

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАСТЫВАНИЯ
ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ
В ТАНКЕ НАЛИВНОГО СУДНА**

Яковлева Екатерина Павловна

студент

Астраханский государственный технический университет
414025, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16
E-mail: zvs01jak@rambler.ru.

Яковлева Анна Павловна

студент

Астраханский государственный технический университет
414025, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16
E-mail: astral37@mail.ru.

Яковлев Павел Викторович

доктор технических наук, профессор

Астраханский государственный технический университет
414025, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16
E-mail: zvs01jak@rambler.ru.

Выполнены исследования процесса застывания нефтепродуктов при их транспортировке в танкерах. Разработаны модель процесса застывания, алгоритм и программа для расчёта температурных полей в танке. Получены результаты решения задачи остывания нефтепродукта. Выполнен анализ и предложена обобщающая зависимость, описывающая динамику застывания нефтепродукта.

Ключевые слова: конвекция, температура, танкер

**MODELING THE SOLIDIFICATION PROCESS
HIGH-OIL VESSEL IN TANKS**

Yakovleva Yekaterina P.

Student

Astrakhan State Technical University
16 Tatishchev st., Astrakhan, 414025, Russian Federation
E-mail: zvs01jak@rambler.ru.

Yakovleva Anna P.

Student

Astrakhan State Technical University
16 Tatishchev st., Astrakhan, 414025, Russian Federation
E-mail: astral37@mail.ru.

Yakovlev Pavel V.

D.Sc. in Technical

Professor

Astrakhan State Technical University

16 Tatishchev st., Astrakhan, 414025, Russian Federation

E-mail: zvs01jak@rambler.ru.

The studies of the process of hardening of oil products carried in tankers. A model of the process of hardening, algorithm and program for the calculation of temperature fields in the tank. The results of solving the problem of cooling oil. The analysis and proposed a generalization relationship, describing the dynamics of hardening oil.

Keywords: convection, temperature, tanker

Транспорт высоковязких нефтепродуктов требует решения целого ряда технологических и экологических проблем, обусловленных необходимостью поддержания высокой температуры в танке или разработки режима транспортировки с остыванием и последующего разогрева. Поиск путей энергосбережения за счёт снижения потерь тепла показал возможность снижения потерь при образовании застывшего нефтепродукта на стенках [2–4]. Целью нашей работы является разработка математической модели и алгоритма программы расчёта темпа застывания нефтепродукта с последующим обобщением результатов с использованием теории подобия.

Нами приняты следующие условия однозначности:

$$t(0, \tau) = t_c; \quad t(\delta, \tau) = t_*; \quad t(y, 0) = t_0(y) \quad \delta(0) = \delta_0 \quad (1)$$

где t – температура, °C; τ – время, с; y – координата, нормальная к стенке танка, м; δ – толщина застывшего нефтепродукта, м.

Индексы: 0 – начальные значения, * – параметры, соответствующие застыванию (плавления) нефтепродукта, ж – параметры жидкого нефтепродукта.

Граничные условия на границе раздела жидкость – застывший нефтепродукт (условия Стефана):

$$\frac{d\delta}{d\tau} = \frac{\lambda}{r \cdot \rho} \left. \frac{\partial t}{\partial y} \right|_{y=\delta(\tau)} - \frac{\alpha(\tau)}{r\rho} (t_{ж}(\tau) - t_*) \quad (2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C); r – теплота плавления, Дж/кг; ρ – плотность, кг/м³; α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°C).

Граничные условия третьего рода на границе нефтепродукт – стенка танка:

$$y=0: -\lambda \frac{\partial t}{\partial y} = k(t_c - t_{cp}), \quad t(\delta, \tau) = t_*; \quad t(y, 0) = t_0(y); \quad \delta(0) = 0;$$

$$\frac{d\delta}{d\tau} = \frac{\lambda}{r \cdot \rho} \left. \frac{\partial t}{\partial y} \right|_{y=\delta(\tau)} - \frac{k(\tau)}{r\rho} (t_{ж}(\tau) - t_*) \quad (3)$$

где k – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°C).

Обработка полученных результатов выполнялась с использованием теории подобия в безразмерном виде. Для получения обобщающего уравнения, полученные нами результаты сопоставлялись с известным аналитическим решением [1], полученным. Известное решение при постоянных граничных условиях третьего рода имеет вид:

$$\eta = \sqrt{1 + \frac{2Fo}{K}} - 1, \quad (4)$$

где η – отношение толщины застывшего слоя к эквивалентному приращению слоя, определяемому граничными условиями; Fo – число Фурье; K – критерий Кутателадзе.

На рисунке 1 сопоставлены результаты известного [1] аналитического решения и результаты нашего численного эксперимента.

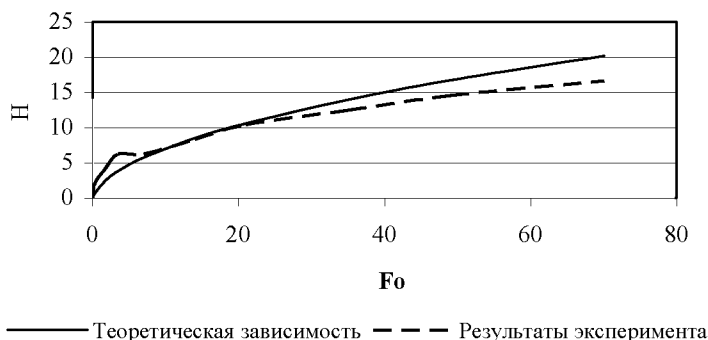


Рис. 1. Сопоставление аналитического
и расчетного решений толщины застывшего слоя
($t_s = 60$ °C, $t_0 = 20$ °C, $K = 5$ Вт/(м²·°C))

Обработка результатов позволила получить следующую расчётную зависимость, уточняющую уравнение (8):

$$\sigma = \left(\sqrt{\sigma_0^2 + \frac{Fo \cdot \sigma_0^2}{\delta_0^2}} - \sigma_0 \right) \sigma_0 K (38 - 0,01 Nu) Fo^{Nu \cdot E - 5 - 0,3}, \quad (8)$$

где Nu, Fo, K – числа подобия Нуссельта, Фурье, Кутателадзе соответственно; σ – отношение толщины застывшего слоя к определяющему размеру при $\delta = \delta_0$ ($\tau=0$) δ – толщина застывшего слоя, м; δ_0 – эквивалентная толщина слоя твердой серы, определяемая граничными условиями, м; l – характерный размер, м.

Список литературы

1. Дилигенский Н. В. Применение метода возмущений для решения задачи Стефана в процессах промышленной теплофизики / Н. В. Дилигенский, А. П. Ефимов, М. Ю. Лившиц // Теплообмен – 2000. IV Минский международный форум по теплообмену (22–26 мая 2000 г.). – Минск, 2000. – Т. 3. – С. 14–20.
2. Селиванов Н. В. Влияние различных факторов на динамику слоя структурированной фазы / Н. В. Селиванов, Е. А. Горбанева, П. В. Яковлев // Стратегия выхода из глобального экологического кризиса : материалы научных чтений. – Санкт-Петербург : Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы, 2001. – 320 с.
3. Селиванов Н. В. Динамика слоя структурированной фазы при перевозке застывающих жидкостей / Н. В. Селиванов, Е. А. Горбанева, П. В. Яковлев // Экология. Образование, наука и промышленность : сборник докладов на Международной научно-методической конференции. – Белгород : Белгородская государственная академия строительных материалов им. В. Г. Шухова, 2002. – Ч. 3. – С. 201–205.
4. Селиванов Н. В. Совершенствование перевозок высоковязких жидкостей автотранспортом / Н. В. Селиванов, Е. А. Горбанева, П. В. Яковлев // Стратегия выхода из глобального экологического кризиса : материалы научных чтений. – Санкт-Петербург : Белгородская государственная академия строительных материалов им. В. Г. Шухова, 2001. – 320 с.
5. Селиванов Н. В. Теплообмен высоковязких жидкостей в емкостях : монография / Н. В. Селиванов. – Астрахань : Астраханский государственный технический университет, 2001. – 232 с.

References

1. Diligenskiy N. V., Yefimov A. P., Livshits M. Yu. Primenenie metoda vozmushcheniy dlya resheniya zadachi Stefana v protsessakh promyshlennoy teplofiziki [Application of the perturbation method for solving the Stefan problem in industrial processes Thermophysics]. *Teploobmen – 2000. IV Minskiy mezhdunarodnyy forum po teplomassobmenu (22–26 maya 2000 g.)* [Heat and Mass Transfer - 2000. IV Minsk International Forum on Heat and Mass Transfer (22–26 May 2000)], Minsk, 2000, vol. 3, pp. 14–20.
2. Selivanov N. V., Gorbaneva Ye. A., Yakovlev P. V. Vliyaniye razlichnykh faktorov na dinamiku sloya strukturirovannoy fazy [Influence of various factors on the dynamics of the layer-structured phase]. *Strategiya vykhoda iz globalnogo ekologicheskogo krizisa : materialy nauchnykh chteniy* [The Exit Strategy of the Global Environmental Crisis. Proceedings of the Scientific Readings], Saint-Petersburg, International Academy of Ecology, Man and Nature Publ. House, 2001, 320 p.
3. Selivanov N. V., Gorbaneva Ye. A., Yakovlev P. V. Dinamika sloya strukturirovannoy fazy pri perevozke zastyvayushchikh zhidkostey [Dynamics of layer structured phase in transportation solidifying liquids]. *Ekologiya. Obrazovanie, nauka i promyshlennost : sbornik dokladov na Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii* [Ecology. Education, Science and Industry. Proceedings of the International Scientific Conference], Belgorod, Belgorod State Academy of Building Materials of V. G. Shukhov, 2002, chapter 3, pp. 201–205.
4. Selivanov N. V., Gorbaneva Ye. A., Yakovlev P. V. Sovershenstvovanie perevozok vysokovyzkikh zhidkostey avtotransportom [Improving transport high-viscosity liquids by road]. *Strategiya vykhoda iz globalnogo ekologicheskogo krizisa : materialy nauchnykh chteniy* [The exit strategy of the global environmental crisis: materials science readings], Saint-Petersburg, International Academy of Ecology, Man and Nature Publ. House, 2001. 320 p.
5. Selivanov N. V. *Teploobmen vysokovyzkikh zhidkostey v emkostyakh* [Heat transfer of highly viscous liquids in containers], Astrakhan, Astrakhan State Technical University Publ. House, 2001. 232 p.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕРОВОДОРОДА В ПРЕДЕЛАХ ВИЗЕЙ-БАШКИРСКОГО КАРБОНАТНОГО МАССИВА АСТРАХАНСКОГО СВОДА.

Ярошенко Татьяна Васильевна

аспирант

Астраханский государственный технический университет
414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16
E-mail: Tatiana.yaroschenko@yandex.ru

В данной работе рассмотрены процессы обогащения пластовых флюидов сероводородом, условия образования и сложности накопления сероводорода. В процессе геологоразведочных работ в пределах палеозойских отложений Астраханского свода и его обрамления на углеводороды, выявлены месторождения с высоким содержанием кислых компонентов (сероводород и углекислый газ). Определение количества содержания сероводорода в свободном газе осложняется не до конца понятыми процессами образования сероводорода, который участвует в формировании региональных сероводородсодержащих комплексов. А также отсутствием конкретных способов учета потерь сероводорода при миграции осерненного газа и формирования месторождений в разных геолого-геохимических условиях. Степень обогащенности сероводородом пластового флюида определяется не только условиями образования сероводорода, но и условиями формирования и существования сероводородсодержащих углеводородных скоплений.