
УДК 621.316

Т.В. ЛУГМА, инженер группы по моделированию технологических
процессов, производственный отдел, КАО «Азот»

Е.В. Соколов, к.т.н., руководитель группы по моделированию
технологических процессов, производственный отдел, КАО «Азот»
г. Кемерово

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ НА КАО «АЗОТ»

Математическое моделирование технологических процессов - это использование компьютерных программ для расчёта материальных и тепловых балансов технологического процесса. Этот инструмент позволяет представить технологический процесс в виде интерактивной схемы на экране компьютера и математических уравнений за экраном. Математическое описание процесса основывается на базовых законах термодинамики и химической кинетики.

Математическое моделирование может проводиться для расчета и оценки энергетических и технологических систем, как при оптимизации действующего производства, так и на стадии поискового конструирования, когда необходима оценка теплообменных процессов с учетом реальных эксплуатационных нагрузок [1].

При наличии математических моделей успешно решаются задачи оптимизации теплоэнергетических процессов и управления ими. Ниже приведены примеры применения математического моделирования по экономии потребления природных ресурсов и энергосбережению на площадке КАО «Азот».

1. Экономия потребления природных ресурсов путем совершенствования производственной технологии

Эффективный процесс сгорания любого топлива может быть обеспечен только при правильном подсчете количества кислорода, которое необходимо для полного горения. Несовершенная организация процессов горения как в топках, так и в камерах сгорания приводит к химическим и механическим потерям (неполное сгорание, уносы с продуктами сгорания, недожога и др.) [3].

На производственных площадках зачастую не измеряют расход воздуха, который подается на горение природного газа и получения тепловой энергии. Косвенно расход воздуха определяют и регулируют по количеству кислорода в дымовом газе при помощи газоанализатора, установленного стационарно. Однако не на всех предприятиях установлены стационарные газоанализаторы, измеряющие содержание кислорода в дымовом газе. В этом случае возможно применить инструмент математического моделирования и подобрать расход воздуха исходя из теплового баланса процесса (рис.1).

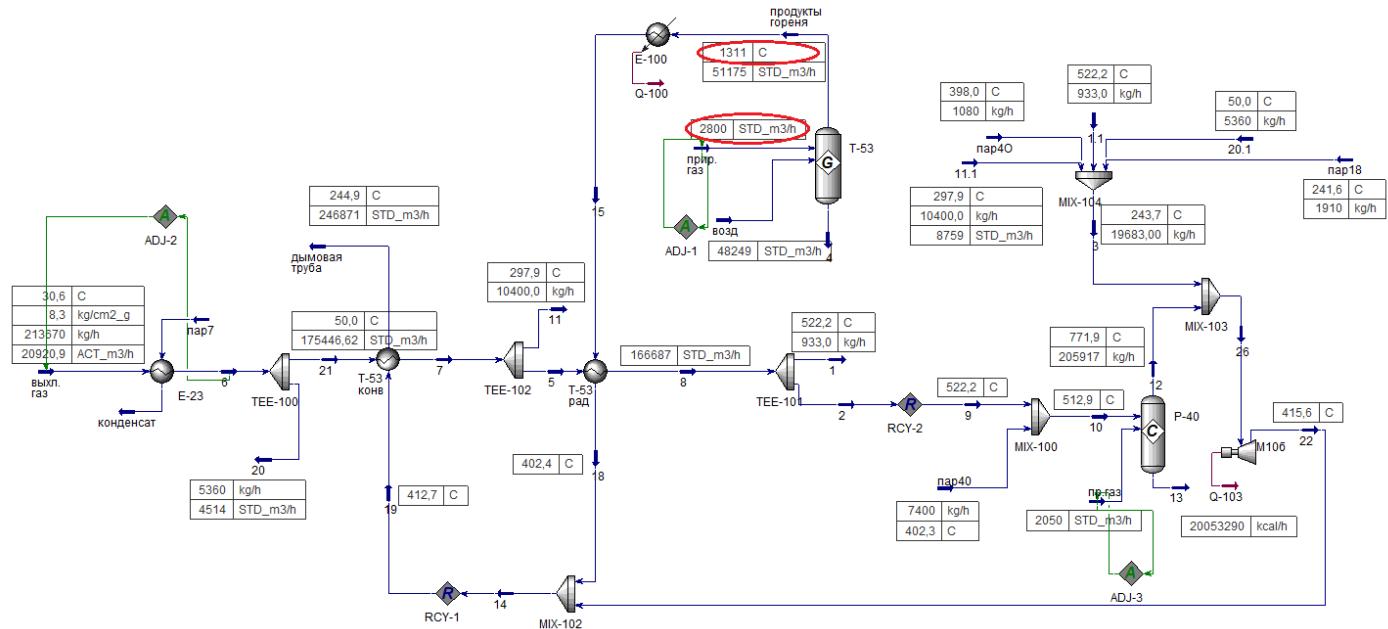


Рис.1. Исходный режим горения природного газа в воздухе

На рис.1 представлен подогреватель выхлопных газов, состоящий из камеры радиации, смесительной камеры и камеры конвекции, которые связаны между собой конструктивно. Сжигание природного газа происходит в горелках, расположенных в нижней части подогревателя. Воздух, необходимый для сжигания природного газа в подогреватель поступает из атмосферы через шибера горелок за счет разряжения в подогревателе, создаваемого дымовой трубой. Выхлопной газ из абсорбционной колонны последовательно проходит конвективную и радиантную зону нагреваясь до 525°C за счет тепла выхлопных газов после газовой турбины и тепла сгорания природного газа.

Расход воздуха подобран в соответствии с реальным тепловым балансом процесса, при этом коэффициент избытка воздуха $\alpha=1,74$ (при норме для газообразного топлива 1,05-1,20) [3].

Далее подбирается оптимальный режим горения природного газа в воздухе, чтобы тепловой баланс системы оставался неизменным (рис.2).

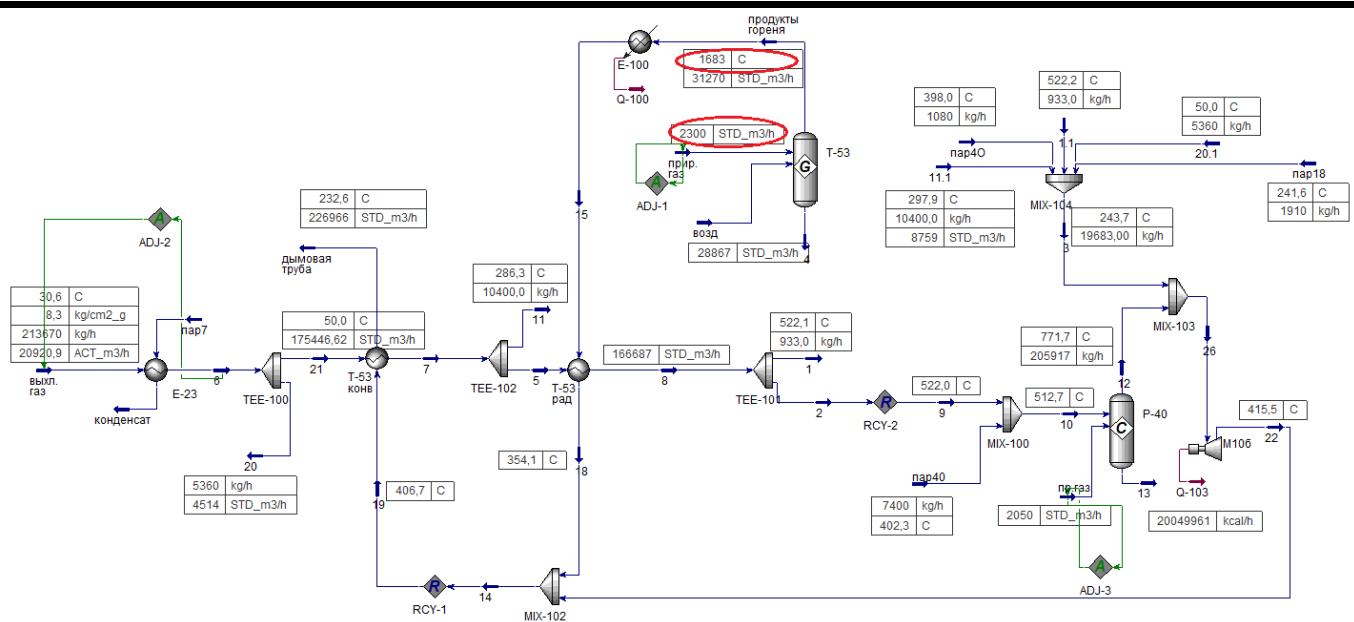


Рис.2. Оптимизация процесса горения природного газа в воздухе

Посредством регулирования расходов воздуха и природного газа возможно достигнуть $\alpha=1,27$, что в свою очередь приведет к сокращению потребления природного газа на $500 \text{ ст.м}^3/\text{ч}$. В представленном случае дальнейшее снижение расхода воздуха невозможно, так как есть ограничения по температуре дымовых газов, поступающих в теплообменник (не более 1634°C).

2. Энергосбережение при работе тепломассообменного оборудования

2.1. Сокращение потребления пара на ведение технологического процесса

Раствор адипата натрия, содержащий 13,5 кг/ч циклогексанола и циклогексанона (далее анол и анон соответственно), последовательно подогревается в двух теплообменниках до температуры $90-100^\circ\text{C}$ и далее поступает в отгонную колонну, где происходит извлечение анола и анона из раствора адипата натрия. С помощью математической модели было установлено, что колонна работает не эффективно, количество извлеченных органических веществ из раствора адипата натрия составляет 0,5 кг/ч или 4%.

После разработки математической модели проведена экономическая оценка работы данного узла и был сделан вывод, что следует отключить последовательно работающие теплообменники и колонну и направлять раствор адипата натрия по трубопроводам напрямую в следующий цех, т.к. затраты на ведение технологического процесса превышают прибыль, получаемую за счет извлечения анола и анона из раствора.

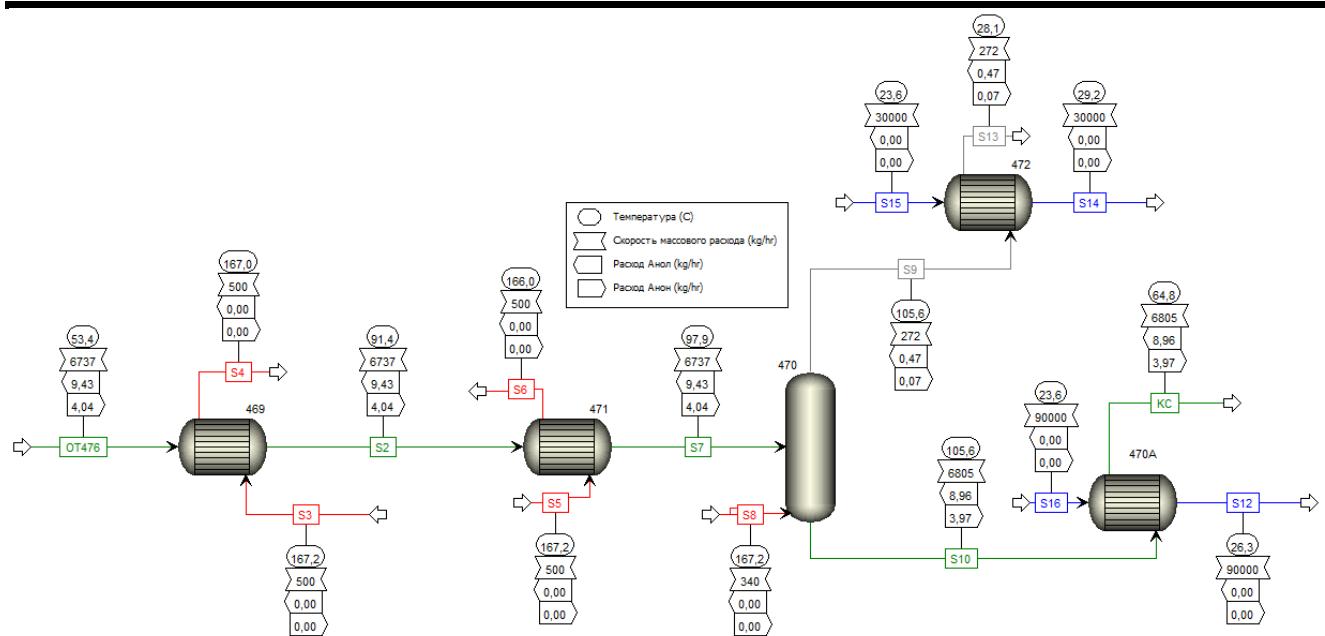


Рис.3. Схема извлечения анона и анола из раствора адипата натрия

Результатом данного расчета явилось обоснование экономической неэффективности работы отгонной колонны и рекомендация по ее отключению.

2.2. Определение влияния накипи трубного пространства котла-утилизатора на выработку пара

Котел-утилизатор предназначен для охлаждения нитрозных газов и получения пара. Технологический газ с температурой 800-880°C после контактных аппаратов проходит последовательно через пароперегреватель и испарительные поверхности, где охлаждается до 450°C, тем самым нагревает котловую воду до образования перегретого пара [2].

На рис.4 показана схема получения пара в котле-утилизаторе при стандартном загрязнении трубного пространства (слой накипи в трубном пространстве 0,35 мм) [4].

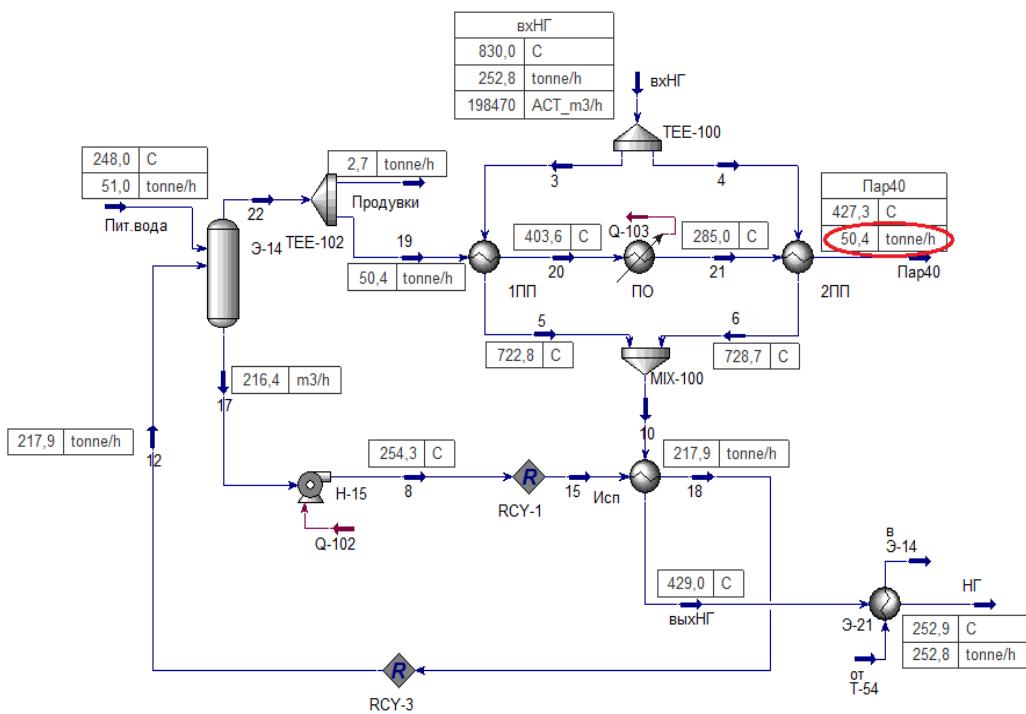


Рис.4. Режим работы котла-утилизатора слой накипи 0,35 мм

Для того, чтобы оценить, как влияет загрязнение в трубном пространстве на выработку пара, было принято решение увеличить коэффициент загрязнения трубного пространства (0,4 мм слоя накипи).

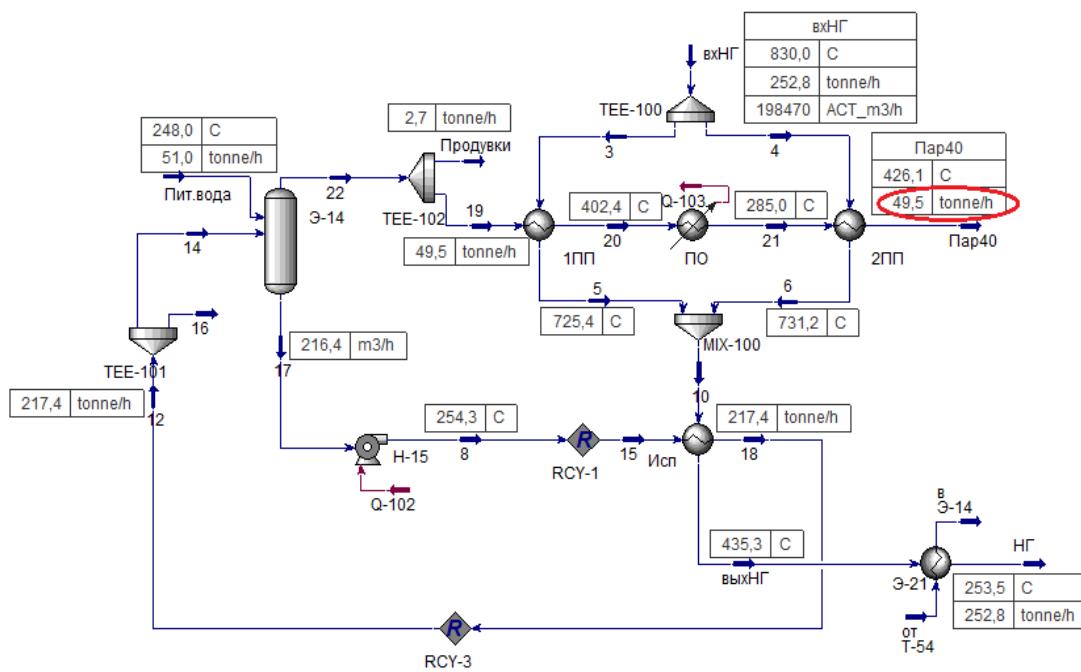


Рис.5. Режим работы котла-утилизатора слой накипи 0,4 мм

Из рис.5 следует, что увеличение загрязнений трубного пространства котла-утилизатора на 0,05 мм приведет к снижению выработки пара на 0,9 т/ч или на 0,6 Гкал/ч. Результатом сделанного расчета явилось обоснование необходимости применения коррекционной обработки воды.

**IV Всероссийская молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
18-20 ноября 2021 года**

411-6

Выводы:

1. Математическое моделирование позволяет определять узкие места процесса и разрабатывать технические решения по их расшивке, анализировать и оптимизировать параметры процесса для повышения производительности и энергоэффективности.
2. Использование моделирования вместо реальных экспериментов снижает затраты на проведение пилотных пробегов на производстве.
3. Проверка идеи на модели позволяет выявить технологические ограничения и риски на раннем этапе проекта.

Список литературы:

1. Голдаев С.В. Практикум по математическому моделированию в теплоэнергетике: учебное пособие; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 152 с.
2. Мельников Е.Я., Справочник азотчика. 2-е изд. перераб. – М.: Химия, 1987. 464 с.
3. Итинская Н.И., Кузнецов Н.А. Справочник по топливу, маслам и техническим жидкостям. - М.: Колос, 1982. – 208 с.
4. Роддатис К.Ф. Котельные установки. Учебное пособие для студентов неэнергетических специальностей вузов. М., «Энергия», 1977. – 432 с.

Информация об авторах:

Лугма Татьяна Васильевна, инженер группы по моделированию технологических процессов, производственный отдел, КАО «Азот», 650021, г. Кемерово, ул. Грузовая, стр. 1, ltv@azot.kuzbass.net

Соколов Евгений Владимирович, к.т.н., руководитель группы по моделированию технологических процессов, производственный отдел, КАО «Азот», 650021, г. Кемерово, ул. Грузовая, стр. 1, sev7@azot.kuzbass.net