8 м. В верхнем ярусе факелы форсунок направлены вверх, а во втором и в третьем – вниз. Диаметр отверстия эвольвентной форсунки составляет 62,5 мм. Целью исследования является получение расходной характеристики эвольвентной форсунки, зависимости диаметра факела разбрызгивания от расхода воды. Для определения влияния факелов воды при взаимодействии факелов разных ярусов между собой находим координаты точки максимальной ширины факела по высоте скруббера.

Мы исследовали эвольвентные форсунки, направленные вверх и вниз. Для моделирования работы эвольвентных форсунок выбрана область с размерами 2,12×2,12×2,12 м. В нижнюю часть этой области поступает воздух с параметрами: давление 101325 Па; температура 138 °С; скорость 1,65 м/с (расход газа 105,13 м<sup>3</sup>/с). Температура и скорость выбирались из эксперимента как средние для условий работы скруббера Ø9000 Иркутского завода тяжелого машиностроения после доменной печи № 4 ОАО «Северсталь». Расход воды через форсунку варьировался от 0 до 0,0278 м<sup>3</sup>/с. Максимальный размер факела разбрызгивания по сечению скруббера определялся в соответствии с полем модуля скорости газа и воды, падающей под действием силы тяжести вниз. Предполагается, что капли воды захватывают твердые частицы пыли и коагулируют.

В системе автоматизированного проектирования SolidWorks создается геометрическая модель форсунки, которая помещается в куб размером 2,12×2,12×2,12 м. Размеры куба выбираются из чертежа скруббера с учетом влияния рядом стоящих форсунок друг на друга. Затем производится ее импортирование в программный комплекс ANSYS. Далее задается математическая модель движения воды и газа как несжимаемая жидкость. Модель несжимаемой жидкости включает: уравнения Навье-Стокса (закон сохранения импульса), уравнение неразрывности (закон сохранения массы жидкости); закон сохранения энергии; уравнение диффузионного переноса скалярной величины (закон сохранения массы) и уравнения k-ε модели турбулентности.

Затем задаются и расставляются граничные условия. На входе воды задаются температура и нормальная скорость, на выходе из форсунки с внутренней стороны тип границы «свободный выход», с наружной стороны – выход воды.

Форсунка помещена в тонкостенный куб, через который снизу вверх проходит поток газа. На входе газа задаются температура и нормальная скорость, на выходе – тип границы «свободный выход». Далее вводятся параметры метода расчета и метода численного моделирования. После чего генерируется расчетная сетка.

На основе экспериментальных данных можно оценить влияние степени перекрытия факелами воды канала скруббера и расхода воды на удельную запыленность доменного газа. Во время проведения эксперимента на ОАО «Северсталь» давление доменного газа в скруббере для экспериментов № 1–13 составляло 280 кПа, а для экспериментов № 14–32 – 290 кПа. Уровень воды в скруббере поддерживался постоянным 7,4 м.

Вывод. В результате исследования работы скруббера с помощью программного комплекса ANSYS на основе данных экспериментов ОАО «Северсталь» можно сократить расход воды на орошение скруббера без ущерба для газовой очистки. Конструкцию форсунки необходимо выполнить такой, чтобы капли воды были более мелкие, так как от этого зависит эффективность очистки доменного газа.

## **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ (ЦОД)**

*Носков И.Ю.*

*Тюменский государственный архитектурно-строительный университет*

Последние двадцать лет, во всем мире активно развивается одна из ветвей сектора информационных технологий, а именно строительство и эксплуатация центров обработки данных (ЦОД). Без стабильно работающих ЦОД невозможна работа телекоммуникационного и информационного сектора экономики. Быстрая обработка и передача данных – факторов, определяющий инновационный характер развития страны. Однако современные ЦОД являются очень энергоёмкими структурами. Затраты на энергию ЦОД складываются не только из энергопотребления установленного в нём вычислительного и телекоммуникационного оборудования. Большую долю в энергопотреблении ЦОД занимают затраты на создание и поддержание требуемых заданных условий воздушной среды помещения ЦОД, т.е. на системы кондиционирования. Но повсеместно производители вычислительного и телекоммуникационного оборудования ищут возможности снижения объемов потребляемых энергоресурсов.

Вот неполные, но наиболее эффективные способы снижения энергозатрат на содержание ЦОД, каждой из них дана краткая характеристика.

- Повышение качества теплоизоляции и влагоизоляции ЦОД. Использование современных материалов позволит защитить ЦОД от влияния внешнего тепла летом;
- Применение эффективных систем кондиционирования и охлаждения ЦОД, например, систем свободного охлаждения, если температура наружного воздуха ниже температуры воздуха в помещении, то целесообразно использовать естественное охлаждение без применения холодильного цикла и включения компрессора;