

9. Патент РФ 2254357, Рахимов М.Н., Ишмияров М.Х., Рахимов Х.Х., Рогов М.Н., Баулин О.А., Чистов О.И. Композиция жидкого топлива. Оpubл. 20.06.2005.

10. Патент РФ 2568263, Баулин О.А., Рахимов М.Н., Зиннатуллина Г.М. Бифункциональная присадка к дизельному топливу. Оpubл. 20.11.2015.

УДК 66.011 : 665.6

**Семёнов Иван Александрович**,  
к.т.н., доцент, доцент кафедры «Химическая технология топлива»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: ivansemenov@yandex.ru

## ЦИФРОВИЗАЦИЯ В НЕФТЕПЕРЕРАБОТКЕ: ДЕНЬ СЕГОДНЯШНИЙ

*Semenov I.A.*

### DIGITALIZATION IN OIL REFINING: TODAY'S PROBLEMS

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные области применения цифровизации в сфере нефтепереработки.

**Ключевые слова:** цифровизация, математическое моделирование, инженерные модели.

**Abstract.** The main areas of application of digitalization for oil refining were discussed in this paper.

**Keywords:** digitalization, mathematical modeling, engineering models.

Нефтепереработка является одной из важнейших областей промышленности. Она обеспечивает не только потребности человечества в различных видах горюче-смазочных материалов, но также поставляет основной объем сырья для других отраслей химической технологии: органического и нефтехимического синтеза, производства полимерных и лакокрасочных материалов, производства ПАВ и др.

Несмотря на то, что сама по себе нефть известна человечеству достаточно давно, первые упоминания о попытках ее переработки появились примерно в пятом тысячелетии до н.э. [1]. Нефть и продукты ее переработки использовали в медицинских целях (например, в составе мазей, бальзамов), для строительства (в качестве связующих и гидроизоляционных материалов), в военных целях (например, в составе зажигательных смесей).

До середины XIX века объемы добычи нефти, а, следовательно, и объемы ее переработки были невелики. Однако появились первые установки для разделения нефти на фракции (так называемые перегонные кубы). Это привело к получению новых видов нефтепродуктов: осветительного керосина, отличающегося повышенным содержанием легких углеводородов, и тяжелого маслянистого

остатка, который образовывался в процессе очистки керосина [2].

Новый мощный рывок в развитии нефтепереработки произошел с изобретением двигателя внутреннего сгорания (1876 г.). Возрастающие потребности человечества в больших объемах легкого топлива привели к тому, что применение процессов первичной переработки нефти (т.е. по сути, физического разделения нефти на более узкие фракции) оказалось недостаточным. Началось активное внедрение процессов вторичной переработки, основанных на химической обработке нефтепродуктов для повышения их эксплуатационных характеристик.

Развитие нефтеперерабатывающих производств продолжается и по сей день, причем объемы вырабатываемой продукции планомерно возрастают. По данным [3], к 2040 году общемировые объемы потребления бензинов составят более 1,3 млрд т, а для дизельных топлив они превысят 1,9 млрд т. При этом требования к качеству и количеству вырабатываемых продуктов также постепенно ужесточаются. Это означает, что необходимо применение новых подходов к развитию нефтепереработки, чтобы сохранить и даже увеличить производственные мощности по выработке, а также повысить эффективность функционирования всего нефтеперерабатывающего комплекса.

В июле 2018 гг. В.В. Путин в своем выступлении на саммите БРИКС в Йоханнесбурге озвучил тезис «...цифровизация является одним из приоритетов экономической политики нашей страны – России» [4]. Возникает вопрос: каким образом цифровизация может способствовать развитию нефтеперерабатывающей промышленности? Однако прежде, чем ответить на данный вопрос, нужно разобраться в том, что подразумевает понятие «цифровизация».

Несмотря на то, что данный термин возник относительно недавно, он подразумевает использование, в первую очередь, различных информационных технологий, которые появились существенно раньше. Для нефтепереработки цифровизация – это, прежде всего:

- повод обратить внимание на проблемы модернизации такой традиционной области экономики, как нефтепереработка;
- возможность придать новый толчок развитию на высоком уровне;
- способ объединить различные области экономики для достижения общей цели – эффективного развития экономики.

По данным опроса, проведенного в рамках конференции Asia Downstream Week 2018 [5] были выделены два основных направления применения цифровизации в нефтепереработке:

- моделирование технологических процессов (более 70 % опрошенных участников);
- планирование операционной деятельности нефтеперерабатывающих компаний и оптимизация процессов поставки сырья и выпускаемой продукции (около 12 % респондентов).

Данные направления использования цифровых ресурсов могут быть реализованы, в первую очередь, при помощи математического моделирования. Это связано с тем, что математическая модель:

- является наиболее экономичным видом моделирования из применяемых в нефтепереработке;
- безопасна для проведения экспериментальных исследований и изысканий.

Иными словами, для проведения числительного эксперимента требуется минимум материальных и временных затрат по сравнению с физическим моделированием, а, кроме того, не происходит значимого влия-

ния на окружающую среду и здоровье персонала.

Основной задачей математического моделирования является создание цифрового образа изучаемого объекта или явления, т.е. получение математического описания оригинала в виде характерных чисел или выражений, позволяющих рассчитать эти числа. Это необходимо для того, чтобы не только представить и изучить оригинал, но и прогнозировать его поведение при изменении некоторых исходных параметров, и, как следствие, получить возможность управления оригиналом.

Согласно классификации, предложенной М.Г. Слинько [6], выделяют пять основных уровней математического моделирования, которые различаются масштабом взгляда на оригинал:

1. молекулярный уровень, на котором рассматриваются физические и химические взаимодействия отдельных молекул;
2. уровень малого объема, который представляет собой совокупность молекул, находящихся в бесконечно малом объеме реакционного пространства, рассматриваемых как единое целое;
3. уровень рабочей зоны аппарата, объектом изучения которого становятся отдельные области рабочего пространства аппарата, например, отдельная трубка теплообменника или контактная тарелка в колонне;
4. уровень аппарата, на котором моделируется работа аппарата в целом, т.е. учитываются взаимодействия всех рабочих зон аппарата;
5. уровень агрегата, моделирующий взаимосвязанную работу нескольких аппаратов и установок.

Для нефтепереработки первый уровень моделирования сводится к определению состава нефти и ее фракций, а также их свойств – физических, химических, экономических. Подобный вид моделирования проводится в специальных пакетах программ, также называемых менеджерами нефти. Они содержат в виде баз данных достаточно полную информацию о составе и свойствах практически всех нефтей со всех месторождений мира.

На уровне малого объема все процессы, протекающие в аппаратах, рассматриваются с точки зрения отдельных элементов среды. Так, на рис. 1 представлена схема действия различных сил на дифференциальный объем жидкости.

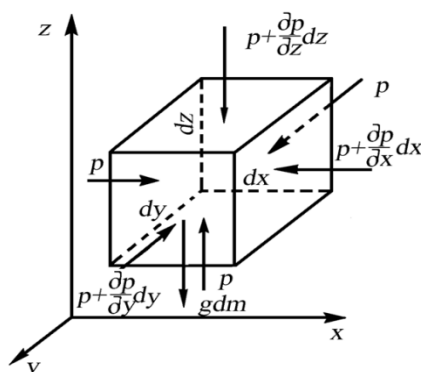


Рисунок 1 – Воздействие сил давления и сил тяжести на элемент жидкости бесконечно малого объема

Учет баланса всех сил для дифференциального элемента позволяет вывести систему фундаментальных уравнений гидродинамики – уравнение Навье-Стокса:

$$\begin{aligned} \rho \frac{du_x}{dt} &= \rho f_x - \frac{\partial p}{\partial x} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial u_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right) \right] - \\ &- \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \zeta \left( \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \right], \\ \rho \frac{du_y}{dt} &= \rho f_y - \frac{\partial p}{\partial y} + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial u_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \right) \right] - \\ &- \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \zeta \left( \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \right], \\ \rho \frac{du_z}{dt} &= \rho f_z - \frac{\partial p}{\partial z} + 2 \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \right) \right] - \\ &- \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \zeta \left( \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \right]. \end{aligned}$$

Посредством данных уравнений описываются различные гидродинамические процессы.

Имеются также аналогичные дифференциальные уравнения для описания тепловых и массообменных процессов. Путем интегрирования таких систем можно получить полное математическое описание всех рассматриваемых явлений. Однако в большинстве случаев решение таких уравнений аналитическим способом не представляется возможным.

Такие задачи можно решить с применением больших вычислительных мощностей и при помощи различных методов вычислительной математики, реализованных в специализированных пакетах программ (AnSYS Fluent, OpenFOAM и т.п.). Исходными данными для моделирования в этом случае являются свойства изучаемых сред, а также геометрия поверхности и характеристики материала. Результатом моделирования станет набор данных об изменении исследуемых параметров во всех точках системы. Также использование программ позволя-

ет получить визуальную картину в форме видео или статичного изображения (рис. 2).

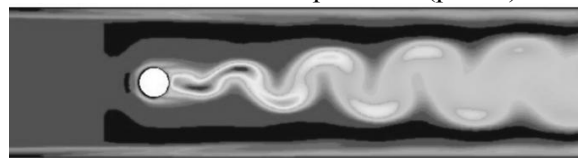


Рисунок 2 – Обтекание потоком холодной жидкости горячего одиночного цилиндра, рассчитанное в пакете OpenFOAM

Эти же пакеты программ позволяют производить расчет процессов для целых рабочих зон аппарата (рис. 3), однако для этого требуются еще большие вычислительные мощности.

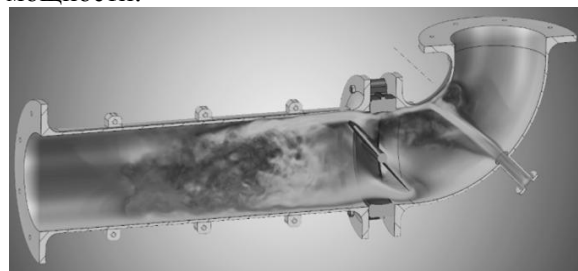


Рисунок 3 – Моделирование процесса течения жидкости через задвижку

Моделирование отдельных аппаратов объединяет в математическую модель все процессы, протекающие в аппарате, и составляющие его рабочие зоны (рис. 4).

Результатом такого моделирования является составление материальных и энергетических балансов аппарата, нахождение оптимальных режимов его работы, определение его основных характеристик. Например, при моделировании процесса охлаждения при известных температурах и расходах потоков теплоносителей результатом расчета станет значение поверхности теплообмена, которая потребуется для достижения данного результата.

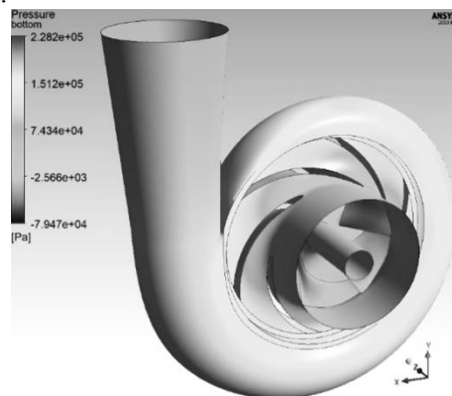


Рисунок 4 – Моделирование распределения давления при работе центробежного насоса

Моделирование на уровне агрегата объединяет модели отдельных аппаратов в узлы и целые технологические установки. Для этого используют иные комплексы программ: ChemCAD, Aspen HYSYS, DWSIM и другие. Они позволяют из стандартного набора оборудования построить инженерные модели (рис. 5).

Такие модели дают возможность:

- рассчитывать характеристики технологических потоков и требуемые параметры оборудования;
- подбирать оптимальные режимы работы всей установки в целом;
- прогнозировать поведение установки при изменении условий ее работы;
- осуществлять грамотное управление химико-технологическим процессом.

Существуют также более глобальные модели, которые охватывают все производство в целом – это так называемые LP-модели. Они строятся на принципах линейного программирования (отсюда и их название) и, по сути, представляют собой совокупность таблиц материальных балансов, норм расхода сырья, реагентов и энергоресурсов технологических установок. Данные модели также учитывают ограничения со стороны поставщиков сырья и потребителей продукции.

Задачей таких моделей является объединение всех имеющихся данных в единую матрицу и проведение ее расчета с целью нахождения таких условий работы предприятия в целом, при которых достигается не только максимальный выход продуктов, но, в первую очередь, максимальная прибыль.

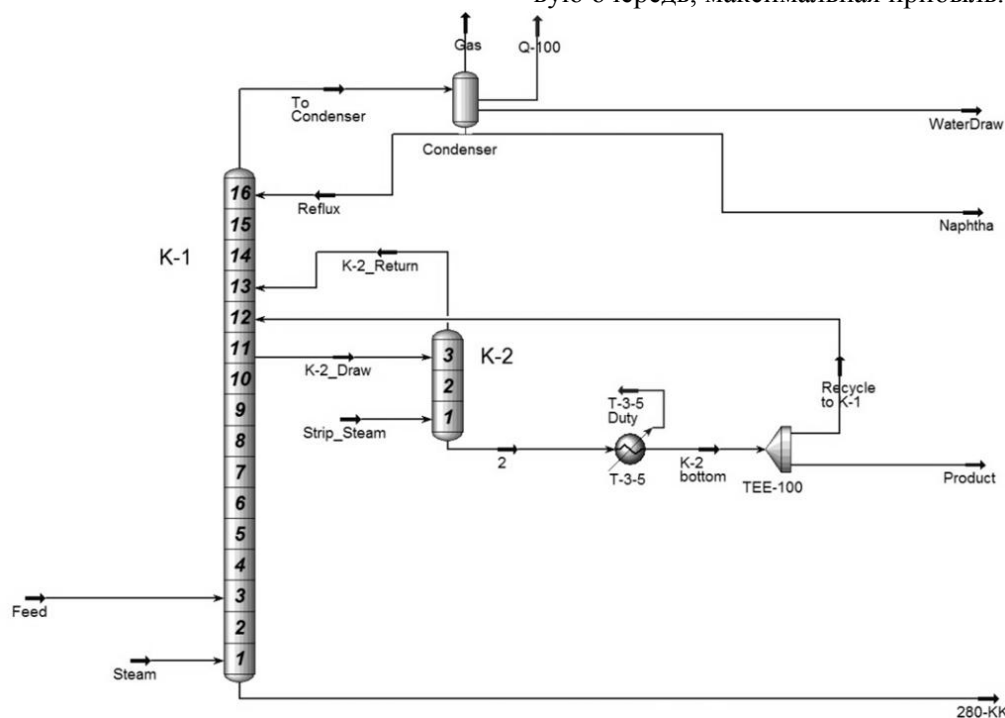


Рисунок 5 – Моделирование установки выделения дизельной фракции в пакете Aspen HYSYS

LP-модели решают сугубо экономические задачи, и благодаря им можно:

- рассчитать прибыль выпуска набора продуктов с учетом стоимости и ограничений со стороны поставщиков и потребителей;
- найти оптимальный набор продуктов для производства;
- экономически оценить влияние режимов работы установок на все производство в целом;
- сформировать бизнес-план производства.

Можно отметить, что цифровизация не ограничивается только лишь моделированием технологических процессов. Она также включает такие направления, как разработка автоматизированных систем управления химико-технологическим процессом, тренажеров для операторов технологических установок, создание экспертных систем, и многое другое.

Дальнейшее развитие нефтепереработки напрямую связано с развитием ИТ-технологий. Поэтому одной из основных задач цифровизации на сегодняшний день яв-

ляется повышение компетенций специалистов нефтепереработки в области математического моделирования. Не менее важным является также более глубокое внедрение цифровых технологий в сферу производ-

ственного менеджмента с целью повышения безопасности, экологичности и экономической эффективности нефтеперерабатывающих предприятий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Энергетика: история, настоящее и будущее. Т. 1 : От огня и воды к электричеству : в 4 т. / В. И. Бондаренко [и др.] ; науч. ред. И.Н. Карп [и др.]. – Киев, 2005. – 304 с.
2. Популярная нефтепереработка [Текст] // Под руководством Багдасарова Л.Н. // М.: ООО «ЦПС «Платформа». – 2017. – 111 с.
3. Отчет ОПЕК «World Oil Outlook 2014» // Organization of the Petroleum Exporting Countries. 2014. – 367 p.
4. Выступление на заседании саммита БРИКС в расширенном составе / Официальные сетевые ресурсы Президента России [сайт] : URL: <http://kremlin.ru/events/president/transcripts/58105> (дата обращения: 23.10.2019).
5. Цифровизация в нефтепереработке и нефтехимии – мнения конечных пользователей Азиатско-Тихоокеанского региона // Сфера. Нефть и газ. – 2018. – Т. 68. – № 6. – С. 22.
6. Слинько, М.Г. История развития математического моделирования каталитических процессов и реакторов / М.Г. Слинько // Теоретические основы химической технологии, 2007 – Том 41. – № 1. – С. 16-34.