

*«Приоритетные направления развития науки, технологий и техники»,
Нидерланды (Амстердам), 20–26 октября 2015 г.*

Технические науки

**ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ
НЕФТЕГАЗОВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Долотовский И.В., Ларин Е.А.,
Долотовская Н.В.

*Саратовский государственный технический
университет им. Гагарина Ю.А., Саратов,
e-mail: dolotowsky@mail.ru*

Энергетический комплекс (ЭК) нефтегазовых предприятий (НГП) взаимосвязан с технологической системой (ТС), внешними системами энергообеспечения и окружающей средой, и характеризуется сложной структурой и многофункциональными режимами эксплуатации оборудования, установок и производств. Поэтому для решения задач эффективного управления потреблением и генерацией энергоресурсов (ЭР), водопотреблением и водоотведением за любой заданный промежуток времени с необходимой степенью детализации объекта (аппарат, установка, производство, предприятие) требуется создание специализированного информационно-аналитического обеспечения (ИАО), учитывающего технологическую топологию НГП, состав оборудования и режимы эксплуатации.

Следует отметить, что качественной формулировке цели управления потреблением ЭР отвечает многокритериальная задача оптимизации динамического объекта, поскольку ЭК НГП с самого начала его жизненного цикла ставится несколько целей: максимизировать системную эффективность (целесообразность ЭК НГП в топливно-энергетическом комплексе региона) с одновременной минимизацией потребления ЭР от внешних источников, водопотребления и водоотведения.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования ЭК предприятий по подготовке, переработке и транспортировке газа, газового конденсата и нефти позволили сформировать методологию оценки и анализа потребления ЭР, а также разработать комплекс показателей энергетической эффективности и математические модели их расчета с достаточной степенью детализации на каждом иерархическом уровне НГП [1–3].

В качестве базового принципа методологии оптимизации и управления потреблением ЭР нами принят агрегативно-декомпозиционный подход, который предусматривает два этапа исследования: последовательную декомпозицию НГП и выполняемых им целей и функций, и агрегирование (синтез) на соответствующих иерархических уровнях детализации для гене-

рирования оптимальных вариантов ЭК во взаимосвязи с ТС НГП (далее – объекта). На этих этапах решены следующие основные взаимосвязанные задачи:

– разработаны операционно-описательные и иконографические модели объекта; идентифицированы внутренние и внешние связи между элементами (производствами, подсистемами, установками, аппаратами) по степени значимости; выделены детерминирующие элементы и связи;

– разработана методология анализа локальной и системной энергетической эффективности и математические модели их расчета для компонентов и объекта в целом;

– проведены экспериментальные исследования в рамках энергетического аудита крупных НГП – Астраханского и Сосногорского газоперерабатывающих заводов, Ново – Уренгойского завода по подготовке конденсата к транспорту, Сургутского завода стабилизации конденсата, Вуктыльского газопромышленного управления;

– разработаны рациональные алгоритмы расчета, программное обеспечение созданных информационно-аналитических моделей [4] и реляционная база данных (БД) объекта;

– создана информационно-аналитическая система нормирования и оптимизации выработки и потребления топлива и энергоносителей на предприятии (ИАС ТЭР) [5] для определения оптимальных параметров подсистем ЭК и объекта в целом на основе имитационного моделирования;

– проведена успешная экспериментальная апробация ИАС ТЭР в структурных подразделениях Астраханского газоперерабатывающего завода;

– разработан комплекс технических решений по повышению энергетической эффективности ЭК НГП с использованием ИАС ТЭР.

На основе выполненных нами исследований с использованием разработанного программного комплекса (ПК) создано ИАО для решения задач оперативного управления энергопотреблением и разработки стратегии развития ЭК НГП [4, 5], содержащее совокупность расчетно-информационных блоков, модулей и реляционную БД, и реализующее определение показателей энергетической эффективности НГП с любой технологической топологией.

Фундаментальная организация разработанного ПК основана на блочно-иерархическом принципе и реализована в отдельных его компонентах – программных модулях, взаимосвязанных друг с другом. Модули являются дискретными элементами ПК, полностью допускают

раздельную компиляцию, объединение с другими элементами и загрузку.

Основой каждого модуля является программное обеспечение, разработанное с использованием метода пошагового усовершенствования, когда первоначально были определены данные и способы их обработки в целом для ЭК и ТС НПП, после чего процедура определения осуществлялась во все возрастающей степени подробности (производства, установки, аппараты).

При разработке программного обеспечения расчета энергетических характеристик на уровне установок и аппаратов использован метод инкапсуляции, в результате чего для пользователя оставлены видимыми только внешние интерфейсы модулей, которые определяют все допустимые операции над ними (ввод данных, расчет, вывод результатов, передача информации) при скрытой от пользователя программной реализации модуля.

После ввода исходных данных расчеты с использованием разработанных модулей ПК осуществляются как в автоматическом (без участия пользователя), так и в автоматизированном режиме. В последнем случае в интерфейсе пользователя предусмотрены соответствующие опции для обмена информацией с программными компонентами модуля.

Программное обеспечение модулей реализует разработанные математические модели и алгоритмы расчета характеристик ЭК и ТС на любом иерархическом уровне НПП, которые представлены в авторских разработках. Модули планирования, анализа и нормирования потребления и генерации ЭР, водопотребления и водоотведения содержат функции, объединенные в логически законченные блоки расчета, основными из которых являются блоки расчета энерготехнологического баланса (материального и энергетического), гидродинамики и свойств материальных потоков и ЭР, кинетики процессов, а также базы данных параметров и констант по аппаратам и процессам, методическим положениям учета, нормирования, планирования, регулирования и оптимизации генерации и потребления ЭР, результатам энергетического аудита и экспериментальных исследований.

Модули разработанного ПК объединены в две группы: 1 – модули для определения, нормирования, оптимизации характеристик действующих объектов; 2 – модули для расчета и оптимизации характеристик реконструируемых, модернизируемых и проектируемых ЭК и ТС НПП.

В первой группе, в свою очередь, выделены модули расчета энерготехнологических балансов (ЭТБ) установок, производств, подсистем и модули расчета энергетических характеристик оборудования в составе НПП.

Вторая группа представлена модулями структурного расчета основного оборудования НПП.

Базовым элементом ПК расчета энергетических характеристик НПП является блок расчета материальных балансов установок и производств предприятия в широком диапазоне значений состава сырья. В основу разработанного программного модуля положены математические модели материальных балансов и результаты системного анализа технологических процессов действующих НПП [1–3].

Синтез оптимального ЭК и формирование стратегии управления энергопотреблением НПП осуществляются поэтапно в следующей последовательности.

1. Формируется БД исходной информации по профилю НПП, составу сырья и номенклатуре выпускаемой продукции, графикам планово-предупредительных и капитальных ремонтов оборудования, базе данных по аппаратам, методикам, процессам и другим данным. В исходные данные входят технологические, конструктивные характеристики ЭК и ТС, эколого-климатические и экономические факторы (в том числе комплекс критериев эффективности).

2. Идентифицируется структура ЭК и ТС НПП, необходимая для выполнения производственного задания с имеющимся ресурсом оборудования.

3. Формируются модели расчета соответствующих элементов объекта с выделением моделей функций (расчета материальных и энергетических балансов) и моделей данных (расчета показателей эффективности аппаратов, установок, подсистем, производств).

4. Осуществляется формирование вариантов ЭТБ по различным видам ЭР и обобщенного ЭТБ НПП с учетом влияющих климатических, технико-экономических, экологических, технологических и других факторов для различных периодов жизненного цикла НПП.

5. Оптимизируются режимные переменные и структура ЭК в соответствии с возможностью управления потреблением и генерацией ЭР. При этом формирование оптимальной структуры ЭК, обеспечивающей энергоресурсами ТС с оптимальными режимами эксплуатации оборудования осуществляется в соответствии с принятым комплексом критериев эффективности, включающим показатели рационализации энергопотребления, водопотребления, водоотведения, технико-экономические и экологические критерии.

Полученные результаты являются основой для формирования задания внешней системе энергоснабжения, обеспечивающей НПП электрической и тепловой энергией, а также системам водоснабжения, водоотведения и утилизации отходов.

В разработанном ИАО систем управления энергопотреблением основным блоком является БД, которая формируется на начальном этапе синтеза оптимального ЭК, и объем и инфор-

мативность которой определяет возможность управляющих воздействий при оптимизации и реконструкции объекта. Для топливной, электро-теплотехнологической и других подсистем ЭК и ТС БД по оборудованию (БДО) позволяет формировать структуру промышленного предприятия и разрабатывать энергетические балансы по видам ЭР и комплексный ЭТБ.

Создание БДО осуществлялось нами на трех взаимосвязанных уровнях проектирования: концептуальном, логическом и физическом.

На стадии концептуального проектирования изучена деятельность предприятия, определены задачи, которые требовалось решить с использованием проектируемой БДО, выполнен анализ информационных потребностей функций и процессов, выполняющих поставленные задачи. В результате концептуального проектирования разработана композиционная модель БДО, в которой в самом общем случае информационные объекты предприятия соотносятся между собой следующим образом. ЭК и ТС связаны с производством отображением 1:М («один-многим») – то есть, в составе ЭК и ТС имеется несколько производств, но каждое производство относится только к ЭК, связанному с ТС НПП. Таким же отображением связаны информационные объекты «производство» и «установка». Отображения «один-многим» распространяются и на объекты нижних уровней иерархии. Каждая установка комплектуется несколькими агрегатами (ассоциация типа М), при этом каждый агрегат принадлежит только одной установке (ассоциация типа 1). Агрегат составляет некоторое количество аппаратов, при этом любой из аппаратов, составляющих агрегат, принадлежит только этому агрегату.

Например, в структуру предприятия по переработке гетерогенного углеводородного сырья (газа, газового конденсата, нефти) входят многочисленные унифицированные ряды типовых аппаратов и агрегатов. Очевидно, что хранить в базе данных полный список характеристик отдельно по каждому наличному аппарату и агрегату, принадлежащему к ограниченной номенклатуре типовых моделей, нерационально, поскольку это вызовет неоправданное увеличение размера БДО и затруднит ее заполнение и редактирование. Целесообразнее выделить информационные объекты «модель аппарата» и «модель агрегата» («марка аппарата / агрегата») с соответствующими отображениями М:М, поскольку в состав агрегата одной модели входит несколько моделей аппаратов, но в то же время одна модель аппарата может применяться во многих моделях агрегатов.

Таблицы с данными по моделям аппаратов и агрегатов составляют основу для формирования таблиц по конкретным экземплярам аппаратов и агрегатов предприятия, которые, помимо поля с указанием модели аппарата и агрегата

(связанного с соответствующей записью в таблице модельного ряда) будут содержать поля с данными по каждому описываемому экземпляру оборудования. Одним из обязательных элементов информационной схемы является поле с данными об установке указанного оборудования, позволяющее на основе составленных таким образом таблиц получить состав и структуру установок предприятия.

В свою очередь, таблицы более высокого уровня иерархии – уровня установок – содержат данные с разбивкой установок по производствам, благодаря чему в БДО закладывается структура предприятия в целом.

Входящие в состав ИАО клиентские программы, основной из которых является «Система энергоресурс» [4], используя разработанную БДО, позволяют осуществлять требуемые пользовательские функции: рассчитывать энергетические характеристики оборудования, показатели энергетической эффективности установок, производств, ЭК и предприятия в целом, формировать ЭТБ на любой расчетный период времени, нормировать и оптимизировать потребление и генерацию ЭР на любом иерархическом уровне предприятия.

Функционирование клиентских программ осуществляется на автоматизированных рабочих местах пользователей, каждое из которых включает: информационно-аналитическую подсистему, состоящую из информационно-аналитических модулей учета, планирования, нормирования, оптимизации ЭТБ аппаратов, установок, производств, предприятия (каждый из которых, в свою очередь, содержит соответствующие блоки программной компьютерной обработки и анализа данных); модуль отображения и документирования результатов (учета, планирования, нормирования, оптимизации ЭТБ аппаратов, установок, производств, предприятия); блок формирования запросов к центральному серверу и блоку памяти с БДО.

Экспериментальная обработка ИАО систем управления энергопотреблением НПП проведена как для отдельных подсистем ЭК (электро- и теплотехнологической, топливной) [6–9], показав широкие возможности программного комплекса в области решения задач формирования оптимальных эксплуатационных режимов оборудования и систем внешнего энергоснабжения в условиях переменных технологических нагрузок и параметров процессов, так и для всего ЭК НПП [10, 11] при разработке стратегии его развития на основе собственных энергогенерирующих источников с утилизацией горючих отходов и стоков и минимизацией внешнего энерго- и водопотребления.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (Проект № 1579).

Список литературы

1. Ларин Е.А., Долотовский И.В., Долотовская Н.В. Энергетический комплекс газоперерабатывающих предприятий. Системный анализ, моделирование, нормирование. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 440с.
2. Долотовский И.В., Ларин Е.А., Долотовская Н.В. Системный анализ энергетического комплекса предприятий подготовки и переработки газа. – Саратов: Буква, 2014. – 326 с.
3. Долотовский И.В., Ларин Е.А., Долотовская Н.В. Энергетическая эффективность технологических систем промышленных предприятий: учеб пособие. – Саратов: Буква, 2014. – 132 с.
4. Система «Энергоресурс»: программа для ЭВМ № 2010615353 / Е.А. Ларин, И.В. Долотовский, Н.В. Долотовская. – №2010613798; заявл. 29.06.2010; опубл. 20.08.2010.
5. Патент № 2465639 РФ, МПК G06F 17/00. Информационно-аналитическая система нормирования и оптимизации выработки и потребления топлива и энергоносителей на предприятии / И.В. Долотовский, Е.А. Ларин, Н.В. Долотовская. – заявл. 22.11.2011; опубл. 27.10.2012, Бюл. № 30.
6. Долотовский И.В., Ларин Е.А., Долотовская Н.В. Управление потреблением энергетических ресурсов путем режимной оптимизации привода технологических агрегатов // Вопросы электротехнологии. – 2013. – № 1 (1). – С. 84-90.
7. Долотовский И.В., Ларин Е.А., Долотовская Н.В. Методология оптимизации и управления потреблением энергоресурсов на предприятиях переработки углеводородного сырья // Автоматизация. Современные технологии. – 2015. – № 3. – С. 36-42.
8. Долотовский И.В., Ленькова А.В. Оптимизация топливной системы энергетического комплекса газоперерабатывающих предприятий // Автоматизация. Современные технологии. – 2015. – № 4. – С. 15-20.
9. Система управления потреблением энергоресурсов предприятий переработки углеводородного сырья / И.В. Долотовский, Е.А. Ларин, А.В. Ленькова, Н.В. Долотовская // Проблемы управления в сложных системах: Труды XIV Международной конференции (19-22 июня 2012 г. Самара, Россия) / Под ред.: акад. Е.А. Федосова, акад. Н.А. Кузнецова, проф. В.А. Виттиха. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2012. – С. 343-350.
10. Долотовский И.В., Ларин Е.А. Энергоснабжение и утилизация отходов газовой отрасли // Энергия: экономика, техника, экология. – 2014. – №6. – С. 54-59.
11. Энергоэффективная система энерго- и водоснабжения предприятий добычи и подготовки к транспорту природного газа/ И.В. Долотовский, Е.А. Ларин, А.В. Ленькова, Н.В. Долотовская // Энергосбережение и водоподготовка. – №5(85). 2013. – С. 31-37.

СПОСОБ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДВУХФАЗНЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Иванов Д.А.

*Санкт-Петербургский государственный
экономический университет, Санкт-Петербург,
e-mail: tm_06@mail.ru*

В конструкции деталей машин широко применяются упрочняемые закалкой и последующим старением детали из термоупрочняемых двухфазных титановых сплавов, причем их использование имеет тенденцию к увеличению. Для упрочняющей термической обработки лобовых деталей важную роль играют охлаждающие среды. Применение при закалке таких интенсивных охладителей, как вода, приводит к поводке, в особенности длинномерных деталей и деталей сложной формы, короблению и образованию трещин. Использование в качестве закалочных сред таких менее резких

охладителей, как минеральные масла, а также водные растворы полимеров, создает проблему утилизации и при этом не всегда обеспечивает требуемую скорость охлаждения.

Представляется перспективным использование закалочной среды, не уступающей вышеперечисленным по закалывающей способности, уменьшающей поводку и трещинообразование и в то же время являющейся экологически чистой – пульсирующий водовоздушный поток [1-6]

Перед изобретением была поставлена задача уменьшить поводку в ходе закалки двухфазных титановых сплавов, наблюдаемую у длинномерных изделий и изделий сложной формы при применении таких резких охладителей, как вода, а также повысить твердость после закалки и старения, благодаря чему увеличивается износостойкость изделий из данных сплавов.

Изобретение реализуется следующим образом: изделие из двухфазного титанового сплава VT14 нагретое в электропечи до температуры закалки от 850 до 880 °С после требуемой выдержки помещают в рабочую камеру, где охлаждают под действием пульсирующего водовоздушного потока, обладающего скоростью от 25 до 30 м/с, частотой колебаний от 830 до 1000 Гц, импульсным воздушным давлением от 8 до 12 кПа и переменным звуковым давлением от 80 до 90 дБ, оказывающего на закалываемое изделие комплексное воздействие. Расход воды при этом составляет от 1 до 1,5 л/мин. После закалки изделие подвергается искусственному старению в электропечи при температуре от 480 до 500°С. Как следствие, при меньшей, чем в воде скорости охлаждения получена твердость не выше, чем при закалке в воде и более высокая твердость после старения. Пульсации водовоздушной смеси обеспечивают релаксацию напряжений, возникающих в результате закалочного охлаждения и тем самым уменьшают поводку изделий. Более высокая твердость после старения титанового сплава, закаленного в пульсирующей водовоздушной смеси в сравнении с закаленным в воде может быть объяснена более дисперсной мартенситной α²-фазой, образующейся при закалке под влиянием пульсаций водовоздушного потока, распад которой в процессе старения обеспечивает повышение твердости и прочности.

Таким образом изобретение позволило получить технический результат, а именно уменьшить поводку при термической обработке изделий из двухфазных титановых сплавов, а также повысить твердость и износостойкость в сравнении со стандартной упрочняющей термической обработкой подобных сплавов.

Список литературы

1. Иванов Д.А., Васильева А.В. Струйные технологии в машиностроении: Монография. – СПб.: Изд-во СПбГУСЭ, 2010. – 147 с.
2. Иванов Д.А., Засухин О.Н. Повышение конструктивной прочности машиностроительных материалов в резуль-