

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 66.65.001.56

DOI 10.55421/1998-7072_2025_28_1_127

Д. Р. Ахмеров, А. Г. Мухаметзянова

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК
НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ASPEN HYSYS

Ключевые слова: моделирование, анализ, оптимизация, ректификация, программный пакет Aspen HYSYS.

Цель данной статьи – описать моделирование гидравлического режима работы колонны стабилизации риформата для повышения производительности технологических установок нефтеперерабатывающих заводов с применением Aspen HYSYS. В работе рассмотрены методы анализа работы технологических объектов в различных режимах путем проведения испытаний на действующих объектах и построения математических моделей. Представлены современные средства моделирования технологических объектов. Построена математическая модель колонны ректификации в среде Aspen HYSYS, а также произведена калибровка модели по данным действующего объекта. С применением встроенного инструмента анализа гидравлического режима колонного оборудования проанализирован режим работы контактных устройств аппарата и определена оптимальная гидравлическая нагрузка на них. Определено максимальное повышение производительности колонны без потери качества продуктов. Проведено моделирование и анализ эффективности работы центробежного насоса. В статье рассмотрены одни из наиболее эффективных современных методов и продуктов для моделирования, анализа и оптимизации тепло-массообменных и гидромеханических процессов. Проанализирована возможность использования ПО Aspen Hysys для анализа гидравлического режима колонного оборудования для повышения производительности аппарата без потери качества получаемых продуктов, а также анализа работы центробежного насоса. Также описана технология усовершенствованного управления ТП для стабилизации параметров качества продуктов установки и максимизации экономической эффективности. Описанный в статье метод моделирования может использоваться для расчета максимальной нагрузки питания колонны, основанием эффективности модели является калибровка её работы по данным работы реальных установок с приемлемой погрешностью 5–7%.

D. R. Akhmerov, A. G. Mukhametzyanova

IMPROVEMENT OF THE EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL UNITS
OF OIL REFINERIES USING ASPEN HYSYS

Keywords: modeling, analysis, optimization, rectification, Aspen HYSYS.

The purpose of this article is to describe the modelling of optimal operation mode and efficiency improvement of technological units of oil refineries using Aspen HYSYS. The paper considers methods of analyzing the operation of technological facilities in different modes by conducting tests at operating facilities and building mathematical models. Modern means of modelling of technological objects are presented. The mathematical model of rectification column in Aspen HYSYS environment is built, and the model is calibrated according to the data of the operating object. Using the built-in tool of column equipment hydraulic mode analysis, the operating mode of the contact devices of the apparatus was analyzed and the optimum hydraulic load on them was determined. The maximum increase of column productivity without loss of product quality was determined. Modelling and analysis of centrifugal pump efficiency is carried out. The description of optimization of technological mode of oil refining processes with the help of Advanced Process Control System is given. In the article some of the most effective modern methods and products for modelling, analysis and optimization of heat and mass exchange and hydromechanical processes are considered. The possibility of using Aspen Hysys software to analyze the hydraulic mode of column equipment to increase the productivity of the apparatus without losing the quality of the products obtained, as well as to analyze the operation of the centrifugal pump is analyzed. Also described is the technology of advanced TP control to stabilize the unit product quality parameters and maximize economic efficiency. The modelling method described in the article can be used to calculate the maximum column supply load, the basis for the effectiveness of the model is the calibration of its operation according to the data of real plants with an acceptable error of 5-7%.

Введение

Повышение эффективности эксплуатации действующих производств переработки нефти и газа происходит за счет применения более современных и эффективных средств, таких как использование систем автоматизированного проектирования (САПР) и программных продуктов для оптимизации работы действующих объектов.

В статье на примере программного комплекса

Aspen Hysys рассмотрены современные программные продукты и методы моделирования, анализа и оптимизации тепло-массообменных и гидромеханических процессов действующих технологических объектов.

Каталитический риформинг бензина является основным процессом производства высокооктановых базовых компонентов бензинов, а также получения индивидуальных углеводородов.

Вопрос усовершенствования процесса каталити-

ческого риформинга бензина является важным и актуальным не только в России, но и за рубежом [1].

На рисунке 1 представлена принципиальная схема установки каталитического риформинга.



Рис. 1 – Принципиальная схема блоков установки каталитического риформинга

Fig. 1 – Schematic diagram of catalytic reforming unit blocks

Стабильный гидрогенизат поступает в реакторный блок каталитического риформинга, где протекают основные реакции, такие как дегидроциклизация алканов, дегидроизомеризация алкилциклопентанов, дегидрирование циклогексанов, изомеризация углеводородов и гидрокрекинг. Реакторный блок каталитического риформинга состоит из последовательно соединенных четырех реакторов, между которыми предусматривается межступенчатый подогрев промежуточных продуктов реакции в многокамерной трубчатой печи. Далее газопродуктовая смесь поступает в блок реконтакта, где происходит отделение водородсодержащего газа от продуктовой смеси – нестабильного риформата. В блоке колонны стабилизации из продуктовой смеси отделяются углеводородные газы. Впоследствии происходит процесс разделения стабильного риформата на легкий риформат, бензолсодержащую фракцию и тяжелый риформат [2].

Расчет оптимального режима работы колонны ректификации

На сегодняшний день перед действующими объектами нефтяной промышленности стоит задача максимизации повышения эффективности работы технологических установок, как с точки зрения повышения производительности по целевым продуктам, так и максимизации их качества [3].

Для достижения этих целей необходимо понимание о работе объекта при различных режимах работы: изменяющихся загрузке, качестве сырья, погодных условиях и т.д., чтобы в дальнейшем производить упреждающую корректировку технологического режима. Такую информацию о поведении объекта можно получить двумя способами:

- провести опытно-промышленный пробег на действующем объекте;
- произвести математическое моделирование объекта, и на полученной модели производить анализ работы объекта в различных режимах [4].

Использование опытно-промышленного пробега имеет неоспоримый плюс в виде большей точности полученных данных, т.к. данные поступают с реального объекта. Однако отрицательными сторонами такого подхода являются как технические ограничения (узкие диапазоны изменения режима работы установки, невыполнимость некоторых тестов на реаль-

ном объекте), так и организационные, не позволяющие проводить тестирование так часто, как это необходимо [5].

В этом случае целесообразно прибегать к математическому моделированию технологического объекта, позволяющее проводить испытания объекта с достаточной точностью и с большей вариативностью (отсутствуют ограничения на изменение технологического режима).

На рынке программного обеспечения существуют несколько решений для математического моделирования технологических объектов, таких как Aspen Hysys, PRO II, Unisim Design [6]. Поскольку все они обладают схожим функционалом в дальнейшем рассмотрена возможность моделирования и анализа технологических объектов с помощью Aspen Hysys.

Необходимо отметить, что существует мнение, что Aspen Hysys является средой проектирования технологических объектов, что в большей части не верно. Aspen Hysys не позволяет осуществлять исходное проектирование объекта, а только лишь симуляцию его работы. Для проектирования необходимо использовать Aspen Plus, который позволяет, используя исходные и конечные данные спроектировать технологический объект.

Aspen HYSYS представляет собой программный пакет, предназначенный для моделирования в стационарном режиме, проектирования химико-технологических производств, контроля производительности оборудования. Наряду с возможностью статического моделирования технологических схем, позволяет в той же среде производить динамическое моделирование отдельных процессов и всей технологической цепочки, а также разрабатывать и отлаживать схемы регулирования процессов [7].

Программа имеет расширенный набор модификаций уравнения состояния Пенга-Робинсона, включающих работу с несимметричными коэффициентами бинарного взаимодействия и различными правилами смещения, модификации для работы с водой, гликолями и аминами. Пакет имеет оригинальный, весьма совершенный алгоритм расчета ректификационных колонн, практически не имеет ограничений в отношении набора задаваемых спецификаций и сложности колонны. Также пакет имеет набор моделей для каталитических процессов, например реакторы Риформинга, Изомеризации, Каталитического крекинга и др.

В статье рассмотрено моделирование и анализ работы колонны разделения риформата комплекса каталитического риформинга.

Целью моделирования и анализа является определение возможности повышения загрузки колонны при фиксированном качестве получаемых продуктов.

Колонна предназначена для разделения стабильного риформата на легкий риформат, бензолсодержащую фракцию и тяжелый риформат. Колонна состоит из 69 тарелок клапанного типа. Краткий перечень параметров работы колонны представлен ниже:

- температура верха колонны – 78 С;
- температура низа колонны - 169 С;
- давление верха колонны – 1,5 кгс/см² изб.;
- давление низа колонны - 1,9 кгс/см² изб.;

- нагрузка колонны – 79,6 т/ч.

В качестве спецификации были заданы параметры: температура низа колонны (169 С) и содержание бензола в верхнем продукте - легком риформате (в качестве тяжелого ключевого компонента, 0,7 %масс).

В результате получена модель колонны разделения стабильного риформата с погрешностью расчетов менее 0,5%, что удовлетворяет требованиям

дальнейшего анализа ее работы, рис. 2.

Далее проведен анализ гидравлического режима работы колонны на предмет возможности повышения ее нагрузки, предварительно задав геометрические размеры колонны и контактных устройств. Результаты расчета гидравлического режима работы колонны представлены на рис. 3.

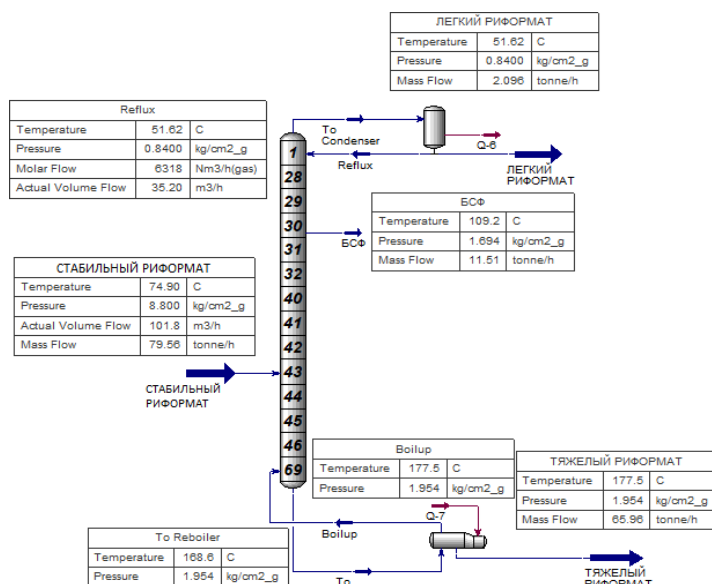


Рис. 2 – Математическая модель колонны разделения стабильного риформата

Fig. 2 – Mathematical model of a stable reformat separation column

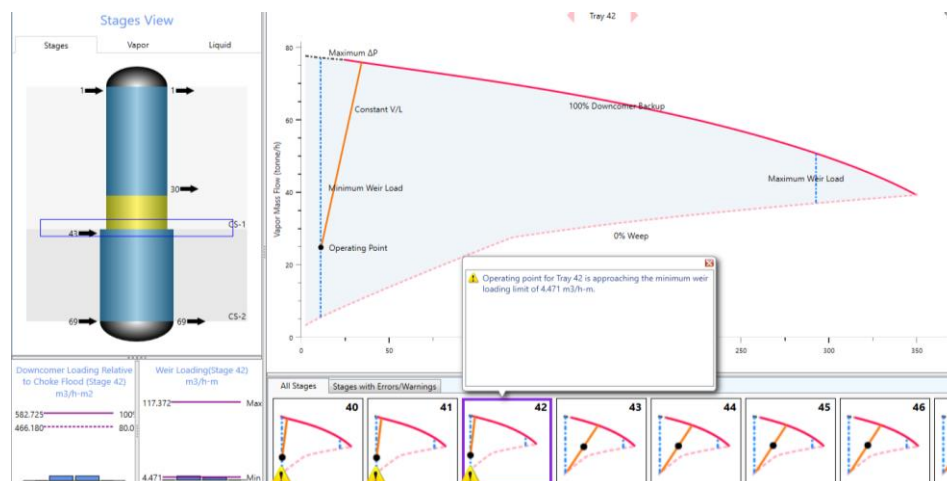


Рис. 3 – Гидравлический режим работы колонны

Fig. 3 – Hydraulic mode of column operation

В левой части рисунка изображена колонна с 69 тарелками. Каждая тарелка колонны имеет свой режим работы, свою цветовую индикацию:

- Синий цвет – гидравлический режим работы тарелки оптимальный;
- Желтый цвет - гидравлический режим работы тарелки близок к максимально допустимому;
- Красный цвет - гидравлический режим работы тарелки находится за пределами допустимых значений [8].

В правой части изображен график, отражающий

нахождение рабочей точки гидравлического режима работы тарелки в допустимом диапазоне.

Верхняя красная линия (100 % Downcomer Backup) обозначает затопление тарелки и проскок жидкости вниз. Нижняя пунктирная линия (0% Weep) обозначает унос жидкость наверх с парами.

Вертикальные голубые пунктирные линии обозначают минимальную и максимальную загрузку переливного устройства соответственно [9].

На графике видно, что большинство тарелок

имеют индикацию синего цвета, что говорит об оптимальном режиме их работы. Тарелки с 42 по 33 имеют индикацию желтого цвет, что говорит о нахождении рабочей точки вблизи предела. На рисунке 3 видно, что рабочая точка на 42 тарелке достигла минимума по загрузке переливного устройства не выходя за предел. Это говорит о том, что колонна недогружена по сырью и работает ниже номинальной мощности.

Далее используя параметр Over Design Factor - моделирование работы колонны при различной производительности (не меняя при этом материальный

баланс) определено, что при повышении производительности на 30% гидравлический режим тарелок 33-42 вернулся к оптимальным значениям, что как мы и предполагали говорит о недозагруженности колонны, рисунок 4. Далее определено, на сколько нужно поднять производительность колонны, так чтобы рабочая точка вышла за допустимые пределы, что будет говорить о достижении верхней границы производительности. Производительность необходимо повысить на 90 %. Это говорит о достаточном запасе по повышению производительности колонны. Таким образом производительность колонны можно повысить до + 90% от текущей.

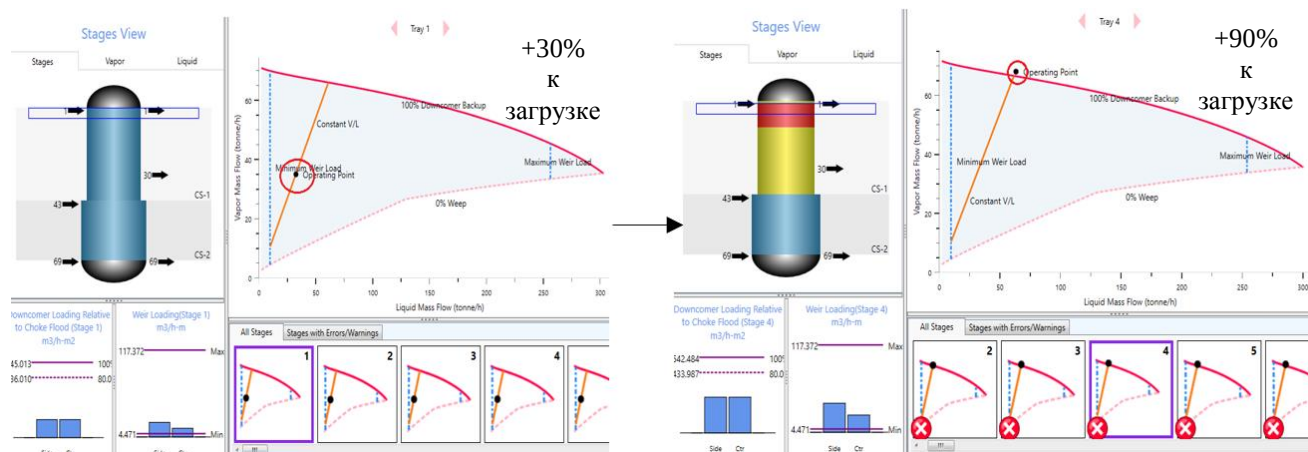


Рис. 4 – Моделирование работы колонны при различных нагрузках

Fig. 4 – Modeling of column performance under different loads

Найденная возможность повышения производительности колонны разделения riformата ставит вопрос о необходимости проведения гидравлического расчета центробежного насоса для перекачки нестабильного riformата

Насос по принципу действия - динамического типа, по виду сил – лопастной, по направлению движения жидкости в насосе – центробежный [10].

Для моделирования были заданы основные параметры работы насоса:

- создаваемый напор 373-375 м,
- рабочая производительность в диапазоне 100-102 м³/ч,

- геометрические размеры трубопроводной системы, в которую насос перекачивает продукт.

В результате моделирования определены мощность электродвигателя 110 кВт*ч, а также кавитационный запас насоса (NPSH) 14,5 м.

Далее необходимо провести анализ эффективности работы насоса при действующих параметрах.

Текущая производительность и напор насоса определяется его напорно-расходной характеристикой, показывающей взаимосвязь между расходом жидкости и напором [11], [12].

Ниже представлена рассчитанная напорно-расходная характеристика насоса, рис. 5.

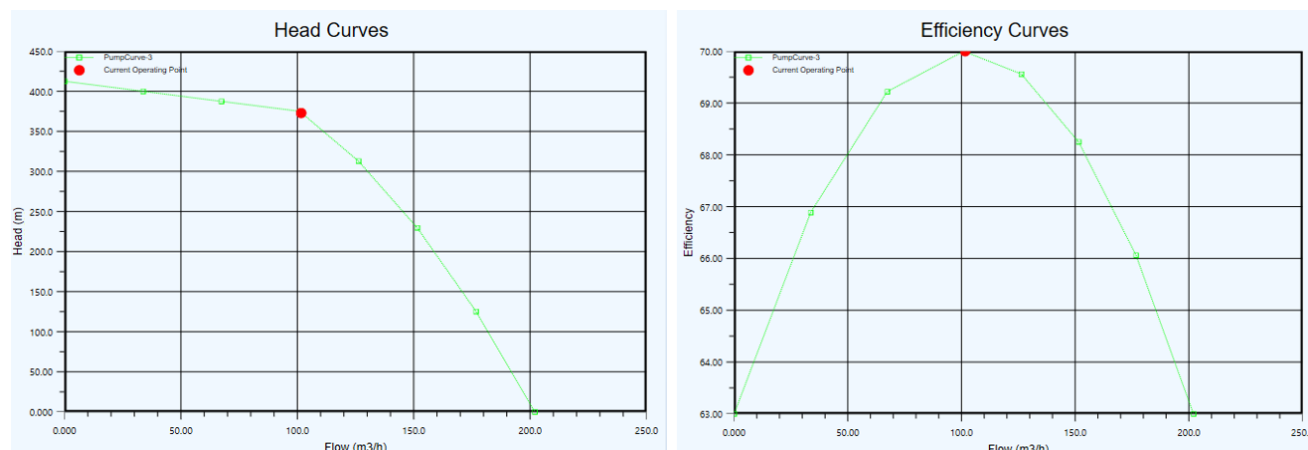


Рис. 5 – Полученная напорно-расходная характеристика насоса

Fig. 5 – Obtained pressure-flow characteristic of the pump

На рисунке видно, что при повышении расхода перекачиваемой жидкости напор, создаваемый насосом, снижается (PumpCurve – зелёного цвета) [13]. Красным цветом отражено нахождение рабочей точки насоса, она соответствует расходу 100,7 м³/ч (при рабочих условиях) и напору 373 м.ст.ж. Исходя из кривой эффективности мы видим, что максимальная эффективность работы насоса (70%) достигается в текущей рабочей точке насоса.

Заключение

Увеличение мощности переработки нефтепродуктов остаётся одной из ключевых задач модернизации нефтеперерабатывающих комплексов Российской Федерации. В качестве примера можно привести предприятия - Лукойл-Ухтанефтепереработка, Ухтинский НПЗ готов нарастить объёмы производства премиального дизельного топлива на 33% [14]; на Омском НПЗ после завершения масштабной программы модернизации глубина переработки нефти достигла 100%, после запуска проекта на предприятии смогли увеличить производство дизельного топлива на 27%, автомобильного бензина на 15%, авиационного керосина на 7% [15].

Описанный в статье метод моделирования может использоваться для расчета максимальной нагрузки питания колонны, основанием эффективности модели является калибровка её работы по данным работы реальных установок с приемлемой погрешностью 5–7% [14].

В статье рассмотрены одни из наиболее эффективных современных методов и продуктов для моделирования, анализа и оптимизации тепло-массообменных и гидромеханических процессов. Проанализирована возможность использования ПО Aspen Hysys для анализа гидравлического режима колонного оборудования для повышения производительности аппарата без потери качества получаемых продуктов, а также анализа работы центробежного насоса. Также описана технология усовершенствованного управления технологического процесса для стабилизации параметров качества продуктов установки и максимизации экономической эффективности.

Литература

1. А.Р. Мусина, *European Science*, **26**, 4, 28-30 (2017).
2. Д.Р. Ахмеров, Ф.Р. Гариева. В сб. *Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей V международной научной конференции в 2-х частях. НПП МЕДПРОМДЕТАЛЬ ООО Газпром трансгаз Казань. Ч. 1. Общество с ограниченной ответственностью "КОНВЕРТ"*, Казань, 2021. С. 31-34.
3. Д.О. Кондрашев, А.Ф. Ахметов, *Башкирский химический журнал*, **13**, 4, 138-140 (2006).
4. Д.А. Луканов, Л.К. Лубсандоржиева, И.Е. Кузора, *Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт*, **50**, 4, 3-8 (2013).
5. А.Г. Мухаметзянова, В.В. Бронская, О. с. Харитонов, *Вестник Технол. ун-та*, **24**, 12, 139-141 (2021).

6. А.Г. Лаптев, М.М. Башаров, *Эффективность теплообмена и раз - деления гетерогенных сред в аппаратах нефтегазохимического комплекса: монография*. Центр инновационных технологий, Казань, 2016. 344 с.
7. J.J. Klemesš, Z. Kravanja, *Current Opinion in Chemical Engineering*, **2**, 4, 461- 474 (2013).
8. B. Linnhoff, E. Hindmarsh, *Chem. Eng. Sci.*, **38**, 5, 745-763 (1983).
9. О.А. Кузнецов. *Начало работы в Aspen HYSYS V8*. Берлин: Директ-Медиа, 2015. 68 с.
10. К.А. Алексеев, А.Г. Мухаметзянова, А.В. Клинов, *Вестник Казанского технол. ун-та*, **16**, 7, 212-216 (2013).
11. В.И. Турк, А.В. Минаев, В.Я. Карелин. *Насосы и насосные станции учебник для вузов*. Стройиздат, Москва, 1976. 304 с.
12. Н.В. Паламарчук, А.П. Деньгин, Е.М. Моисеев. *Уголь Украины*. **674**, 11, 43-51 (2011).
13. Т.Б. Саматова. *Проблемы финансово-экономической деятельности ООО «ЛУКОЙЛ-УНП»*. Ухтинский государственный технический университет, Ухта, 2022. С. 249-252.
14. Н.О. Мартыненко. *Логистика распределения в промышленности Омска*. Издательско-торговая корпорация "Дашков и К", Москва, 2023. С. 131-133.
15. G.M. Ostrovskii, N.N. Ziyatdinov, I.I. Emel'yanov, *Doklady Chemistry*, **461**, 2, 89-92 (2015).

References

1. Musina, A.R, *European Science*, **26**, 4, 28-30 (2017)
2. D.R. Akhmerov, F.R. Garieva. *Priority directions of innovation activity in industry: collection of scientific articles of V international scientific conference in 2 parts, Kazan / NPP MEDPROMDETAL Gazprom transgaz Kazan. Volume Part 1. - Kazan: Limited Liability Company 'CONVERT', Kazan, 2021. pp. 31-34.*
3. D.O. Kondrashev, A.F. Akhmetov, *Bashkir Chemical Journal*, **13**, 4, 138-140 (2006).
4. D.A. Lukonov, L.K. Lubsandorzhieva, I.E. Kuzora, *Petroleum refining and petrochemistry. Nauchno-technical achievements and best practices*, **50**, 4, 3-8 (2013).
5. A.G. Mukhametzyanova, V.V. Bronskaya, O.S. Kharitonova, *Herald of Technological University*, **24**, 12, 139-141 (2021).
6. A.G. Laptev, M.M. Basharov. *Efficiency of heat and mass transfer and separation of heterogeneous media in the apparatuses of oil and gas chemical complex: monograph*. Centre for Innovative Technologies, Kazan, 2016. 344 p.
7. J.J. Klemesš, Z. Kravanja, *Current Opinion in Chemical Engineering*, **2**, 4, 461- 474 (2013).
8. B. Linnhoff, E. Hindmarsh, *Chem. Eng. Sci.*, **38**, 5, 745-763 (1983).
9. O.A. Kuznetsov. *Beginning of work in Aspen HYSYS V8*. M. [Berlin: Direct-Media, 2015. 68 p.
10. K.A. Alekseev, A.G. Mukhametzyanova, A.V. Klinov, *Herald of Kazan Technological University*, **16**, 7, 212-216 (2013)
11. V.I. Turk, A.V. Minaev, V.Y. Karelin. *Pumps and pumping stations textbook for universities*. M Stroyizdat, Moscow, 1976. 304 p.
12. N.V. Palamarchuk, A.P. Denygin, E.M. Moiseev. *Ugol Ukrainy*. **674**, 11, 43-51 (2011).
13. T.B. Samatova. *Problems of financial and economic activity of LUKOIL-UNP LLC*. Ukhta State Technical University, Ukhta, 2022. pp. 249-252
14. N.O. Martynenko. *Logistics of distribution in the Omsk industry*. Publishing and Trading Corporation "Dashkov & K", Moscow, 2023. pp. 131-133
15. Ostrovskii, N.N. Ziyatdinov, I.I. Emel'yanov, *Doklady Chemistry*, **461**, 2, 89-92 (2015).

© Д. Р. Ахмеров – аспирант кафедры Инженерной компьютерной графики и автоматизированного проектирования (ИКГАП), Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), Казань, Россия, dr.danilsis@yandex.ru; А. Г. Мухаметзянова – докт. тех. наук, доцент, зав. кафедры ИКГАП, КНИТУ, asia@kstu.ru.

© D. R. Akhmerov – PhD-student of the department of Computer Graphics Engineering and Computer Design (CGECD), Kazan National Research Technological University (KNRTU), Kazan, Russia, dr.danilsis@yandex.ru; A. G. Mukhametzyanova – Doctor of Sciences (Technical Sci.), Associate professor, Head of the CGECD department, KNRTU, asia@kstu.ru.