

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАЗЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ПОВРЕЖДЕНИИ НЕФТЕПРОВОДА В РУСЛЕ РЕКИ

Керова Ольга Игоревна, Перминов Валерий Афанасьевич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: takamarr@gmail.com

MATHEMATICAL MODELING OF THE OIL SPILL DISTRIBUTION IN CASE OF DAMAGED PIPELINE IN THE RIVERBED

Kerova Olga Igorevna

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Аннотация: В данной работе разработана математическая модель загрязнения нефтепродуктами водной среды при разрыве трубопровода. В результате проведения численных расчетов были получены распределения полей скорости и концентраций нефтепродуктов вблизи места повреждения. Данная математическая модель и полученные с ее помощью результаты могут быть использованы для прогнозирования распространения нефти в воде и своевременного обнаружения места утечки.

Abstract: In this research, we developed a mathematical model of the oil spills in the aquatic environment in consequence of the pipeline rupture. As a result of numerical calculations, we obtained distributions of velocity fields and concentrations of petroleum products near the pipeline rupture. This mathematical model and the obtained results can be used to predict the spread of oil in water and to detect a leak timely.

Ключевые слова: математическое моделирование; разлив нефти; водная среда; чрезвычайная ситуация.

Keywords: mathematical modelling; oil spills; aquatic environment; emergency response.

Методы описания распространения загрязняющих примесей в водоемах помогают оценить состояние водной среды. По результатам данных оценок разрабатываются меры по обеспечению экологической безопасности при возникновении данных чрезвычайных ситуаций. В работе представлена математическая модель процесса тепло- и массопереноса, расчет полей скорости, температуры и концентраций загрязняющих компонент в водоеме. В местах, где нефтепровод пересекает водоемы, могут происходить разрывы трубопроводов. Сделать предположение о том, как будет развиваться ситуация при разливе нефти можно с помощью теоретических методов используя математические модели аварийной ситуации. После расчетов и установления тенденции распространения загрязнения, необходимо производить мониторинг ситуации под водой при помощи специальных датчиков, которые помогают заблаговременно узнавать об аварийной ситуации связанной с разливом нефти. Чтобы качественно установить датчики отслеживания загрязнений необходимо смоделировать ситуацию разлива и изучить движение нефти в водной среде [1, 2].

В данной задаче мы будем рассматривать участок реки с заданной скоростью течения, на дне которого располагается трубопровод в системе подводного перехода. В предполагаемой ситуации происходит повреждение трубопровода и смесь нефтепродуктов непрерывным истечением поступает в открытый водоем (см. рисунок 1).



Рисунок 1 – Истечение нефти из трубопровода под водой

Влияние на процессы, происходящие в воде при попадании в нее нефтепродуктов, зависит от многих параметров: скорость и направление ветра и течения реки, изменение температуры с изменением глубины, а также характер утечки (постепенное истечение или залповое). Нефть способна испаряться, растворяться, биологически, фото- и термохимически разлагаться, эмульгировать с водой, оседать на дне и всплывать на поверхность, адсорбироваться и абсорбироваться, обволакивать взвешенные частицы, а также потребляться биологическими организмами. Невозможно в рамках одной модели учесть абсолютно все факторы, однако, чем больше значимых факторов будет учтено, тем точнее будут результаты и более соответствовать реальности [3].

В качестве области исследования выбираем часть реки и задаем границы конечной области в том месте, где проходит предполагаемый нефтепровод. На дне задаем параметры не всего нефтепровода, а только интересующего нас свища, образовавшегося в результате какого-либо повреждения (см. рисунок 2).

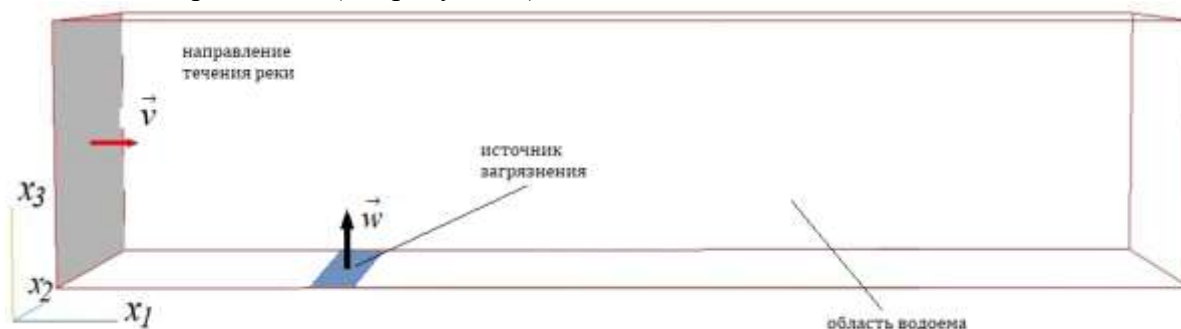


Рисунок 2 – Модель области реки с источником загрязнения

Определяем основные параметры: плотность и температуру воды, скорость течения реки, скорость истечения из предполагаемого отверстия нефтепровода. В данной работе нашей целью является расчет поля концентрации нефтепродуктов, вытекающих из нефтепровода, поля скоростей воды и нефти, а также предположение в каких направлениях происходят изменения в заданной области для того, чтобы аналогичную ситуацию в дальнейшем можно было изучать и прогнозировать последствия.

Математически данная задача сводится к решению уравнений Рейнольдса для турбулентного течения, а также уравнений энергии и концентрации загрязняющей примеси.

Согласно [4], обобщенное дифференциальное уравнение для искомых зависимых переменных (компонент вектора скорости, компонент концентраций, энергии и т.д.) будет иметь следующий вид:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\rho u_i \Phi - \Gamma_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \right) = S_\Phi \quad (1)$$

где t – время; x_i – пространственная координата ($i = 1, 2, 3$); ρ – плотность жидкости; u_i – компонент скорости в направлении x_i , Φ – обобщенная зависимая переменная, Γ_Φ – коэффициент массопереноса и S_Φ – источниковый член. Конкретные значения перечисленных величин приведены в таблице.

Плотность жидкости рассчитывается по уравнению состояния для смесей жидкости:

$$p = \rho RT \sum_{\alpha=1}^2 \frac{c_\alpha}{M_\alpha}, \quad (2)$$

$$\sum_{\alpha=1}^2 c_\alpha = 1, \quad (3)$$

где p – давление; T – абсолютная температура газа; R – универсальная газовая постоянная; c_α – массовая доля α ; α – компонента газовой смеси ($\alpha = 1, 2$, где 1 соответствует нефти, а 2 – остальным компонентам жидкости); M_α – молярная масса α -компоненты жидкой фазы.

Таблица – Зависимые переменные, эффективные коэффициенты обмена и исходные члены уравнений

Закон сохранения	Φ	Γ_Φ	S_Φ
Массы	1	0	\dot{m}
Импульса	u_i	$\mu + \mu_t$	$-\frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho g_i$
Энтальпии	h	$\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{Pr_t}$	0
Массовой доли компонентов α	c_α	$\frac{\mu}{Sc} + \frac{\mu_t}{Sc_t}$	0
Турбулентной кинетической энергии	k	$\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}$	$\rho(P_k + W_k - \varepsilon)$
Скорости рассеивания турбулентной кинетической энергии	ε	$\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}$	$\rho \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} P_k - C_{\varepsilon 2} \varepsilon + C_{\varepsilon 3} W_k - R_{RNG})$

Здесь h – энтальпия; k – турбулентная кинетическая энергия; ε – скорость диссипации турбулентной кинетической энергии; μ и μ_t – динамические молекулярные и турбулентные

вязкости, рассчитанные по уравнениям $\mu = \frac{1.479 \cdot 10^{-6} T^{1.5}}{(T + 116.275)}$ и $\mu_t = \left(\frac{C_\mu \rho k^2}{\varepsilon} \right)$; Pr , Sc , Pr_t и Sc_t –

молекулярные и турбулентные числа Прандтля и Шмидта; σ_k , σ_ε , C_μ , $C_{\varepsilon 1}$, $C_{\varepsilon 2}$, $C_{\varepsilon 3}$ – эмпирические константы турбулентной модели; g_i – ускорение свободного падения; \vec{u} – вектор скорости жидкости, имеющий три составляющие скорости: u_1 , u_2 , u_3 . Для численного решения данной задачи использовалось программное обеспечение PHOENICS [5].

PHOENICS – это программное обеспечение для моделирования потоков жидкости, тепла или массопереноса, а также химических реакций и процесса сжигания материалов. Данное программное обеспечение может применяться для решения задач различных направленностей во многих сферах деятельности [5].

Создание модели разлива нефтепродуктов в водной среде в программе PHOENICS проходит в пять этапов.

Первый этап. Выбираются геометрические и физические параметры области водоема: длина, ширина, глубина; плотность воды.

Второй этап. Задается источник загрязнения на дне водоема с определенными характеристиками: координатами (положением в пространстве), плотностью, концентрацией, температурой и скоростью истечения.

Третий этап. Устанавливаются внешние факторы, влияющие на распространение веществ: температура и скорость течения реки.

Четвертый этап. Настраивается плотность сетки, размер контрольных объемов и устанавливается время счета задачи.

Пятый этап. Производятся расчеты распределения концентрации нефти и скоростей.

На рисунке 3 можно видеть полученные распределения концентрации загрязнения в реке.

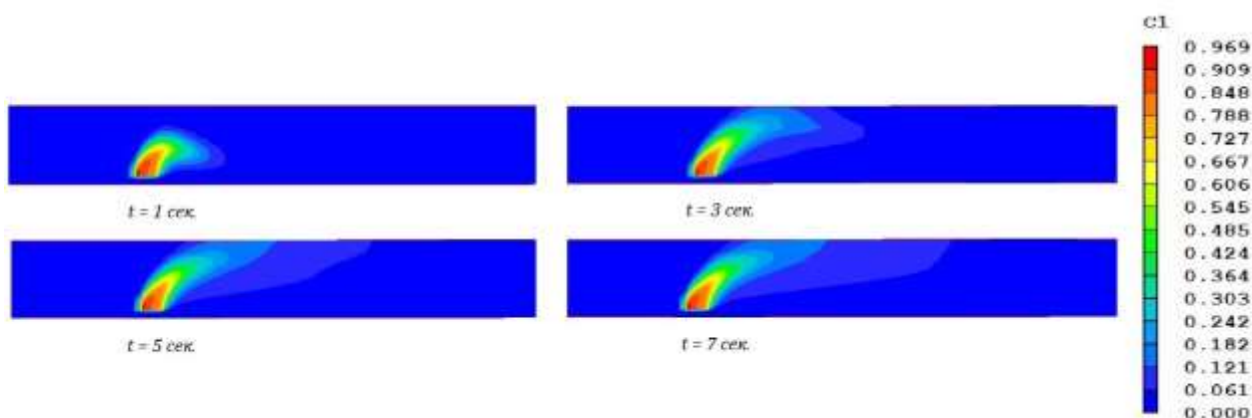


Рисунок 3 – Распределение концентрации C_1 в разные моменты времени

Наибольшие значения концентрации $C_1 = 0,969; 0,909; 0,848$ находятся непосредственно рядом с местом истечения нефти из трубы и изображены на цветовой шкале красным цветом. Значения концентрации при постепенном переносе нефти водой будут варьироваться в диапазоне от 0,788 до 0,242 – это показано на шкале переходом цветов от желтого до голубого. В области, где концентрация $C_1 = 0$ находится только вода.

Таким образом, данная задача о загрязнении воды нефтепродуктами была смоделирована и численно решена с помощью программного обеспечения PHOENICS. При анализе характера распространения нефтяного загрязнения в модели было выявлено, что концентрация нефтяного пятна достаточно быстро рассеивается в воде, потому что некоторые процессы данная модель пока не учитывает. Тем не менее, уже на данном этапе можно предложить мероприятия по своевременному обнаружению истечения, а также уменьшению последствий.

Список литературы

1. Guandalini R., Agate G., Moia F. Numerical 3D modelling of oil dispersion in the sea due to different accident scenarios // Energy Procedia. – 2017. – Vol. 125. – P. 161-169.
2. Li X., Chen G., Zhu H. Modelling and assessment of accidental oil release from damaged subsea pipelines // Marine Pollution Bulletin. – 2007. – Vol. 123. – P. 133-141.
3. Калинина Т.А. Химия нефти и газа: учебно-методический комплекс. – Москва: Проспект, 2017. – 200с.

4. Патанкар С.В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.
5. Official website of Phoenix software [Электронный ресурс] URL: <http://www.cham.co.uk/phoenics.php>

УДК 338.24:330.64

ИННОВАЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ КАК ИНСТРУМЕНТ ФОРМИРОВАНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ

Клабукова Анастасия Александровна, Матюгина Элеонора Григорьевна
Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск
E-mail: klabukova97@gmail.com

INNOVATIVE ACTIVITY AS A TOOL FOR FORMING COMPETITIVENESS

Klabukova Anastasiya Aleksandrovna, Matyugina Eleonora Grigoryevna
National Research Tomsk State University, Tomsk

Аннотация: Статья посвящена выявлению взаимосвязи инновационной активности и конкурентоспособности. Рассмотрены подходы к определению инновационной активности и ее оценке. Приведены статистические данные по динамике объемов инновационных товаров и услуг и ВРП по регионам России

Abstract: The article is devoted to the formation of the concept of "innovative activity" and the identification of the relationship of innovative activity and competitiveness. The approaches to the definition of innovative activity and its evaluation are considered. Statistical data on the dynamics of volumes of innovative goods and services and GRP in the regions of Russia

Ключевые слова: инновационная активность; конкурентоспособность; методы оценки инновационной активности; ВРП

Keywords: innovative activity; competitiveness; methods for assessing innovation activity; GRP

Тенденция цифровизации практически всех процессов жизнедеятельности общества, формируемая на фоне обострения конкурентной борьбы, придает способности хозяйствующих субъектов генерировать инновации и поддерживать высокий уровень инновационной активности статус ключевого фактора обеспечения конкурентоспособности. Так, согласно Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года «одним из основных условий перехода экономики на инновационный путь развития является повышение инновационной активности бизнеса» [1].

Существуют различные подходы к трактованию понятия «инновационная активность». В общем случае, инновационная активность подразумевает под собой интенсивность, масштабы, многообразие инновационной деятельности предприятия [например, 2]; однако данное определение несколько сужено и не отражает особенностей инновационной активности.

Согласно определению Л.И. Абалкина, инновационная активность – это динамическая, целенаправленная деятельность по созданию, освоению в производстве и продвижению на рынок продуктовых, технологических, процессных, организационных и управленческих нововведений с целью получения инновационно активными субъектами коммерческой выгоды и конкурентных преимуществ [3]. Данный подход позволяет выделить этапность (создание, производство и продвижение результата инновационной деятельности) и спектр