

цией  $Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \rightarrow \max (\min)$ , при соблюдении ограничений, описывающих условия производства (ресурсы, договорные обязательства и др.)

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1j}x_j &\leq (=, \geq) b_1; \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2j}x_j &\leq (=, \geq) b_2; \\ &\dots\dots\dots \\ a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{ij}x_j &\leq (=, \geq) b_i; \end{aligned} \quad (2)$$

где  $x_j$  – неизвестные искомые переменные величины;  $n$  – количество этих переменных  $x_j$ ;  $j$  – номер переменной, изменяющийся от 1 до  $n$  ( $j=1, 2, \dots, n$ );  $a_{ij}$  – коэффициенты при неизвестных величинах;  $i$  – номер ограничения, изменяющийся от 1 до  $m$ , ( $i=1, 2, \dots, m$ );  $m$  – количество ограничений;  $b_i$  – свободные члены уравнений и неравенств (заданные постоянные величины);

### Список литературы

1. Шевченко И. Ю. // Вестник Алтайской науки, 2015. – Вып. 2 (24). – С. 39–43.
2. Зеленко И. Ю. Дис. ... канд. техн. наук. – Томск: Томский политехнический университет, 1999. – 150 с.
3. Кундиус В. А., Мочалова Л. А., Кегелев В. А., Сидоров Г. С. Математические методы в экономике и моделирование социально-экономических процессов в АПК. – М.: Колос, 2001. – 288 с.
4. Куңц М. К., Шевченко (Зеленко) И. Ю. // В сб. Химия и химическая технология в XXI веке. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – С. 376–378.
5. Сваровская Н. А., Шевченко (Зеленко) И. Ю., Трофимов А. Ю., Иванов Е. В., Голубева И. А. // Химия и технология топлив и масел, 2018. – № 2 (606). – С. 13–18.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОМЫСЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

И. Р. Долгов<sup>1,2</sup>

Научный руководитель – к.т.н., доцент Н. С. Белинская<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа»  
634027, г. Томск, проспект Мира, 72

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, Томск, [ilya.dolgov94@mail.ru](mailto:ilya.dolgov94@mail.ru)

На текущий момент определение оптимальных технологических параметров ведения процесса подготовки нефти, необходимых для достижения требований ГОСТ 51858-2002, в периметре нефтегазодобывающих Компаний осуществляется на начальном этапе проектирования на основании:

$Z$  – целевая функция,  $Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ;  $c_j$  – коэффициенты при искомым переменных величинах в целевой функции.

Экономико-математическая модель (ЭММ) предназначена для определения оптимальной структуры производства и решения управленческих задач [4].

Функциональные возможности ИМС проверены на данных пиролизного производства ЭП-300 завода «Этилен» Томского химкомбината. Так, было выполнено исследование [5] и даны рекомендации по использованию нового вида сырья. В качестве сырья рекомендована широкая фракция легких углеводородов (ШФЛУ), которая может быть использована в качестве самостоятельного сырья или как добавка к бензиновой фракции.

- режимов работы действующих объектов, на которых предусмотрена подготовка продукции скважин с аналогичными свойствами;
- результатов моделирования процесса обезвоживания водонефтяной эмульсии в лабораторных условиях.

Стоит отметить, что в научной литературе также представлено множество подходов к математическому описанию процесса промысло-

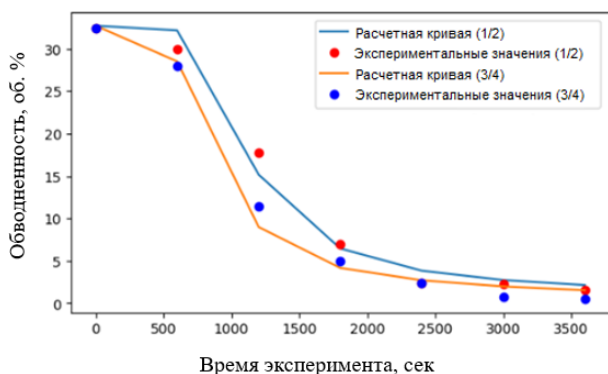


Рис. 1. Сравнение экспериментальной и расчетной кривых изменения обводненности эмульсии в двух точках (1/2 и 3/4 от высоты емкости)

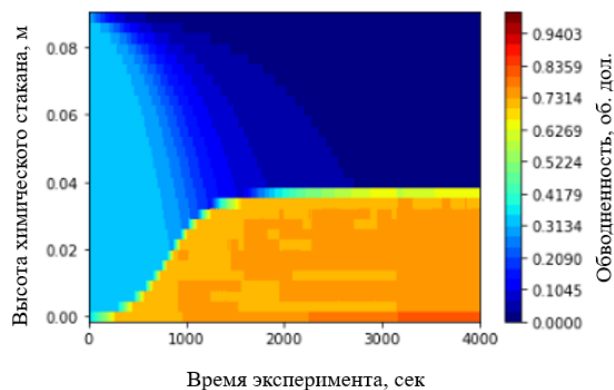


Рис. 2. Динамика изменения обводненности эмульсии по высоте химического стакана

вой подготовки нефти, однако ни один из них не нашел широкого распространения. Ввиду многофакторности процесса обезвоживания водонефтяной эмульсии (далее – ВНЭ) необходимо выделить ряд работ, основанных на уравнении баланса популяций (англ. – population balance equation, PBE) [1], которые позволяют учитывать ключевые физико-химические процессы, протекающие при осаждении капель дисперсной фазы (седиментация, бинарная коалесценция при осаждении и в слое плотной упаковки, поверхностная коалесценция, диффузия).

Целью данной работы является создание математической модели процесса обезвоживания ВНЭ для определения требуемого времени удерживания продукции скважин в технологическом оборудовании.

В основу модели было заложено дифференциальное уравнение, позволяющее описывать процессы массопереноса и массообмена при обезвоживании [2]:

$$\frac{\partial n_k}{\partial t} = w_k \frac{\partial n_k}{\partial z} + D_k \frac{\partial^2 n_k}{\partial z^2} - g_k \frac{\partial n_k}{\partial z} (dpz - wif) + Q_k \quad (1)$$

где  $n_k$  – концентрация частиц дисперсной фазы  $k$ -ого размера, шт/м<sup>3</sup>;  $w_k$  – скорость осаждения капель пластовой воды, м/с;  $D_k$  – коэффициент диффузии, м<sup>2</sup>/с;  $Q_k$  – процессы «рождения» и «гибели» частиц;  $u_k$  – константа перехода частиц через поверхность раздела фаз «нефть-вода», 1/с;  $dpz$  – высота плотной упаковки, м;  $wif$  – высота водного слоя, м.

Влияние каждого из процессов на расслоение водонефтяной эмульсии оценивалось посредством физических констант, расчет которых выполнялся при помощи метода Недлера-Мида.

Для оценки адекватности математической модели проведены уникальные лабораторные исследования по исследованию отделения воды по высоте слоя в динамическом режиме. В результате математического моделирования процесса были получены расчетные кривые (динамика выделившейся воды, динамика изменения обводненности по слоям), описывающие процесс обезвоживания одной из нефтей Западной Сибири без деэмульгатора и в присутствии него при разных температурах, которые коррелируют с экспериментальными значениями, полученными в лабораторных условиях. Для примера, на рисунках 1, 2 ниже приведены кривые, описывающие динамику обезвоживания ВНЭ при отсутствии в системе деэмульгатора.

### Список литературы

1. Frising T. et al. // *Journal of Dispersion Science and Technology*, 2006. – 27:7. – P. 1035–1057.
2. Долгов И. Р. // *Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа: сборник трудов IX меж-*

*дународной конференции (27 сентября – 1 октября 2021 г.). – Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2021. – С. 17.*