

УДК 665.6/.7

А.О. Колыхматов, А.Г. Шумихин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ В ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ БЛОКОМ ПОДОГРЕВА СЫРОЙ НЕФТИ НА УСТАНОВКЕ АВТ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ЕГО АКТУАЛИЗАЦИЕЙ В КОМПЬЮТЕРНО-ТРЕНАЖЕРНОМ КОМПЛЕКСЕ

Рассматривается задача статической оптимизации блока подогрева сырой нефти установки АВТ на нефтеперерабатывающем предприятии и ее решение с актуализацией в компьютерно-тренажерном комплексе (КТК) установки, например, с целью рациональной технологической трубопроводной обвязки и оптимального распределения потоков сырой нефти после вывода некоторых теплообменников на очистку или ремонт, что может существенно интенсифицировать работу блока теплообмена и снизить расход топливного газа.

Потребность современной промышленности, транспорта и сельского хозяйства в различных нефтепродуктах непрерывно растет. Увеличение выходов ценных товарных нефтепродуктов и продуктов нефтехимии стало одним из актуальных направлений совершенствования современной технологии переработки нефти. Для удовлетворения потребности в нефтепродуктах требуется сооружение более мощных установок с улучшенными технико-экономическими показателями, в том числе за счет снижения энергозатрат.

Главным процессом на каждом нефтеперерабатывающем заводе является первичная переработка нефти. Наиболее часто применяемой схемой первичной переработки нефти является атмосферная трубчатая установка (АТ), на которой из сырой нефти извлекают компоненты светлых нефтепродуктов – бензина, керосина, дизельных топлив. Остатком атмосферной перегонки является мазут, подвергаемый далее вакуумной перегонке. При этом получают вакуумные газойли или масляные фракции и тяже-

лый остаток – гудрон. Получение из мазута вакуумных газойлей или масляных фракций осуществляется на атмосферно-вакуумных установках (АВТ). Получаемые на них газойлевые, масляные фракции и гудрон используют в качестве сырья процессов последующей (вторичной) переработки с получением компонентов топлив, смазочных масел, кокса, битумов и других нефтепродуктов. При проведении процессов нефтепереработки на установках АТ и АВТ существенную роль играет система теплообмена, позволяющая рекуперировать тепло, затраченное на достижение необходимых температур, и сократить затраты на топливный газ.

В результате работы в пакете UNISIM Design реализована математическая модель аппаратов блока теплообменников установки АВТ. Модели аппаратов настроены на технологический режим действующего производства. Разработаны алгоритм настройки модели и алгоритм решения задачи оптимизации.

***Ключевые слова:** нефтепереработка, установка АВТ, оптимизация распределения потоков сырой нефти, компьютерное моделирование, компьютерно-тренажерный комплекс.*

A.O. Kolykhmatov, A.G. Shumikhin

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

THE OPTIMIZATION ALGORITHM IN THE PROBLEM OF HEATING UNIT OF CRUDE OIL ON THE ADU/VDU OIL REFINERY WITH ITS ACTUALIZATION IN A COMPUTER- TRAINING COMPLEX

The article considers the problem of static optimization unit heating crude oil ADU/VDU at the oil refinery and its solution in updating computer-training complex installation. For example, to a rational process piping and distribution of crude oil flows after the withdrawal of some of the heat exchangers for cleaning or repair can significantly to intensify the operation of a heat exchange and to reduce the consumption of fuel gas.

The need for modern industry, transport and agriculture in various petroleum products is continuously growing. The increase in output of marketable oil products and petrochemical products has become one of the important ways to improve the modern technology of oil refining. To meet the demand for petroleum products requires the construction of

more powerful systems with improved technical and economic indicators, including by reducing energy consumption.

The lead process at each refinery is the primary processing of oil. The most commonly used method is the primary oil refining atmospheric tubular unit (ADU), which is extracted from crude oil components of light oil products – gasoline, kerosene, diesel fuels. Atmospheric distillation residue oil is subjected to further vacuum distillation. This produces a vacuum gas oil or heavy fractions and the remainder – tar. Production of fuel oil or vacuum gas oil fractions is carried out at atmospheric and vacuum systems (ADU/VDU). The resulting gasoil on them, and tar oil fraction used as feed processes subsequent (secondary) processing to obtain components of fuels, lubricating oils, coke, bitumen and other petroleum products. During the refining process in plants ADU and plays an essential role ADU/VDU heat exchange system, which allows to recover the heat used to reach the required temperature, and reduce the cost of fuel gas

As a result of the package UNISIM Design implemented mathematical model aids heat exchanger ADU/VDU. Models of the machine is set to the current mode of production technology. The algorithm tuning the model and algorithm for solving the optimization problem.

Keywords: *refining, distillation unit, optimization of flow distribution of crude oil, computer modeling, computer-training complex.*

Оптимальное распределение потоков нефти на блок теплообмена установки АВТ, повышение качества функционирования автоматических систем управления снижает энергетические затраты, улучшает технико-экономические показатели производства и обеспечивает большинство вторичных процессов (пиролиз, каталитический крекинг, риформинг, селективные очистки и др.) качественным сырьем.

Эффективность теплообмена зависит от состояния аппаратов, в которых он осуществляется. По этой причине такие мероприятия, как промывка или ремонт теплообменников на нефтепереработке, является важным и обязательным условием обеспечения эффективности использования теплообменного оборудования.

При статической оптимизации процессов в блоке подогрева сырой нефти первоначальной задачей является расчет поверхностных теплообменных аппаратов. Для этого составляют тепловой баланс, т.е. определяют количество тепла, выделяемое охлаждающимся потоком и воспринимаемое нагреваемым потоком [1, 2].

Автоматизировать процедуру составления систем уравнений тепловых балансов ХТС и определить оптимальную стратегию их решения системы при помощи ЭВМ позволяет использование топологического метода составления систем уравнений материальных и тепловых балансов.

В соответствии с технологической схемой установки АВТ и данными о значениях параметров технологических режимов разработан тепловой потоковый граф (рис. 1).

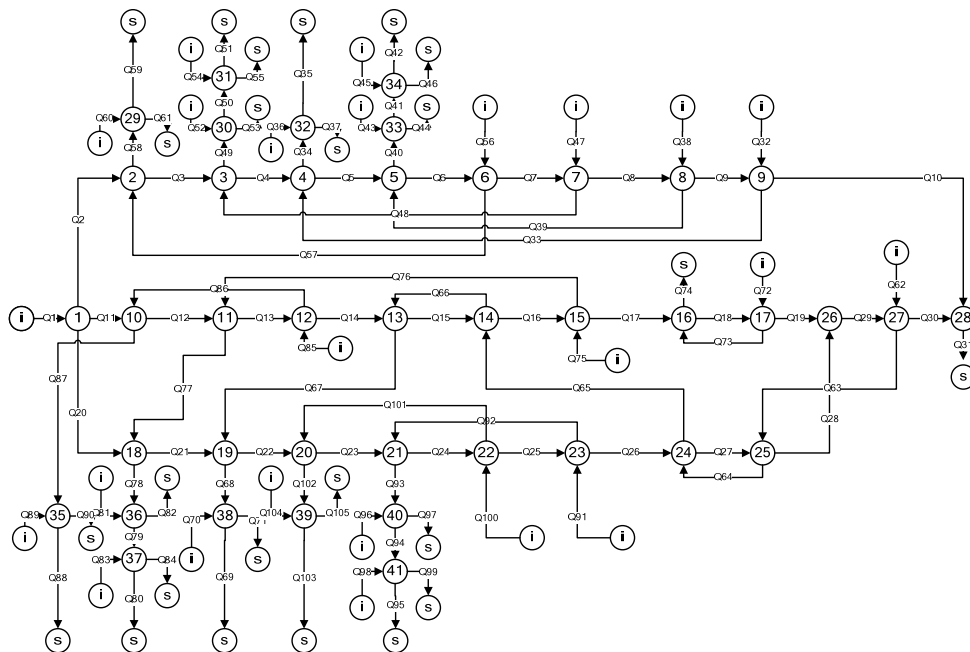


Рис. 1. Тепловой потоковый граф

Узлами потокового графа являются: теплообменники (2–25, 27, 29–40), источники (i) и стоки (s) материальных и тепловых потоков, делитель (1) и смесители (26, 28). Потоковый граф отображает особенности технологической топологии системы и позволяет оперативно устанавливать при определенных входных воздействиях на систему взаимосвязь между изменениями технологической топологии и количественными характеристиками состояния ХТС. Используя потоковый граф, составляют матрицу ицидентности, с помощью которой записывают систему уравнений тепловых балансов ХТС.

Для расчета теплового баланса системы теплообмена использован программный продукт компьютерного моделирования химико-

технологических процессов UniSim Design [7, 8]. Математическая модель, созданная и параметризованная в UniSim Design, содержит в себе информацию о процессе. Модель позволяет осуществить поиск оптимального распределения сырой нефти по потокам на входе в систему теплообмена. Для оценки адекватности созданной модели установки для одного из ее технологических режимов произведен расчет системы теплообмена в предположении, что коэффициент теплопередачи в теплообменных аппаратах и теплоемкость нефти в потоках постоянны. В качестве исходной информации для расчета каждого из аппаратов использовалась начальная и конечная температура горячих потоков, начальная температура нефти и данные о конструкции теплообменных аппаратов (диаметр кожуха, число труб, диаметр труб, длина труб, число трубных ходов, число корпусов, включенных последовательно и параллельно и т.д.). Расчет проводился с использованием данных о значениях параметров процесса, полученных с PI-сервера. Данные о конструкции аппаратов были взяты из технологического регламента. Фактические значения температуры нефти на входе и выходе блока теплообмена и результаты расчета, приведенные в табл. 1, свидетельствуют об адекватности модели.

Таблица 1

Фактические и расчетные значения температуры

Параметр	Фактическое значение, °С	Расчетное значение, °С
Температура сырой нефти на входе блока теплообмена	45	45
Температура нефти на выходе блока теплообмена	214,7	214,7

По результатам расчета, с указанными выше допущениями о коэффициенте теплопередачи и теплоемкости потоков, задавая конструкцией аппаратов, рассчитаны коэффициенты теплопередачи отдельных теплообменников.

Блок-схема алгоритма расчета блока теплообмена с использованной математической модели, построенной в UniSim Design, представлена на рис. 2.

Исходной информацией для построения модели служили данные о конструкции теплообменных аппаратов (диаметр кожуха, число труб, диаметр труб, длина труб, число трубных ходов, число корпусов последовательно и параллельно и т.д.), а также данные о значениях ре-

жимных параметров установки (показания за определенный период датчиков температуры и расхода на всех интересующих нас потоках). Данные о конструктивных параметрах аппаратов взяты из технологического регламента [4, 5].

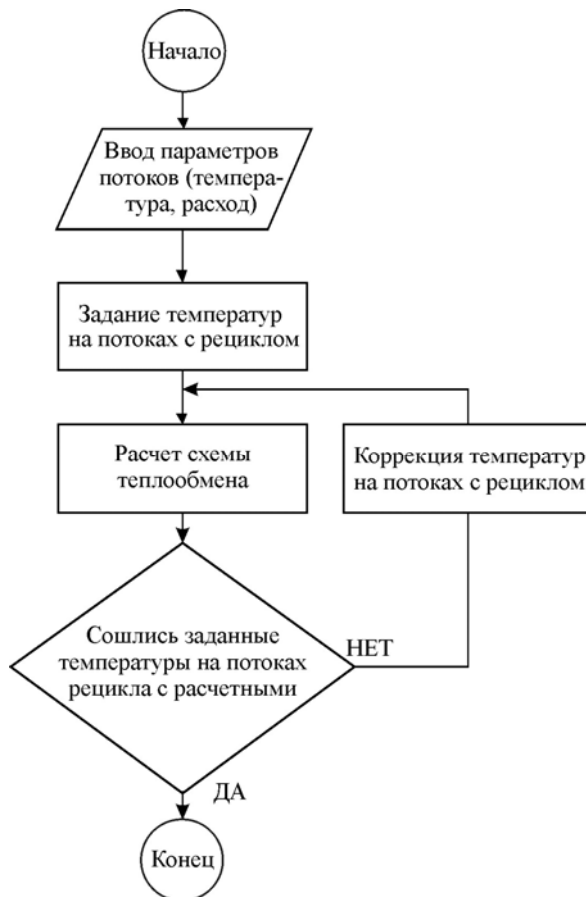


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчета блока теплообмена

При моделировании возник ряд проблем. Поскольку горячие и холодные потоки движутся по схеме противотоком, то возникает необходимость учета в расчетах рециклов, что существенно влияет на скорость вычислений. В исходных данных отсутствуют значения величины термических сопротивлений загрязнений. Поэтому однозначно рассчитать блок-схему теплообмена не представляется возможным. Для решения этой проблемы производится подбор значений величин термических сопротивлений для каждого аппарата таким образом, чтобы при заданных расходах и начальных температурах потоков конеч-

ные значения температуры были равны значениям, указанным в исходных данных.

Оптимизирующими переменными при решении задачи оптимального распределения потоков нефти на входе системы теплообменников по критерию «Температура объединенного потока на выходе системы» являются массовые расходы трех потоков нефти (F_1, F_2, F_3). Варьирование этих переменных обеспечивает решение задачи оптимизации [3]. Задача оптимизации формулируется следующим образом:

$$\left\{ T_{\text{вых}} = f(F_1, F_2, F_3) \rightarrow \max_{F_1, F_2, F_3} | F_1 + F_2 + F_3 - F_{\text{общ}} = 0 \right\} \rightarrow F_1^{\text{opt}}, F_2^{\text{opt}}, F_3^{\text{opt}},$$

где $F_{\text{общ}}$ – расход нефти, поступающей на установку; $F_{\text{вых}}$ – температура объединенного потока нефти на выходе из системы теплообмена. Следовательно, необходимо найти расходы нефти по потокам, доставляющие максимальное значение ее температуре на выходе блока теплообмена при условии, что сумма этих расходов равна расходу общего потока нефти, поступающего на установку.

Задача оптимизации решена двумя методами. В качестве первого метода оптимизации использован метод сканирования, достоинства которого являются простота реализации и возможность находить в пространстве переменных глобальный оптимум [6]. Метод реализован на языке программирования Visual Basic. В качестве второго метода оптимизации использован метод Бокса, который встроен в прикладной пакет UniSim Design [7, 8] и базируется на симплексном методе. Результаты решения задачи оптимизации обоими методами при заданных общем расходе сырой нефти и начальном распределении ее расходов между потоками приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сопоставление результатов до и после оптимизации

Параметр	До оптимизации	Метод сканирования	Метод Бокса
F_1	73,1	86,3	86,5
F_2	52	53,9	53,8
F_3	87,5	72,4	72,2
$T_{\text{вых}}$	212,7	218,12	218,1

Решение задачи оптимизации показывает, что температура нефти на выходе из блока теплообмена увеличивается на 5,4 °С, т.е. степень

рекуперации тепла горячих теплоносителей увеличивается. Это, в свою очередь, дает снижение расхода топливного газа (ΔF , т/г), рассчитываемого по формуле

$$\Delta F = \frac{8760 \cdot \Delta H}{H_r \cdot \eta},$$

где ΔH – разность энтальпии потока нефти до и после оптимизации, кДж/ч; H_r – энтальпия газа, кДж/кг; η – КПД печи.

Таким образом, как показывают результаты проведенного с применением КТК исследования, оптимальное распределение потока сырой нефти в системе рекуперации тепла установки АВТ позволяет снизить расход топливного газа на установку.

Список литературы

1. Бояринов А.И., Кафаров В.В. Методы оптимизации в химической технологии: учеб. пособие для вузов / под ред. В.В. Кафарова. – М.: Химия, 1969. – 564 с.
2. Кафаров В.В., Мешалкин В.П. Анализ и синтез химико-технологических систем: учеб. для вузов. – М.: Химия, 1991. – 432 с.
3. Методы и алгоритмы решения задач оптимизации / И.В. Бейко, Б.Н. Бублик, П.Н. Зинько. – Киев: Высшая школа, 1983. – 511 с.
4. Кафаров В.В., Макаров В.В. Гибкие автоматизированные производственные системы в химической промышленности: учеб. для вузов. – М.: Химия, 1990. – 319 с.
5. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: в 2 кн. – М.: Химия, 1981.
6. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. – М.: Химия, 1985. – 448 с.
7. UniSim Design, Customization Guide [Электронный ресурс]: системные требования Adobe Acrobat Reader. – URL: <ftp://ftp.feq.ufu.br/Sergio/Documentation/USD/UniSim%20Design/Customization%20Guide.pdf> (дата обращения: 3.02.2015).
8. UniSim Design, Simulation Basis Reference Guide [Электронный ресурс]: системные требования Adobe Acrobat Reader. – URL: <ftp://ftp.feq.ufu.br/Sergio/Documentation/USD/UniSim%20Design/Simulation%20Basis.pdf> (дата обращения: 3.02.2015).

References

1. Boyarinov A.I., Kafarov V.V. *Metody optimizatsii v khimicheskoy tekhnologii* [Optimization methods in chemical engineering]. Moscow: Khimiya, 1969. 564 p.
2. Kafarov V.V., Meshalkin V.P. *Analiz i sintez khimiko-tekhnologicheskikh sistem* [Analysis and synthesis of chemical processes]. Moscow: Khimiya, 1991. 432 p.
3. Bejko I.V., Bublik B.N., Zin'ko P.N. *Metody i algoritmy resheniya zadach optimizatsii* [The methods and algorithms for solving optimization problems]. Kiev: Vysshaya shkola, 1983. 511 p.
4. Kafarov V.V., Makarov V.V. *Gibkie avtomatizirovannye proizvodstvennye sistemy v khimicheskoy promyshlennosti* [Flexible automated production systems in the chemical industry]. Moscow: Khimiya, 1990. 319 p.
5. Gelperin N.I. *Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii* [Basic processes and devices of chemical technology]. Moscow: Khimiya, 1981. 812 p.
6. Kafarov V.V. *Metody kibernetiki v khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Cybernetics methods in chemistry and chemical technology]. Moscow: Khimiya, 1985. 448 p.
7. UniSim Design, Customization Guide. Systems requirements Adobe Acrobat Reader, available at: <ftp://ftp.feq.ufu.br/Sergio/Documentation/USD/UniSim%20Design/Customization%20Guide.pdf> (accessed 3 February 2015).
8. UniSim Design, Simulation Basis Reference Guide. Systems requirements Adobe Acrobat Reader, available at: <ftp://ftp.feq.ufu.br/Sergio/Documentation/USD/UniSim%20Design/Simulation%20Basis.pdf> (accessed 3 February 2015).

Получено 29.04.2015

Об авторах

Колыхматов Аркадий Олегович (Пермь, Россия) – аспирант кафедры автоматизации технологических процессов Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: atp@pstu.ru).

Шумихин Александр Георгиевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: atp@pstu.ru).

About the authors

Arkadii O. Kolykhmatov (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Automation Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., 614990, Perm, Russian Federation; e-mail: atp@pstu.ru)

Shumikhin A. Georgievich (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Automation Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., 614990, Perm, Russian Federation; e-mail: atp@pstu.ru)