

УДК 004.942
DOI: 10.15827/0236-235X.139.482-487

Дата подачи статьи: 15.07.22, после доработки: 02.08.22
2022. Т. 35. № 3. С. 482–487

Компьютерная система для разработки цифровых информационных моделей процессов вторичной переработки нефти

Д.Н. Фураев¹, аспирант, d.furaev@pmppspb.ru

Т.Б. Чистякова¹, д.т.н., профессор, nou@technolog.edu.ru

¹ Санкт-Петербургский государственный технологический институт,
г. Санкт-Петербург, 190013, Россия

В работе выделены основные общие характеристики процессов вторичной переработки нефти. Предложено обобщенное информационное описание этих процессов как объектов проектирования и управления. Рассмотрены предпосылки создания и опыт использования цифровых информационных моделей в области нефтепереработки на примере российских компаний.

Предложены функциональная структура компьютерной системы проектирования цифровых информационных моделей объектов вторичной переработки нефти и комплекс средств, включающий математическое, информационное и программное обеспечение, которые позволяют по техническому заданию на проектирование разработать цифровую информационную модель, удовлетворяющую его требованиям по производительности, энергоэффективности, качеству цифровой информационной модели – адекватность, уровень детализации, информационная наполненность, экономичность.

Приведена структура информационного, математического и программного обеспечения. Информационное обеспечение – это набор различных БД: характеристик сырья и катализаторов, основного технологического оборудования и деталей трубопроводов, стандартов на проектирование. Математическое обеспечение составляет библиотека математических моделей процессов вторичной переработки нефти, включая модели кинетики происходящих химических реакций, теплообменных процессов и гидродинамики. Программное обеспечение представляет собой набор программных сред – как авторских разработок, так и уже существующего, применяемого на определенных этапах проектирования.

Предложенная структура компьютерной системы является гибкой и применимой для всех типов процессов вторичной переработки нефти. Модульный принцип построения архитектуры позволяет строить перенастраиваемое информационное и математическое обеспечение на различные типы процессов нефтепереработки. Компьютерная система апробирована на примере процессов каталитического крекинга и изомеризации.

Ключевые слова: цифровая информационная модель, процесс вторичной переработки нефти, компьютерная система, проектирование, информационное обеспечение, математическое обеспечение, программное обеспечение.

В процессе развития промышленный объект, согласно СП 333.1325800.2020, проходит несколько последовательных этапов жизненного цикла: проектирование, строительство, эксплуатация, модернизация (реконструкция), капитальный ремонт, снос и ликвидация. Самыми сложными и дорогостоящими являются проектирование и строительство.

Проектирование и строительство новых и реконструкция существующих производств вторичной переработки нефти ведется в соответствии с современными ресурсосберегающими и энергоэффективными требованиями.

Выделяют следующие основные процессы вторичной переработки нефти (ПВПН): каталитический крекинг, гидрокрекинг, каталитический риформинг, гидроочистка, каталитиче-

ская изомеризация. Перечисленные процессы как объекты проектирования и управления имеют общие признаки: направлены на переработку продукции первичной переработки нефти; выход целевых продуктов зависит от состава исходного сырья, которое, в свою очередь, зависит от места добычи нефти; процессы являются каталитическими, с изменяющейся активностью катализатора в период эксплуатации и с возможностью его регенерации; задействовано разнообразное технологическое оборудование в зависимости от типа процесса, используемого сырья, производительности и энергопотребления; являются высокотемпературными и энергоемкими процессами; управление качеством продукции осуществляется изменением температуры, типом и активно-

стью катализатора, скоростью подачи сырья, давлением в реакторе; процессы протекают в основном в трубчатых реакторах; процессы характеризуются сложными причинно-следственными связями, усложняющими процессы управления: сложная кинетика протекающих химических реакций, зависящая от состава сырья и активности используемого катализатора, изменяющейся со временем эксплуатации.

Таким образом, ПВПН являются сложными объектами проектирования и управления и характеризуются большим количеством взаимозависимых параметров со значительным влиянием возмущающих воздействий.

Несмотря на значительную сложность задачи проектирования промышленных объектов имеются решения для отдельных этапов проектирования в виде математических и имитационных моделей отдельных процессов переработки нефти, БД оборудования, определенных расчетов, трехмерных моделей, которые также могут быть применены к проектированию ПВПН и интегрированы в единую компьютерную платформу проектирования [1–4].

На данный момент нет единой компьютерной системы для данного класса объектов, основанной на цифровой информационной модели и способной перенастраиваться на различные ПВПН.

Цифровые информационные модели

Наиболее востребованным направлением в проектировании является разработка *цифровых информационных моделей* (ЦИМ) объекта проектирования. Существует тенденция формирования проектной и рабочей документации из ЦИМ объекта проектирования, поэтому целью проектных компаний является разработка ЦИМ промышленного объекта с помощью современных сред проектирования на каждом этапе, а затем формирование необходимой документации. При правильном подходе к разработке ЦИМ она служит единым источником данных для расчетных программ, смежных сред проектирования и получения необходимой проектной документации.

Выделяют следующие основные предпосылки разработки ЦИМ: сокращение сроков проектирования и экспертизы, улучшение качества проектирования, оперативное взаимодействие между всеми участниками проектирования, уменьшение числа коллизий при строительстве объекта, ведение точной сметы строительства и закупок, сопровождение экс-

плуатации объекта, развитие информационных технологий, внедрение инноваций и переход на цифровизацию производств.

Технологии цифровизации, в частности, разработки ЦИМ, внедряются и используются при реконструкции или модернизации действующих производств, а также при строительстве новых промышленных комплексов в крупных российских компаниях [5, 6].

Проектирование объектов ПВПН – сложный многостадийный процесс, являющийся результатом совместного труда проектировщиков различных специальностей, которых можно представить как проектную инженеринговую команду. Проект состоит из отдельных разделов, за разработку каждого отвечают инженеры соответствующей специализации. На рисунке (см. <http://www.swsys.ru/uploaded/image/2022-3/2022-3-dop/20.jpg>) приведена схема состава ЦИМ объекта ПВПН.

В данном исследовании основное внимание уделено работе инженеров-конструкторов (инженеров-механиков) и инженеров-монтажников, так как в проекте любого промышленного объекта на создание монтажной части проекта приходится около трети всех трудозатрат.

Наиболее сложными и наукоемкими основными этапами проектирования ПВПН являются:

- выбор, размещение и компоновка технологического оборудования в соответствии с *техническим заданием* (ТЗ) на проектирование с обеспечением заданной производительности, энергопотребления, качества продукции;
- выбор и трассировка технологических трубопроводов в соответствии с требованиями ТЗ по производительности и ресурсопотреблению [7].

Структура компьютерной системы

Разработана функциональная структура компьютерной системы, включающая информационное, математическое и программное обеспечение, интерфейсы проектировщика, обучаемого, инженера по знаниям и администратора. Структура системы приведена на рисунке 1.

Компьютерная система включает [8, 9]:

- БД характеристик сырья, характеристик катализаторов, технологического оборудования, деталей трубопровода, норм и стандартов на проектирование;
- библиотеку математических моделей ПВПН (кинетика химических реакций, тепло-

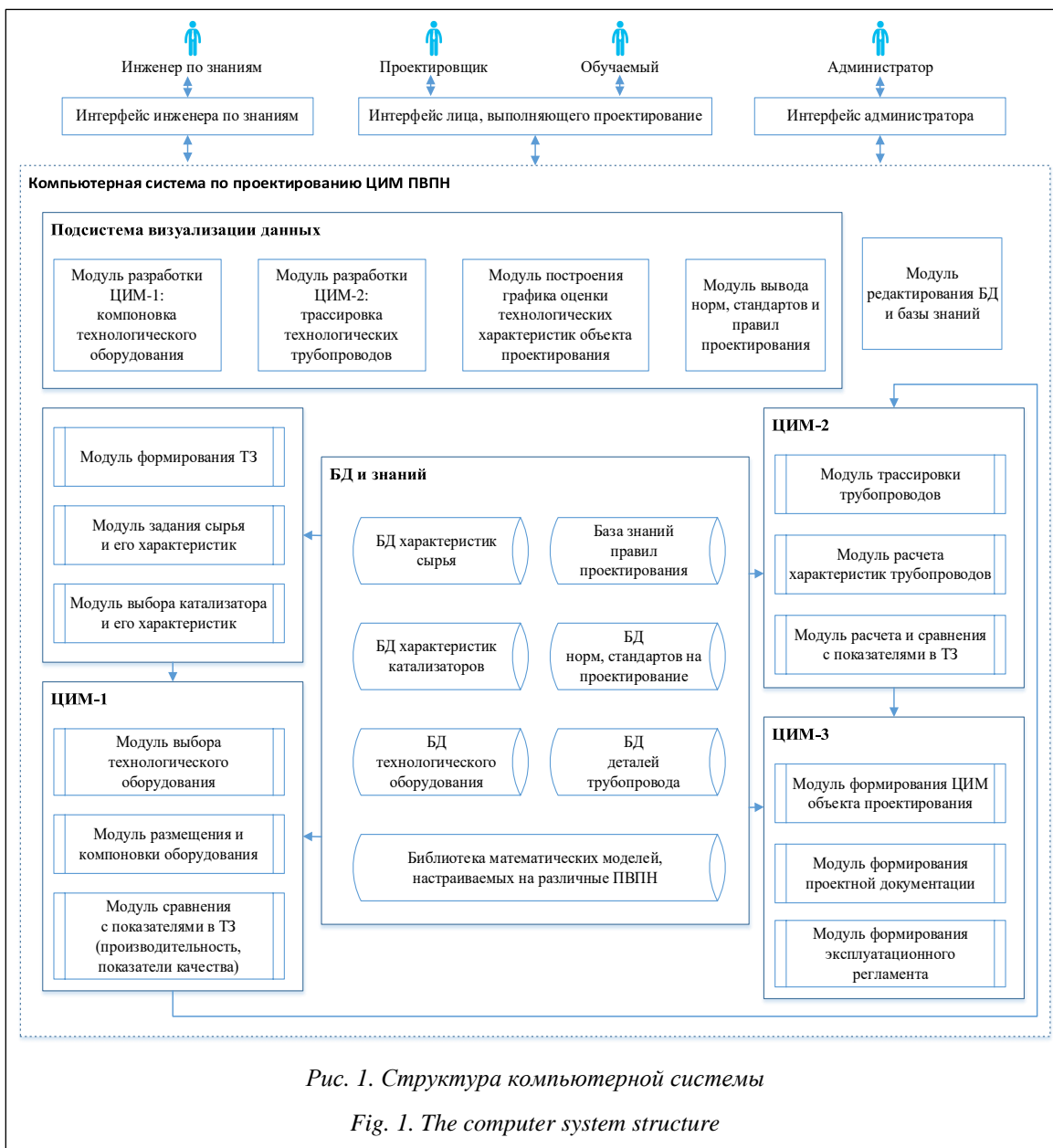


Рис. 1. Структура компьютерной системы

Fig. 1. The computer system structure

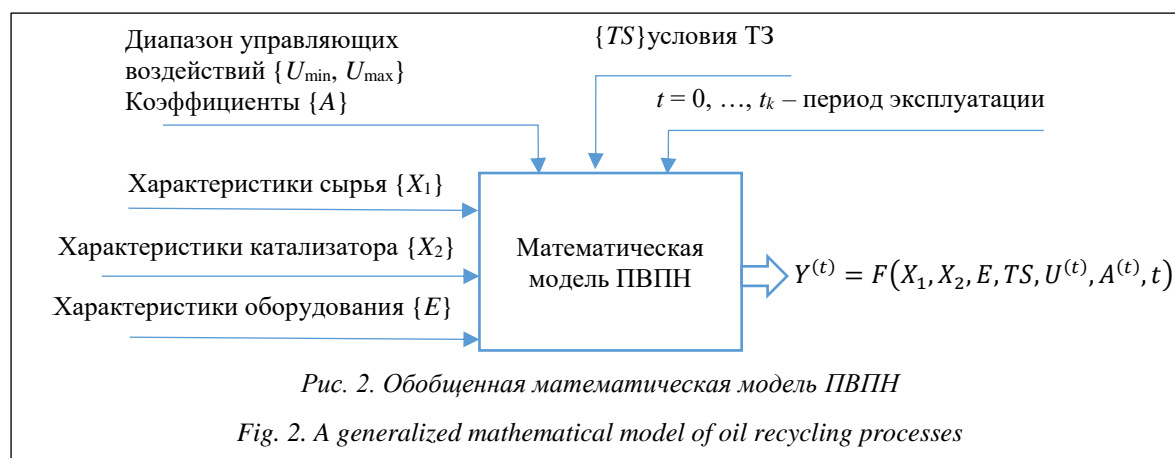
обменные процессы, гидродинамика), настраиваемых на различные периоды эксплуатации и активность катализатора, компоновки технологического оборудования, трассировки трубопроводов;

- интерфейсы инженера по знаниям, проектировщика, обучаемого, администратора;
- модули разработки ЦИМ, задания сырья и его характеристик, выбора катализатора и его характеристик, выбора технологического оборудования и его размещения и компоновки, трассировки трубопроводов и расчета его характеристик, вывода норм и стандартов на проектирование, расчета и сравнения показателей с ТЗ, формирования проектной документации.

Комплекс средств компьютерной системы

Математическое обеспечение компьютерной системы построено на базе кинетики химических реакций ПВПН, математических моделей материального и теплового балансов реактора, математических моделей компоновки технологического оборудования, расчета и трассировки трубопроводов. Обобщенная модель ПВПН представлена на рисунке 2.

Информационное обеспечение компьютерной системы состоит из различных БД – характеристик сырья, катализаторов, технологического оборудования и деталей трубопроводов,



стандартов и норм на проектирование. Общая схема структуры информационного обеспечения приведена на рисунке (см. <http://www.swsys.ru/uploaded/image/2022-3/2022-3-dop/40.jpg>).

ПО включает различные программные среды – как авторские разработки, так и существующее ПО, применяемое для решения задач определенных этапов проектирования. На выбор программных сред влияют способность корректного решения задач для данного класса объектов и их стоимость. Структура ПО приведена на рисунке (см. <http://www.swsys.ru/uploaded/image/2022-3/2022-3-dop/21.jpg>).

Заключение

Тестирование и разработка ЦИМ проведены на примере установок каталитического кре-

кинга производительностью 2 500 тыс. т/год и потребляемой мощностью 23 тыс. кВт, изомеризации производительностью 608 тыс. т/год и потребляемой мощностью 44 тыс. кВт.

Предложенная компьютерная система позволяет решать задачу проектирования объектов вторичной переработки нефти за счет разработки цифровых информационных моделей, а также производить контроль и мониторинг выполнения ТЗ на проектирование или реконструкцию на всех этапах проектирования ПВПН.

Использование данной компьютерной системы обуславливает повышение качества проектной документации и снижение временных и финансовых затрат на проектирование.

Исследование выполнено по гранту Российского научного фонда, проект № 21-79-30029.

Литература

1. Лысенкова С.А. О математическом моделировании каталитического крекинга // Вестн. кибернетики. 2018. № 4. С. 107–110.
2. Mokrozub V.G., Malygin E.N. Development of decision-making support systems to design chemical process equipment for batch production. *Advanced Materials and Technologies*, 2019, no. 2, pp. 48–58. DOI: 10.17277/amt.2019.02.pp.048-058.
3. Нигматуллин В.Р., Костенков Д.М., Коскина А.И. и др. Инструменты для автоматизированного расчета давлений испытаний, контроля сварных швов, термообработки стыков трубопроводов в среде САПР AVEVA PDMS/E3D // Нефтегазовое дело. 2019. № 5. С. 173–184. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/5_2019/ogbus_5_2019_p173-184.pdf (дата обращения: 13.07.2022). DOI: 10.17122/ogbus-2019-5-173-184.
4. Sierla S., Azango M., Fay A., Vyatkin V., Papakonstantinou N. Integrating 2D and 3D digital plant information towards automatic generation of digital twins. *Proc. XXIX IEEE ISIE*, 2020, pp. 460–467. DOI: 10.1109/ISIE45063.2020.9152371.
5. Фонтокина В.А., Савенко А.А., Самарский Е.Д. Роль BIM-технологий в организации и технологии строительства // Вестн. евразийской науки. 2022. Т. 14. № 1. С. 1–11.
6. Куклина Е.А. Стратегия цифровой трансформации как инструмент реализации бизнес-стратегии компании нефтегазового сектора современной России // *Управленческое консультирование*. 2021. № 6. С. 40–53. DOI: 10.22394/1726-1139-2021-6-40-53.

7. Мешалкин В.П., Мошев Е.Р. Режимы функционирования автоматизированной системы «Трубопровод» при интегрированной логистической поддержке трубопроводов и сосудов промышленных предприятий // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2014. № 1. С. 64–73.

8. Фураев Д.Н., Чистякова Т.Б. Компьютерная система для обучения ресурсосберегающему проектированию процессов вторичной переработки нефти // Изв. СПбГТИ (ТУ). 2021. № 59. С. 101–106. DOI: 10.36807/1998-9849-2021-59-85-101-106.

9. Фураев Д.Н., Чистякова Т.Б. Программный комплекс для проектирования установок каталитического крекинга // ММТТ. 2019. Т. 12-3. С. 18–21.

Software & Systems
DOI: 10.15827/0236-235X.139.482-487

Received 15.07.22, Revised 02.08.22
2022, vol. 35, no. 3, pp. 482–487

A computer system for developing digital information models of oil recycling processes

*D.N. Furaev*¹, Postgraduate Student, *d.furaev@pmpspb.ru*

*T.B. Chistyakova*¹, Dr.Sc. (Engineering), Professor, *nov@technolog.edu.ru*

¹ Saint-Petersburg State Institute of Technology, Saint-Petersburg, 190013, Russian Federation

Abstract. The paper highlights main general characteristics of the secondary oil refining processes. It proposes a generalized information description of the secondary oil refining processes as the objects of design and management. It also considered the prerequisites for creating and experience of using digital information models in the field of oil refining on the example of Russian companies.

The authors propose a functional structure of a computer system for designing digital information models of oil recycling facilities and a set of tools including information, mathematical support and software. The latter allow, according to the design specification, developing a digital information model that meets the requirements of the technical specification for performance, energy efficiency, quality of a digital information model – the model adequacy, the level of detail, information content, the model economy.

There is the structure of information, mathematical and software in the paper. Information support is a set of various databases: characteristics of raw materials and catalysts, characteristics of the main technological equipment and pipeline parts, design standards. Mathematical support is a library of mathematical models of oil recycling processes including models of the kinetics of chemical reactions, heat exchange processes and hydrodynamics. Software is a set of software environments, both author's developments and existing software used at certain design stages.

The proposed structure of the computer system is flexible and applicable for all types of oil recycling processes; the modular principle of architecture construction allows building reconfigurable information and mathematical support for various types of oil refining processes. The computer system has been tested on the example of catalytic cracking and isomerization processes.

Keywords: digital information model, oil recycling process, computer system, design, information support, mathematical support, software.

Acknowledgements. The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation, project no. 21-79-30029.

References

1. Lysenkova S.A. On mathematical modeling of catalytic cracking. *Proceedings in Cybernetics*, 2018, no. 4, pp. 107–110 (in Russ.).

2. Mokrozub V.G., Malygin E.N. Development of decision-making support systems to design chemical process equipment for batch production. *Advanced Materials and Technologies*, 2019, no. 2, pp. 48–58. DOI: 10.17277/amt.2019.02.pp.048-058.

3. Nigmatullin V.R., Kostenkov D.M., Koskina A.I. et al. Tools for automated calculation of test pressures, welding control, pipeline joints heat treatment in CAD AVEVA PDMS/E3D. *Oil and Gas Business*, 2019, no. 5, pp. 173–184. Available at: http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/5_2019/ogbus_5_2019_p173-184.pdf (accessed July 13, 2022) (in Russ.). DOI: 10.17122/ogbus-2019-5-173-184.

4. Sierla S., Azangoo M., Fay A., Vyatkin V., Papakonstantinou N. Integrating 2D and 3D digital plant information towards automatic generation of digital twins. *Proc. XXIX IEEE ISIE*, 2020, pp. 460–467. DOI: 10.1109/ISIE45063.2020.9152371.
5. Fontokina V.A., Savenko A.A., Samarskiy E.D. The role of BIM technologies in the construction economy. *The Eurasian Scientific J.*, 2022, vol. 14, no. 1, pp. 1–11 (in Russ.).
6. Kuklina E.A. Digital transformation strategy as a tool for implementing the business strategy of a company in the oil and gas sector of modern Russia. *Administrative Consulting*, 2021, no. 6, pp. 40–53. DOI: 10.22394/1726-1139-2021-6-40-53.
7. Meshalkin V.P., Moshev E.R. Modes of functioning of the automated system "Pipeline" with the integrated logistical support of pipelines and vessels of industrial enterprises. *Engineering and Automation Problems*, 2014, no. 1, pp. 64–73 (in Russ.).
8. Furaev D.N., Chistyakova T.B. Computer system for teaching resource-saving design of oil recycling processes. *Bull. of St PbSIT (TU)*, 2021, no. 59, pp. 101–106. DOI: 10.36807/1998-9849-2021-59-85-101-106 (in Russ.).
9. Furaev D.N., Chistyakova T.B. Software package for the design of energy-saving catalytic cracing plant. *Mathematical Methods in Engineering and Technology*, 2019, vol. 12-3, pp. 18–21 (in Russ.).

Для цитирования

Фураев Д.Н., Чистякова Т.Б. Компьютерная система для разработки цифровых информационных моделей процессов вторичной переработки нефти // Программные продукты и системы. 2022. Т. 35. № 3. С. 482–487. DOI: 10.15827/0236-235X.139.482-487.

For citation

Furaev D.N., Chistyakova T.B. A computer system for developing digital information models of oil recycling processes. *Software & Systems*, 2022, vol. 35, no. 3, pp. 482–487 (in Russ.). DOI: 10.15827/0236-235X.139.482-487.