

---

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).

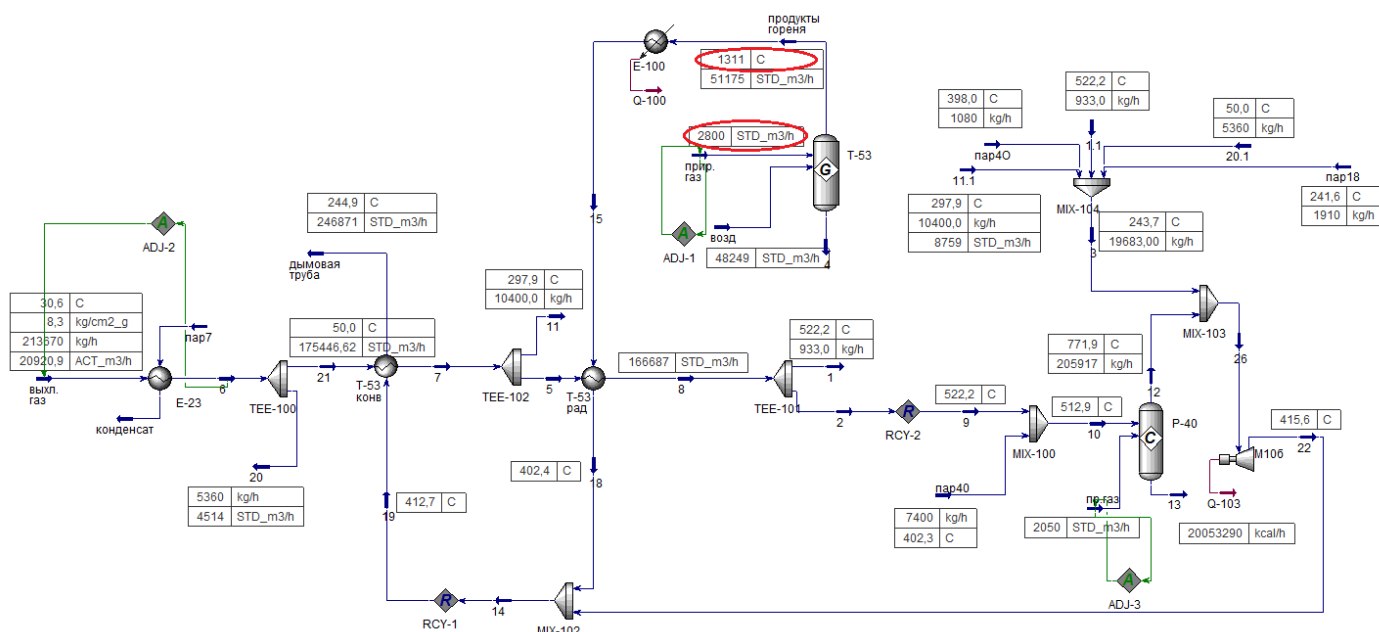


Рис.1. Исходный режим горения природного газа в воздухе

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 шибер 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).



## 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°C и далее поступает в отгонную колонну, где происходит извлечение анола и анола 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.

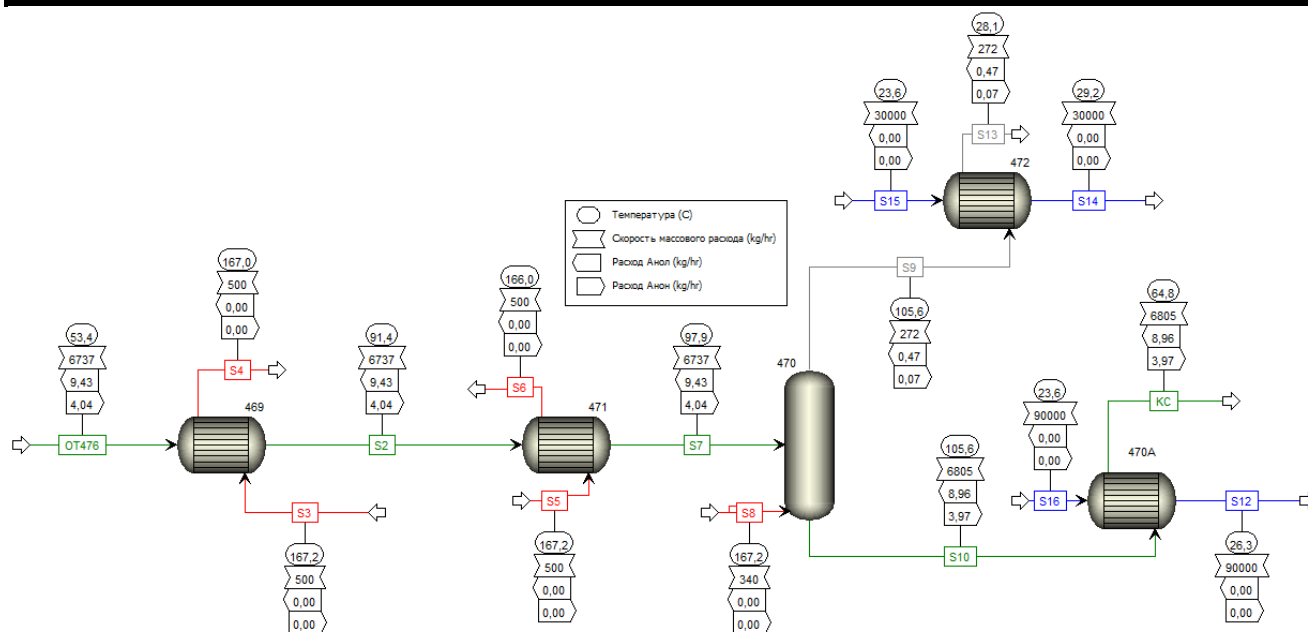


Рис.3. Схема извлечения анона и анола из раствора адипата натрия

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].

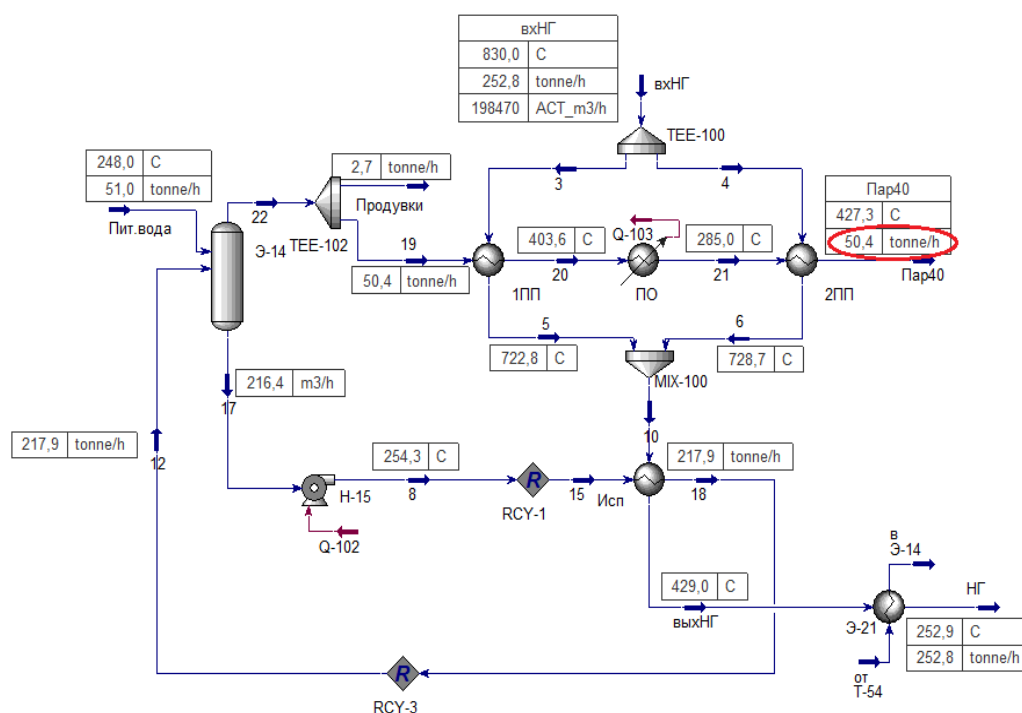


Рис.4. Режим работы котла-утилизатора слой накипи 0,35 мм

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).

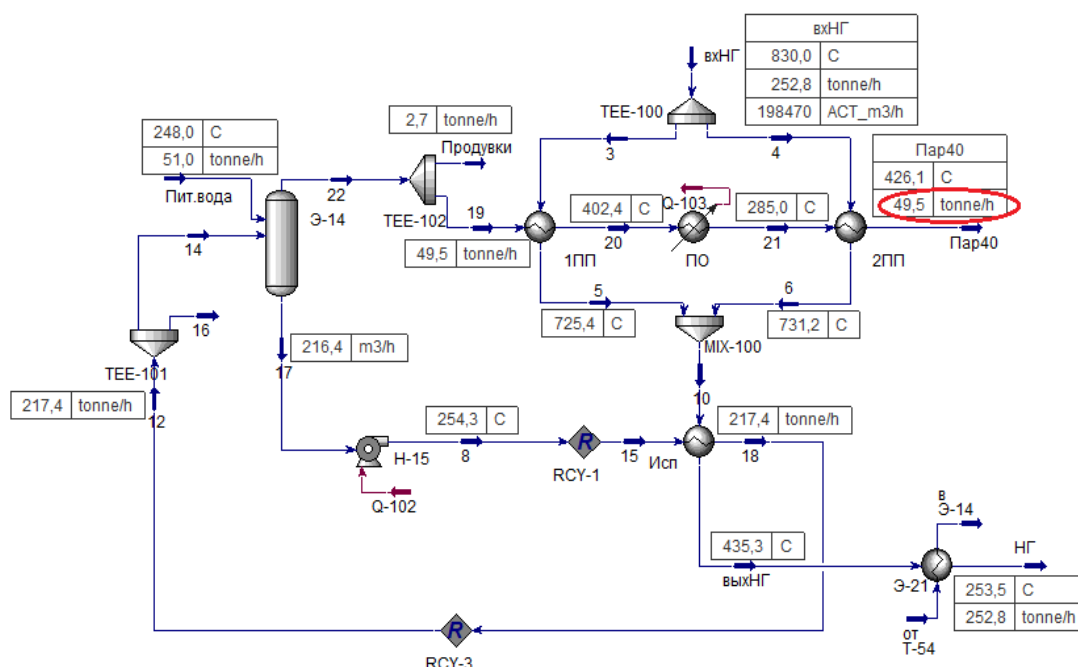


Рис.5. Режим работы котла-утилизатора слой накипи 0,4 мм

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.

---

**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](mailto: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](mailto:sev7@azot.kuzbass.net)