

Дубровская В.В., Король А.Р., Шкляр В.И.

Национальный технический университет Украины «КПИ»

## КОГЕНЕРАЦИОННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛИЧНОГО ХОЗЯЙСТВА

Сегодня большинство руководителей частных предприятий пытаются самостоятельно решить вопросы энергоснабжения своих предприятий.

Наиболее оптимальным вариантом является установка автономных когенерационных систем, которые позволяют решить основные проблемы:

- обеспечить потребности в тепло- и электроэнергии и независимость от внешних поставщиков энергии;

- внедрить мероприятия по энергосбережению на предприятии с целью уменьшения энергетических затрат.

**Цель работы** – выбор эффективного децентрализованного источника энергоснабжения для нужд тепличного хозяйства ООО Агрофирма «Пролисок ЛТД».

### Результаты работы

- Предложено несколько вариантов когенерационных схем на основе различного энергетического оборудования для нужд тепличного хозяйства.

- Рассчитана эффективность работы установки на базе двигателя внутреннего сгорания, работающего на разных видах топлива, а имен-

но: на природном газе и на биогазе.

- Рассмотрен вариант установки солнечного коллектора с целью получения тепловой энергии для нужд горячего водоснабжения в летнее время.

- Рассчитана экономическая целесообразность внедрения предложенных вариантов.

### Выводы

- Использование когенерационных установок в частных и государственных хозяйствах является эффективной альтернативой централизованному теплоснабжению и в большой степени разгружает системы энергоснабжения и генерации электроэнергии в Украине в целом.

- Внедрение когенерационной установки малой мощности на базе двигателя внутреннего сгорания, работающего на природном газе, является наиболее экономически выгодным. Срок окупаемости установки составляет 5,4 года.

- Рекомендуются работа ДВС на биогазе, который генерируется из продуктов жизнедеятельности тепличного хозяйства, с целью уменьшения объемов закупок природного газа.

- Установка солнечных коллекторов для покрытие тепловой нагрузки оказалась невыгодной с экономической точки зрения.

УДК 536.24

Архипова Е.А.

Институт технической теплофизики НАН Украины

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОТОКА СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

*Розроблено математичну модель течії потоку води при надкритичних параметрах, що застосовується для реакторів супер-ВВЕР. Результати розрахунків показали задовільне узгодження з експериментальними даними інших авторів.*

*Разработана математическая модель течения потока воды при сверхкритических параметрах применительно к реакторам супер-ВВЭР. Результаты расчетов показали удовлетворительное согласование с экспериментальными данными других авторов.*

*Mathematical model is carried out for flow of water of supercritical parameters with reference to reactors of supercritical water reactor. The results of calculations showed satisfactory coordination with the experimental data of other authors.*

$c$  – теплоемкость;

$c_p$  – изобарная теплоемкость;

$D$  – полный дифференциал;

$k$  – кинетическая энергия турбулентности;

$p$  – давление;

$T$  – температура;

$u$  – скорость;  
 $x$  – координата;  
 $\varepsilon$  – скорость диссипации энергии;  
 $\kappa$  – волновое число;  
 $\lambda$  – теплопроводность;  
 $\mu$  – динамическая вязкость;  
 $\rho$  – плотность;  
 $\tau$  – касательное напряжение;  
ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор;  
КВ – коэффициент воспроизводства топлива;  
ОЯТ – отходы ядерного топлива;

Особенностью атомной энергетики 21-го века, чьи технологии опираются на  $^{238}\text{U}$ , будет являться использование ЯЭУ с большими значениями коэффициента воспроизводства топлива (вместо 0,5) в современных ВВЭР, а также замкнутый топливный цикл с многократной переработкой ОЯТ. В принципе, использование таких ЯЭУ может решить и проблему переработки ОЯТ. В последнее десятилетие во многих странах ускоренным темпом ведется разработка усовершенствованной ЯЭУ с реактором типа супер-ВВЭР. Переход на сверхкритические параметры воды ( $P = 25$  МПа,  $t = 540$  °С) может обеспечить достижение следующих преимуществ: повышение величины КПД до 44 % вместо 33 %, характерной для действующих атомных электростанций; высокий коэффициент воспроизводства топлива ( $\approx 1$ ); снижение стоимости ЯЭУ за счет уменьшения капитальных затрат и металлоемкости установки вследствие упрощения ее конструктивной схемы; применение оборудования, унифицированного для обоих типов электростанций (тепловых и атомных).

Атомная энергетика Украины, которая основана на реакторах ВВЭР, обеспечивает 50 % производства электрической энергии в стране. Переход к реакторам ВВЭР 4-го поколения позволит обеспечить более высокий уровень экономической эффективности, безопасности, надежности и защиты окружающей среды.

Главной задачей при создании реактора супер-ВВЭР должно быть обеспечение безопасности ЯЭУ при нормальных, переходных и аварийных режимах. На современном этапе решение такой задачи не может быть достигнуто без разработки усовершенствованной методологии теплогидравлического расчета активной зоны реактора с применением компьютерных кодов улучшенной оценки.

$\Pi$  – тензор напряжений;  
СКД – сверхкритическое давление;  
ЯЭУ – ядерная энергетическая установка;  
 $^{238}\text{U}$  – уран 238;

#### Индексы:

eff – эффективный параметр;  
 $i, j$  – компоненты координат;  
 $t$  – турбулентный параметр;  
 $\Sigma$  – сумма.

#### Комплексы:

$\text{Pr} = \mu \cdot c_p / \lambda$  – число Прандтля.

#### Математическая модель

Математическая модель течения воды сверхкритических параметров при кажущейся простоте (отсутствие двухфазности потока, кипения, кризиса теплоотдачи при кипении и пр.) на самом деле чрезвычайно сложна ввиду особенностей сверхкритического потока (скачки теплопроводности, плотности, теплоемкости, вязкости и, вследствие этого, энтальпии потока, возникновения ухудшенных режимов теплоотдачи и пр.). Поэтому системы уравнений математической модели должны замыкаться экспериментальными данными, полученными именно для сверхкритических параметров. Основная сложность при этом заключается в том, что таких данных в настоящее время получено очень мало. Основной многолетний опыт тепловой и атомной энергетики накоплен при использовании воды при давлении 7...18 МПа. Особенность теплообмена при СКД состоит в том, что неоднородность температуры теплоносителя по сечению и длине канала в псевдокритической области приводит к коренным изменениям структуры потока. Эти изменения связаны, в первую очередь, с чувствительностью физических свойств к изменению температуры в потоке. Кроме того, наблюдаются значительные перепады плотности и вязкости, а также радиальные перемещения массы между ядром потока и пограничным слоем, прилегающим к стенке.

В настоящей работе численное исследование процессов гидродинамики и теплообмена в сборке проводится на основе  $k$ - $\varepsilon$  RNG модели турбулентности [1].

Эта модель включает уравнение движения, которое в векторной форме имеет следующий вид:

$$\rho \cdot \frac{D\vec{V}}{Dt} = \rho \left[ \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \nabla) \cdot \vec{V} \right] = -\text{grad}(p) + \text{Div}(\Pi). \quad (1)$$

где Div – тензорная дивергенция, вектор  $\vec{V}$  имеет составляющие:  $u, v, w$ .

$\Pi = \phi_{ij}, i, j = 1, 2, 3,$

$$\tau_{ij} = \mu_{\text{eff}} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right),$$

$$\mu_{\text{eff}} = \mu + \mu_t,$$

$$\mu_t = c\rho \frac{k^2}{\varepsilon}.$$

Уравнение неразрывности:

$$\text{div}(\rho \vec{V}) = 0. \quad (2)$$

Также модель включает уравнение переноса теплоты:

$$\rho c_p \frac{DT}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \lambda_{\Sigma} \frac{\partial T}{\partial x_i} \right), \quad (3)$$

где

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda + \lambda_t,$$

$$\lambda_t = \frac{\mu_t}{Pr_t}.$$

Турбулентное число вычисляется по формуле:

$$\frac{\left| Pr_t^{-1} - 1,3929 \right|^{0,6321} \left| Pr_t^{-1} + 2,3929 \right|^{0,3679}}{\left| Pr^{-1} - 1,3929 \right| \left| Pr^{-1} + 2,3929 \right|} = \frac{\mu}{\mu_t}.$$

Кроме того, модель включает уравнение кинетической энергии турбулентности:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = 2\mu_t S_{ij}^2 - \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\mu_t}{\kappa} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right), \quad (4)$$

где  $\kappa=0,7179$ ,  $S_{ij}$  определяется по формуле:

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right).$$

Для замыкания системы уравнений используем граничные условия, основанные на применении теплофизических свойств воды при сверхкритических параметрах.

Результаты расчетов профиля скорости воды СКД в вертикальной трубе диаметром 22,7 мм по рассматриваемой математической модели были сопоставлены с экспериментальными данными Курганова В.А. [2,3]. Получено удовлетворительное согласование опытных и экспериментальных данных для подъемного и опускного течений.

### Метод расчета

Расчетным методом для данной задачи был выбран метод контрольного объема, который ближе к физике моделируемых процессов.

Метод контрольного объема [4] с точки зрения вывода уравнений для конечных разностей весьма похож на другие методы, например на интегральный метод.

В качестве алгоритма расчета был выбран алгоритм SIMPLER, описанный в работе [4].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Авраменко А.А., Б.И. Басок Б.И., Кузнецов А.В. Групповые методы в теплофизике. – Киев.: Наукова думка, 2003. – 483 с.
2. Курганов В.А. Теплообмен и сопротивление в трубах при сверхкритических давлениях теплоносителя. – Теплоэнергетика, 1998. – вып.3. – 2 с.
3. Курганов В.А. Теплообмен и сопротивление в трубах при сверхкритических давлениях теплоносителя. – Теплоэнергетика, 1998. – вып.4. – 35 с.
4. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. – Мир Год, 1980. – 612 с.
5. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1974. – 711 с.