
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОЦЕССОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИХ СИСТЕМ

Горош Виктор Александрович,

аспирант, Омский государственный технический университет

Россия, Омск

gorosh.viktor@gmail.com

Аннотация

В статье рассмотрено современное состояние процессов моделирования теплопередающих систем. Отмечается, что существующие методы и методики расчетов конвективных теплообменников не отвечают новым потребностям, условиям и возможностям исследований теплообменных узлов объектов теплоэнергетики, в частности, не позволяют оперативно определять последствия внесенных теплообменников. При разработке многочисленных методов моделирования, наиболее эффективно используемых для решения технологических, инженерных и режимных задач в области теплоэнергетики, необходимо использовать максимально адекватные модели.

Ключевые слова: моделирование, теплопередающие системы, состояние, процессы, эффективность.

CURRENT STATE OF HEAT TRANSFER SYSTEMS MODELING PROCESSES

Viktor A. Gorosh,

postgraduate student, Omsk State Technical University

Russia, Omsk

gorosh.viktor@gmail.com

ABSTRACT

The article considers the current state of heat transfer systems modeling processes. It is noted that existing methods and techniques for calculating convective heat exchangers do not meet the new needs, conditions and possibilities of studying heat exchange units of heat power engineering facilities, in particular, do not allow promptly determining the consequences of introduced heat exchangers. When developing numerous modeling methods that are most effectively used to solve technological, engineering and regime problems in the field of heat power engineering, it is necessary to use the most adequate models.

Keywords: modeling, heat transfer systems, state, processes, efficiency.

При эксплуатации, исследовании и налаживании теплоэнергетического оборудования теплоэлектростанций (ТЭС) необходимо определить влияние различных

режимных изменений на условия и показатели работы как конкретных агрегатов в целом, так и их узлов в частности. Усовершенствование существующих технологий производства энергии, а также разработка и проектирование новых невозможно без использования современных методов их моделирования [1]. Данные методы позволяют значительно быстрее и экономически выгодно по сравнению с традиционными подходами сравнивать между собой различные варианты режимов работы оборудования и его конструктивные особенности [2]. Математическое моделирование успешно используется для проведения численного анализа энергетических балансов в сравнении различных вариантов объединения солнечных тепловых систем с фотоэлектрическими преобразователями для одновременного производства тепловой и электрической энергии [3-6].

Основной задачей повышения эффективности работы теплообменных аппаратов в режимах от минимальной до максимальной нагрузки является обеспечение максимально возможного КПД котла или теплопередающей системы, где теплообменник является рабочим или регулируемым элементом. Усовершенствование существующих теплопередающих технологий, а также разработка и проектирование новых невозможно без использования современных методов их моделирования. Модели противоточного и прямоточного теплообменника были разработаны еще в прошлом веке. Они представлены уравнениями с использованием температурного напора и без него [1, 2, 3]. За время отсутствия приложений для расчетов на компьютерах более удобными для практических расчетов оказались зависимости с температурным напором. Результаты обработки модели теплообменника с однократно перекрестным движением теплоносителей без поперечного перемешивания каждого из них впервые опубликовал Вильгельм Нуссельт в 1911 году, а усовершенствованный вариант – в 1930 году. [1].

Модели теплообменников для других вариантов поперечного перемешивания каждого из теплоносителей опубликовал Д. М. Смит в 1934 г. [2]. Впервые проработанные математические модели теплообменников с перекрестным движением теплоносителей [1, 2] не содержали температурного напора, а сложность представленных зависимостей существенно ограничивала сферу их практического применения. Проработав дополнительно материалы [1] и [2] Р. А. Бауман, А. К. Мюллер и В. М. Нагл в 1940г. предложили и построили соответствующие номограммы [3]. В последующие десятилетия такой подход стал наиболее приемлемым для практических расчетов, что и было отражено в справочной и учебной литературе. В эти же десятилетия выполнено значительное количество наработок и дополнительного усовершенствования методов тепловых расчетов теплообменников. Однако потребность в радикальных изменениях возникла при исследовании систем взаимосвязанных теплообменников и внедрении приложений для расчетов на компьютерах.

Рост мощности энергоустановок, усложнение их узлов по взаимосвязанным теплообменникам и увеличение количества факторов режимного и конструктивного воздействия на теплопередающие системы существенно ограничили возможности экспериментальных исследований условиями безопасности, средств и времени. Вульман Ф. А. и Хорьков Н. С. описали особенности внедрения приложений для расчетов на компьютерах практически сняло ограничения для широкого использования сложных моделей [4].

Одновременно актуальной стала разработка методов формирования и применения моделей систем теплообменников, взаимно связанных как между собой, так и с другими элементами энергоустановок. А. Д. Рычков системно рассмотрел моделирование в теплоэнергетике с использованием вычислительных технологий [5]. Актуальной стала потребность исследований влияния режимных и конструктивных изменений на теплообменники, состояние которых в эксплуатационных условиях отличается от

проектного. Применение классических методов проверочных расчетов усложняется трудностями получения требуемой начальной информации о фактическом значении расхода теплоносителей и фактическом состоянии стен теплообменников. В итоге необходимой стала проработка существенно новых подходов к формированию и применению моделей теплообменников.

Именно поэтому целью данной статьи является анализ современного состояния процессов моделирования теплопередающих систем.

Для парового котла ТЭС основными режимными факторами моделирования могут быть:

- расход теплоносителей (воздуха, воды, пара, дымовых газов) на входе в паровой котел или в отдельные его поверхности нагрева;
- температура теплоносителей на входе в паровой котел и его узлы;
- состояние поверхностей нагрева (загрязнения);
- обводы, рециркуляции и перетоки теплоносителей;
- дополнительные подводы или отводы теплоносителей.

Приведенные входные режимные факторы обуславливают изменения температуры теплоносителей на входе парового котла и выходе из его узлов, что существенно влияет на изменение экономичности и надежности работы парового котла.

Традиционно указанные зависимости определяются экспериментально. Однако с увеличением мощности, параметров и габаритов оборудования проведение экспериментов усложняется и трудоемко. Использование известных методов проектных (конструкторских) и проверочных расчетов [1, 2] при решении режимных задач является недостаточно эффективными, поскольку применение этих методов требует значительного количества начальной информации, труднодоступной в условиях эксплуатации (оборудование существенно изношенное, загрязненное или условия его использования отличаются от заложенных в проекте).

Указанные трудности стимулируют разработку специальных методов расчетов, позволяющих определять режимные зависимости оперативно, на основе ограниченной наиболее доступной начальной информации.

Повышение эффективности гибридных систем, одновременно использующих различные возобновляемые источники энергии [7], методами математического моделирования также можно достичь оптимального выбора системы по ее производительности, контролировать количество доступной энергии от каждого источника возобновляемой энергии и количество энергии, используемой от каждого источника, проектировать системы хранения тепловой энергии, использующие скрытую теплоту фаз. Методы математического моделирования также используются для повышения эффективности улавливания парниковых газов. Так, у [8] предложена динамическая модель, предназначенная для интеллектуального управления процессом улавливания углекислого газа при сжигании пылевидного угля. При разработке многочисленных методов моделирования, наиболее эффективно используемых для решения технологических, инженерных и режимных задач в области теплоэнергетики, необходимо использовать максимально адекватные модели.

Для примера модель парового котла с циркулирующим псевдоожиженным слоем угля [9], учитывающая гидродинамику, теплообмен и особенности горения топлива хорошо согласуется с экспериментальными данными, полученными на промышленном паровом котле, в части предсказания температуры дымовых газов, их состав и концентрации компонентов газовой смеси в различных точках. Использование оптимальных моделей, учитывающих максимально возможное количество переменных [10], позволяет установить влияние различных факторов на работу теплоэнергетического

оборудования котельных ТЭЦ, ТЭС и проводить расчеты нормативных и фактических показателей его работы. В частности, используя регрессионный анализ [11], можно на основе разнородной исходной информации получать одно- или многофакторные уравнения. Н. Н. Галашовым и С. В. Метневым были исследованы автоматизированные расчеты нормативных и фактических показателей ТЭЦ. С помощью регрессионного анализа энергетические характеристики оборудования из табличного или графического представления преобразованы в одно- или многофакторные уравнения. С помощью метода объектного моделирования разработана модель автоматизированного расчета показателей ТЭЦ Томской ТЭЦ-3 [12].

В исследовании М. Дулай и Д. Бика представлено математическое моделирование паровой турбины, разработанное на основе уравнения непрерывности [13]. Эта модель используется для определения схемы моделирования для паровой турбины с секциями высокого, среднего и низкого давления. С использованием программных средств Matlab/Simulink было смоделировано поведение крутящего момента вала в зависимости от открытия регулирующих клапанов с неопределенными параметрами процесса, чем реакция паровой турбины на скачок, с нагрузкой и пропорциональным алгоритмом управления.

Результаты моделирования турбины [14] необходимы для правильной работы системы динамического анализа и управления ее мощностью. Разработанная модель спирального теплообменника, учитывающая разные режимы теплопереноса [14], позволяет разработать конструкцию теплообменника, что обеспечит наилучшую передачу теплоты при минимальной металлоемкости. В целях исследования влияния места размещения деаэрата на эффективность рекуперации тепла парогенератора был проведен анализ [15], обнаруживший, что размещение деаэрата между подогревателями низкого и среднего давления обеспечивает большую эффективность работы по сравнению с размещением деаэрата возле конденсатора турбины, что хорошо согласуется с экспериментальными данными. Используя методы математического моделирования, можно разрабатывать модели и проводить анализ их выполнения не только по отдельным элементам теплоэнергетического оборудования, но и реализовывать моделирование сложных многокомпонентных объектов. Одним из примеров является имитационное моделирование угольной электростанции мощностью 500 МВт [15], термодинамические модели которой основаны на первом законе термодинамики с использованием уравнений баланса для каждого компонента. Исследуемый компонент, в свою очередь, моделируется отдельным объектом контроля в стационарных условиях.

Таким образом, существующие методы и методики расчетов конвективных теплообменников не отвечают новым потребностям, условиям и возможностям исследований теплообменных узлов объектов теплоэнергетики, в частности, не позволяют оперативно определять последствия внедренных теплообменников. В связи с трудностями получения необходимой начальной информации о фактическом значении расхода теплоносителей и фактическом состоянии стен теплообменников применение классических методов проверочных расчетов является сложным, длительным и, в отдельных случаях, невозможным. В результате необходимой стала обработка существенно новых подходов к формированию и применению моделей и режимных расчетов теплообменников.

Список литературы:

1. Nusselt W. Eine neue Formel für den Wärmedurchgang im Kreuzstrom. – Technische Mechanik und Thermodynamik, 1930, Band 1, №12, s.417–422.

2. Fjl N. Mean temperature difference in cross-flow heat exchange applied to multipass air-cooled fin-tube units with a finite number of rows. 2016. <https://ntrl.ntis.gov/NTRL/dashboard/searchResults/titleDetail/PB218546.xhtml>
3. Verma P., Singal S.K. Review of mathematical modeling on latent heat thermal energy storage systems using phase-change material // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2008. – Vol. 12. – P. 999–1031.
4. Вульман Ф. А., Хорьков Н. С. Тепловые расчеты на ЭВМ теплоэнергетических установок / Под общ. ред. В. Я. Рыжкина. – М.: Энергия, 1975. – 200 с
5. Рычков А. Д. Моделирование в теплоэнергетике. Вычислительные технологии. – Том 7, № 2, 2002. – С. 94–105.
6. Baskar P., Edison G. A review of mathematical models for performance analysis of hybrid solar photovoltaic – thermal (PV/T) air heating systems // Advanced Materials Research. – 2013. – Vol. 768. – P. 29–39.
7. Bhandari B., Poudel SR., Lee K-T., Ahn S-H. Mathematical modeling of hybrid renewable energy system: a review on small hydro-solar-wind power generation // International journal of precision engineering and manufacturing-green technology. – 2014. Vol. 1 (2). – P. 157–173.
8. Verma P., Singal S.K. Review of mathematical modeling on latent heat thermal energy storage systems using phase-change material // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2008. – Vol. 12. – P. 999–1031.
9. Zhang Q., Turton R., Bhattacharyya D. Development of model and model-predictive control of an MEA-based postcombustion CO₂ capture process // Ind. Eng. Chem. Res. – 2016. – Vol. 55 (5). – P. 1292–1308.
10. Huilin L., Guangbo Z., Rushan B., Yongjin C., Gidaspow D. A coal combustion model for circulating fluidized bed boilers // Fuel – 2000. Vol. 79. – P. 165–172.
11. Wang J., Ge W., Li J. Eulerian simulation of heterogeneous gas–solid flows in CFB risers: EMMS-based sub-grid scale model with a revised cluster description // Chem. Eng. Sci. – 2008. Vol. 63. – P. 553–571.
12. Галашов Н. Н., Метнев С. В. Автоматизированный расчет нормативных и фактических показателей ТЭЦ // Электрические станции. – 2008. – № 11. – С. 26–28.
13. Dulau M., Bica D. Mathematical modelling and simulation of the behaviour of the steam turbine // Procedia Technology. – 2014. – Vol. 12. – P. 723–729.
14. Guha P., Unde V. Mathematical modeling of spiral heat exchanger // International journal of engineering research. – 2014. – Vol. 3 (4). – P. 226–229.
15. Srinivas T. Study of a deaerator location in triple-pressure reheat combined power cycle // Energy. – 2009. – Vol. 34 (9). – P. 1364–1371.

References:

1. Nusselt W. Eine neue Formel für den Wärmedurchgang im Kreuzstrom. – Technische Mechanik und Thermodynamik, 1930, Band 1, №12, s.417–422.
2. Fjl N. Mean temperature difference in cross-flow heat exchange applied to multipass air-cooled fin-tube units with a finite number of rows. 2016. <https://ntrl.ntis.gov/NTRL/dashboard/searchResults/titleDetail/PB218546.xhtml>

3. Verma P., Singal S.K. Review of mathematical modeling on latent heat thermal energy storage systems using phase-change material // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2008. – Vol. 12. – P. 999–1031.
4. Vulman F. A., Khorkov N. S. Thermal calculations on a computer for heat power plants / Under the general editorship of V. Ya. Ryzhkin. - M.: Energiya, 1975. - 200 p.
5. Rychkov A. D. Modeling in heat power engineering. Computational technologies. - Vol. 7, No. 2, 2002. - P. 94-105.
6. Baskar P., Edison G. A review of mathematical models for performance analysis of hybrid solar photovoltaic – thermal (PV/T) air heating systems // Advanced Materials Research. – 2013. – Vol. 768. – P. 29–39.
7. Bhandari B., Poudel SR., Lee K-T., Ahn S-H. Mathematical modeling of hybrid renewable energy system: a review on small hydro-solar-wind power generation // International journal of precision engineering and manufacturing-green technology. – 2014. Vol. 1 (2). – P. 157–173.
8. Verma P., Singal S.K. Review of mathematical modeling on latent heat thermal energy storage systems using phase-change material // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2008. – Vol. 12. – P. 999–1031.
9. Zhang Q., Turton R., Bhattacharyya D. Development of model and model-predictive control of an MEA-based postcombustion CO₂ capture process // Ind. Eng. Chem. Res. – 2016. – Vol. 55 (5). – P. 1292–1308.
10. Huilin L., Guangbo Z., Rushan B., Yongjin C., Gidaspow D. A coal combustion model for circulating fluidized bed boilers // Fuel – 2000. Vol. 79. – P. 165–172.
11. Wang J., Ge W., Li J. Eulerian simulation of heterogeneous gas–solid flows in CFB risers: EMMS-based sub-grid scale model with a revised cluster description // Chem. Eng. Sci. – 2008. Vol. 63. – P. 553–571.
12. Galashov N. N., Metnev S. V. Automated calculation of standard and actual indicators of thermal power plants // Electric stations. - 2008. - No. 11. - P. 26-28.
13. Dulau M., Bica D. Mathematical modelling and simulation of the behaviour of the steam turbine // Procedia Technology. – 2014. – Vol. 12. – P. 723-729.
14. Guha P., Unde V. Mathematical modeling of spiral heat exchanger // International journal of engineering research. – 2014. – Vol. 3 (4). – P. 226–229.
15. Srinivas T. Study of a deaerator location in triple-pressure reheat combined power cycle // Energy. – 2009. – Vol. 34 (9). – P. 1364–1371.