

УДК 621.927

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ЕМКостей
ОТ ОСТАТКОВ ВЯЗКОПЛАСТИЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ**

**MODELING OF HEAT TREATING
CONTAINERS OF BALANCES VISCOUS-PLASTIC FLUID**

Н.Н. ЕЛИН, А.Ф. МАКАРЫЧЕВ, Б.В. ЖУКОВ
N.N. YELIN, A.F. MAKARYCHEV, B.V. ZHUKOV

(Ивановский государственный политехнический университет)
(Ivanovo State Polytechnical University)
E-mail: yelinnn@mail.ru;

Построена математическая модель процесса пропарки емкостей для хранения вязкопластичных жидкостей и выполнена ее компьютерная реализация в программной среде ANSYS, позволяющая проводить вычислительные эксперименты с целью выявления рациональных параметров подачи пара для заданной степени зачистки емкости.

A mathematical model of the process of steaming containers for the storage of viscous-plastic fluid and its computer realization performed in ANSYS software environment, allowing carrying out computational experiments to identify the parameters of rational supply of steam to the desired degree of stripping capacity.

Ключевые слова: емкость, вязкопластичная жидкость, водяной пар, пропарка, теплоперенос, модель, гидродинамика.

Keywords: capacity, viscous-plastic fluid, steam, steaming, heat and mass transfer, model, hydrodynamics.

В текстильной промышленности используется много веществ, которые можно отнести к неньютоновским вязкопластичным жидкостям (суспензии, парафины, компоненты красителей и др.). При опорожнении сосудов, в которых транспортируются и хранятся такие вещества, на их внутренних стенках формируются отложения.

Одним из основных способов очистки емкостей от отложений является их пропаривание [1]. Отсутствие достоверных рекомендаций по организации пропарки может привести к необоснованным потерям энергии, увеличению продолжительности процесса, а следовательно, к нарушению основных технологических процессов [2].

Так как процесс пропаривания весьма энергоемкий, разработка его компьютерной модели с целью оптимизации режимных параметров представляет собой актуальную научную и практическую задачу [3...5], а создание компьютерной модели процесса пропарки позволит обоснованно выбирать рациональные режимы подачи пара и его параметры.

Моделирование данного процесса выполнено с помощью вычислительного комплекса ANSYS (ANSYS Inc.) [6], который был выбран в связи с его большой функциональностью, возможностью интеграции с Computer-Aided Design (CAD) системами. Математическая модель построена на основании решения сопряженной задачи тепломассообмена в системе водяной пар – пленка удаляемого вещества – стальная стенка емкости – окружающая среда при заданной динамике подачи пара, его параметров, теплофизических и реологических свойств удаляемого вещества и параметров окружающей среды.

Создание геометрической модели емкости происходило в Rhinoceros 3D с последующей интеграцией в программный комплекс ANSYS. Упрощенная модель резервуара состоит из входного патрубка для подачи теплоносителя, вентиляционного люка и стальных стенок. После интеграции была построена расчетная сетка в модуле ANSYS Meshing. В момент расчета каждой ячейке сетки присваиваются свои значения, поэтому чем точнее построена сетка, тем достовернее результаты. Конечно-элементная модель емкости сформирована из 3-х расчетных доменов. При генерации расчетной сетки использованы hexa/prism элементы, наиболее точно описывающие геометрию емкости. Минимальный размер конечно-элементной сетки 0,2 мм, что позволяет учесть особенности движения пара и удаляемого вещества по стенкам резервуара. Для оптимизации сетки конечных элементов была использована функция Virtual Topology.

Расчеты проводились в ANSYS FLUENT с модулем VOF (Volume fraction). Для того чтобы проследить динамику изменения параметров пленки удаляемого веще-

ства на внутренней поверхности резервуара и теплофизические параметры парогазовой смеси внутри него, необходимо задать рабочие параметры системы и начальные условия: расход и температуру пара, толщину и теплопроводность стенки резервуара, начальную толщину, плотность и реологические параметры пленки удаляемого вещества и еще ряд теплофизических параметров (как fluent, так и solid элементов).

На рис. 1...3 в качестве примера показаны результаты расчетов при подаче 1,44 т/ч перегретого пара давлением 0,12 МПа и температурой 280°C в железнодорожную цилиндрическую цистерну марки 15-1566-06 емкостью 60 т. Диаметр котла цистерны 3,030 м, его длина 10,770 м, толщина стальных стенок 0,009 м. Так как модель цистерны не "закреплена" в пространстве, можно исследовать влияние ее ориентации на параметры процесса.

Удаляемая жидкость рассматривалась как неньютоновская среда, подчиняющаяся закону Шведова-Бингама [7]. При нормальных условиях его плотность составляет 845 кг/м³, кинематическая вязкость 50 мм²/с, начальная толщина пленки 0,0015 м. Шаг по времени принимался 1 с.

Динамика средних температур стенки, пленки удаляемого вещества и парогазовой смеси внутри емкости показана на рис. 1 (динамика изменения температуры: 1 – парогазовая смесь; 2 – пленка удаляемого вещества; 3 – внутренняя стенка емкости).

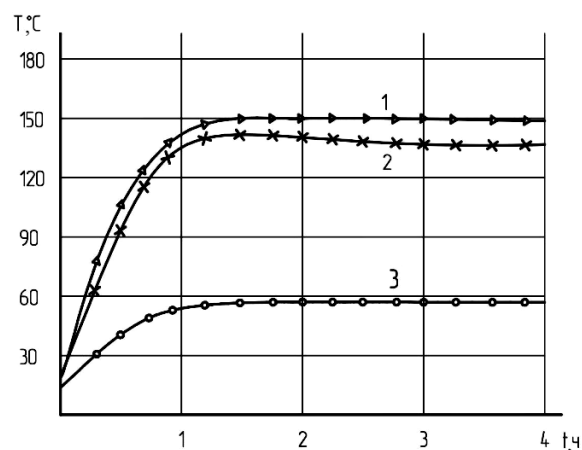
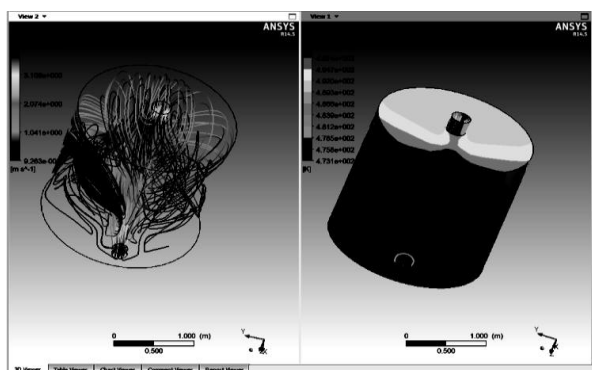


Рис. 1

В расчетах использовали известные положения теории тепломассообмена. Результаты показывают, что приблизительно через 1 ч после начала процесса пропарки значения температур стабилизируются. Очевидно, это происходит, когда количество теплоты, введенной в емкость с греющим паром, становится равным сумме количеств теплоты, уносимой с паровоздушной смесью через вентиляционный люк и теряемой в окружающую среду через стенки в результате теплопередачи [5].

Поля скорости распространения паровоздушной смеси и температуры внутри емкости для момента времени, когда пленка удаляемого вещества теряет сплошность и начинает стекать по ее внутренней стенке, показаны на рис. 2 (поля скорости паровоздушной смеси (а) и температуры (б) внутри емкости). В рассматриваемом примере это происходит через 2 ч после начала процесса.



а) б)

Рис. 2

Как видно из рис. 2-а, часть подаваемого в емкость пара покидает ее с паровоздушной смесью через вентиляционный люк, а остальная накапливается внутри резервуара. Часть теплоты, поступившей в резервуар с паром, теряется вследствие теплопередачи через пленку удаляемого вещества и металлическую стенку резервуара в окружающую среду, другая – через открытый люк вместе с уходящей паровоздушной смесью. При достижении паровоздушной смеси внутри емкости состояния насыщения часть пара начинает конденсироваться на пленке удаляемого вещества, тем самым увеличивая коэффициент

теплоотдачи от парогазовой смеси к пленке. С увеличением температуры внутри емкости увеличивается и давление насыщения, поэтому конденсируется не весь пар, поступивший в емкость.

Цель нашей работы заключается в поиске параметров процесса, при которых энергетические затраты на его проведение минимальны. Для достижения этой цели проведены вычислительные эксперименты по исследованию зависимости энергетических затрат от расхода греющего пара, результаты которых представлены на рис. 3 (зависимость энергетических затрат от расхода греющего пара: а) динамика энергопотребления при различных расходах теплоносителя G , т/ч: 1 – 1,44; 2 – 1,08; 3 – 0,72; 4 – 0,36; б) зависимость общих затрат энергии на пропарку от расхода теплоносителя).

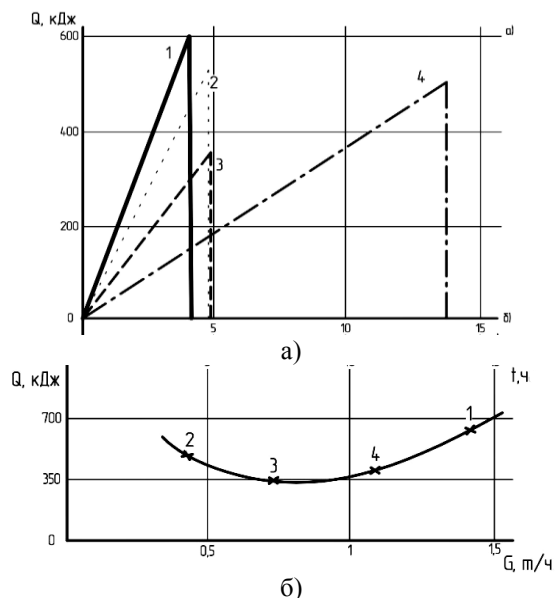


Рис. 3

На рис. 3-а в качестве примера показаны расчеты динамики энергетических затрат при четырех различных постоянных расходах греющего пара, представляющие собой прямые в диапазоне от времени начала процесса, принятого за ноль, до времени достижения заданной степени очистки емкости. На этом рисунке видно, что существует расход греющего пара, при котором энергетические затраты минимальны. Это соответствует режиму, при котором сумма тепловых потерь через

стенки емкости и через вентиляционный люк минимальны. Уменьшение этого расхода приводит к увеличению тепловых потерь теплопередачей через стенки емкости, а увеличение – к росту потерь с парогазовой смесью через вентиляционный люк.

На рис. 3-б представлена зависимость общих энергетических затрат на проведение процесса от расхода греющего пара, которые находятся как ординаты линий рис. 3-а, соответствующих времени окончания процесса. При построении этого графика проводили расчеты для 30 различных постоянных расходов греющего пара. Точки, соответствующие расходам пара, для которых построены зависимости на рис. 3-а, обозначены теми же цифрами.

Результаты исследований показывают, что величина энергетических затрат на проведение процесса пропарки весьма сильно зависит от величины расхода греющего пара и что действительно существует оптимальная величина расхода греющего пара, соответствующая минимальным энергетическим затратам на проведение процесса пропарки. В рассматриваемом примере оптимальный расход пара составляет 0,68 т/ч.

ВЫВОДЫ

Предлагаемая математическая модель и ее реализация в программном комплексе ANSYS дает возможность моделировать тепломассообменные процессы, происходящие при пропарке емкостей различной геометрии и ориентации в пространстве, содержащих остатки вязкопластичных жидкостей. Она может быть рекомендована для выбора рациональных режимов подачи пара и его параметров, соответствующих минимальным энергетическим затратам на проведение процесса для заданной степени зачистки емкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 1510–84. Нефть и нефтепродукты. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение.

2. Елин Н.Н., Шомов П.А., Перов П.А., Гольбин М.А. Моделирование и оптимизация трубопроводных сетей паропроводов промышленных предприятий // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2015, № 2. С. 63...66.

3. Щербakov А.З., Овчинников В.А., Селиванов Н.В. Определение расхода пара на подогрев нефтепродуктов в резервуарах // НТИС. Сер. Нефтехимия и нефтепереработка. – М.: ВНИИОЭНГ, 1990, № 4. С.13...15.

4. Михайлов В.М. К расчету стекания остатка горячего нефтепродукта со стенок железнодорожной цистерны // Изв. вузов. Нефть и газ. – 1978, №11. С.78...80.

5. Елин Н.Н., Мизонов В.Е., Макарычев А.Ф., Жуков Б.В. Моделирование процесса пропарки емкостей для хранения тяжелых нефтепродуктов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2016, №1. С.52...57.

6. Бруйка В.Н., Фокин В.Г., Солдусова Е.А., Глазунова Н.А., Адеянов И.Е. Инженерный анализ в ANSYS Workbench // Самарский государственный технический университет. – 2010.

7. Тетельмин В.В., Язев В.А. Реология нефти. – М.: Граница, 2009.

REFERENCES

1. GOST 1510–84. Neft' i nefteproduktu. Markirovka, upakovka, transportirovanie i hranenie.

2. Elin N.N., Shomov P.A., Perov P.A., Golybin M.A. Modelirovanie i optimizacija truboprovodnyh setej paroprovodov promyshlennyh predpriyatij // Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo jenergeticheskogo universiteta. – 2015, № 2. S.63...66.

3. Shherbakov A.Z., Ovchinnikov V.A., Selivanov N.V. Opredelenie rashoda para na podogrev nefteproduktov v rezervuarah // NTIS. Ser. Neftehimija i neftepererabotka. – M.: VNIIOJeNG, 1990, № 4. S.13...15.

4. Mihajlov V.M. K raschetu stekaniya ostatka gorjachego nefteprodukta so stenok zheleznodorozhnoj cisterny // Izv. vuzov. Neft' i gaz. – 1978, №11. S.78...80.

5. Elin N.N., Mizonov V.E., Makarychev A.F., Zhukov B.V. Modelirovanie processa proparki emkostej dlja hranenija tjazhelyh nefteproduktov // Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo jenergeticheskogo universiteta. – 2016, №1. S.52...57.

6. Brujaka V.N., Fokin V.G., Soldusova E.A., Glazunova N.A., Adejanov I.E. Inzhenernyj analiz v ANSYS Workbench // Samarskij gosudarstvennyj tehnikeskij universitet. – 2010.

7. Tetel'min V.V., Jazev V.A. Reologija nefiti. – M.: Granica, 2009.

Рекомендована кафедрой гидравлики, тепло-техники и инженерных сетей. Поступила 17.05.16.