



УДК 658.26

ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В НЕФТЕГАЗОВОМ ДЕЛЕ

•••••

APPROACHES TO THE SOLUTION OF SOME TASKS OF ENVIRONMENTAL SAFETY IN OIL AND GAS CASE

Пастухова Елена Владимировна

кандидат технических наук, доцент,
Санкт-Петербургский горный университет
pastukhova.elena@mail.ru

Бакеева Лариса Викторовна

кандидат педагогических наук, доцент,
Санкт-Петербургский горный университет
larisabakeeva@yandex.ru

Pastukhova Elena Vladimirovna

Ph.D., Associate Professor,
St. Petersburg Mountain University,
pastukhova.elena@mail.ru

Bakeeva Larisa Victorovna

Ph.D., Associate Professor,
St. Petersburg Mountain University,
larisabakeeva@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается решение задач о турбулентном теплообмене при течении в трубе жидкости с постоянными физическими свойствами как одном из способов решения проблем экологической безопасности в целом, в нефтегазовом деле в частности, посредством построения математической модели процесса теплоотдачи. Показана возможность теоретического описания процессов теплообмена при течении жидкости в шероховатых трубах. Установлена разница в теплоотдаче для переходных зон при равномерно-зернистой шероховатости и технической.

Annotation. The article considers solving problems about turbulent heat exchange at the flow of liquid in the pipe with permanent physical properties as one of the ways to solve environmental safety problems in general, in the oil and gas industry in particular, through to build a mathematical model of the heat recoil process. The possibility of theoretical description of the processes of heat exchange during the flow of liquid in rough pipes is shown. There is a difference in heat output for transition zones with even-grained roughness and technical.

Ключевые слова: окружающая среда, экологическая безопасность, теплообмен для турбулентного течения жидкости в трубе, влияние шероховатости на теплоотдачу.

Keywords: environment, environmental safety, heat exchange for turbulent flow of liquid in the pipe, the impact of roughness on heat output.

С марта 2011 года в перечень показателей для оценки эффективности деятельности органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации включен раздел «Охрана окружающей среды». Документ устанавливает ряд экологических показателей для оценки качества компонентов природной среды, в том числе объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [1], появляющиеся как результат деятельности человека (действие промышленности, теплотрассы, добыча и переработка нефти, ТЭЦ, ГЭС, АЭС, транспортные системы и др.). Возникает необходимость контроля уровня теплового воздействия на окружающую среду, потому что миллиарды выброшенных лишних килокалорий приводят к неестественному повышению температуры воздуха и воды в промышленных районах и негативно влияют на экосистему регионов. Актуальной становится проблема появления термических отходов и теплового загрязнения, которые, затрагивая атмосферный слой биосферы, наносят большой вред природе и живым организмам, в том числе человеку, способствуют глобальному потеплению. Для минимизации воздействия термических отходов теплового загрязнения на биосферу необходимо проводить ряд мероприятий по охране окружающей среды, например, мер по очистке выбросов вредных веществ и снижению теплового воздействия, появляющихся в процессе эксплуатации транспортных средств (судов, самолетов, легковых и грузовых автомобилей и т.д.). Основы рационального использования природных ресурсов и природоохранного законодательства, современные методы экологического мониторинга, порядок проведения экологических экспертиз проектов расширения и реконструкции действующих производств, а также создания новых, организация проведения инженерно-экологических изысканий, программное обеспечение в области охраны окружающей среды, работа и устройство очистного оборудования, очистка промышленных сточных вод и утилизации отходов – вот небольшой перечень дисциплин и научных проблем, которые изучают и исследуют студенты Санкт-Петербургского горного университета специализации «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» специальности 21.05.06 «Нефтегазовая техника и технологии» [2].

Безопасное управление процессами окружающей среды, особенно с учетом термических факторов и теплового загрязнения, невозможно без прогнозирования, имитации или моделирования си-



туаций, что делает необходимым применение математических методов и моделей к проблемам экологии. Толчком для развития системных исследований динамических моделей, к которым относятся большинство процессов распространения различных видов загрязнений, послужила необходимость описывать экологические взаимосвязи или взаимодействия исследуемых явлений и факторов в форме конкретных дифференциальных уравнений. В зависимости от класса задачи это могут быть обыкновенные дифференциальные и дифференциально-разностные уравнения с постоянными или переменными коэффициентами, уравнения в частных производных и их системы.

Исследуем задачу, описывающую процесс теплообмена при течении жидкости в шероховатых трубах. Рассмотрим уравнение энергии для турбулентного режима течения жидкости [3]

$$\frac{dT}{d\eta} = -\frac{2q_w R}{\lambda V_{cp} Re_*} \cdot (1,25)^2 D(\eta) \cdot \frac{Pr_t}{Pr}, \quad (1)$$

Где

$$D(\eta) = [c_1 \ln \frac{c_1 - \sqrt{\eta}}{c_1 - 1} - 1 + \sqrt{\eta} + \sum_{m=6}^{\infty} \frac{\eta^{m/2-2}}{m c_1^{m-5}}] / (c_1 - \sqrt{\eta}), \quad (2)$$

$$Re_* = \frac{V_* R}{\nu}, \quad V_* = \sqrt{\tau_w / \rho}, \quad m = \frac{R}{k}. \quad (3)$$

Здесь V_* – динамическая скорость жидкости, определяемая касательным напряжением на стенке трубы, ν – кинематическая вязкость, m – параметр шероховатости стенки трубы, k – высота бугорков шероховатости (реальная для равномерно-зернистой и эффективная для технической), Re_* – числа Рейнольдса, Pr – числа Прандтля.

Проинтегрируем это уравнение энергии, учитывая граничные условия $\eta = 1$, $T = T_w$, получим распределение температур по сечению потока [4]

$$T = T_w - \frac{2q_w R \cdot (1,25)^2}{Re_* \lambda V_{cp} Pr} \int_1^{\eta} D(\eta) Pr_t d\eta. \quad (4)$$

Найдем среднюю массовую (среднекалорическую) температуру для рассматриваемого турбулентного течения

$$T_f = T_w - \frac{2q_w R}{\lambda} \cdot \frac{50}{16 V_{cp}^2 Pr Re_*} \int_0^1 V \eta \int_1^{\eta} D(\xi) Pr_t d\xi d\eta. \quad (5)$$

Тогда теплоотдача будет определяться следующим значением числа Нуссельта

$$Nu = \frac{16 V_{cp}^2 Pr Re_*}{50} \cdot \frac{1}{\int_0^1 V \eta \left(\int_1^{\eta} D(\xi) Pr_t d\xi \right) d\eta}. \quad (6)$$

Основной проблемой для рассматриваемой задачи является правильный выбор числа Прандтля для турбулентного

$$Pr_t = Pr_t(\eta, Re_*, Pr). \quad (7)$$

Будем использовать следующую формулу для числа Pr_t , опираясь на экспериментальные данные по числу Нуссельта [5]

$$Pr_t = \begin{cases} y_+^a Pr^b, & Pr \geq 1, \\ y_+^c Pr^d, & Pr \leq 1, \end{cases} \quad (8)$$

Где

$$y_+ = Re_*(1 - \eta), \quad a = (1 - \frac{1}{Pr}) / Pr, \quad (9)$$

$$b = [0,652(1,138 - 0,046 \lg Re_*) - \frac{0,29(6 \lg Re_* - 11)}{7(0,7 + (\lg Pr)^{2,22})}] \cdot (1 - \frac{y_+}{Re_*}), \quad (10)$$



$$c = (1 - \text{Pr})\text{Pr}(0,7\lg\text{Re}^* - 3,1), \quad (11)$$

$$d = \left[\left(\frac{1,076}{\lg\text{Re}^* - 0,733} - 0,302 \right) - (0,23 - 0,027\lg\text{Re}^*)(\lg\text{Pr}) \right] \left(1 - \frac{y_+}{\text{Re}^*} \right). \quad (12)$$

Это выражение числа Прандтля турбулентного Pr_t используется при расчёте теплообмена. Тем самым паре значений Re^* и Pr сопоставляется число Нуссельта Nu .

При расчёте теплообмена для турбулентного течения жидкости в трубе функция $f = f(\text{Re}^*)$ будет меняться в зависимости от шероховатости. Равномерно-зернистая и техническая шероховатости отличаются лишь переходными зонами от области гидравлически гладкой трубы до зоны квадратичного сопротивления, которые у них одинаковые. Именно в этих зонах по числам Рейнольдса проявляется различие в теплоотдаче. При достаточно больших числах Рейнольдса различие в числах Нуссельта невелико для разных видов шероховатости (разница менее 1 %).

На рисунке 1 показаны результаты расчёта числа Нуссельта для течения в трубе с различной технической шероховатостью при различных числах Рейнольдса для нескольких чисел Прандтля [5].

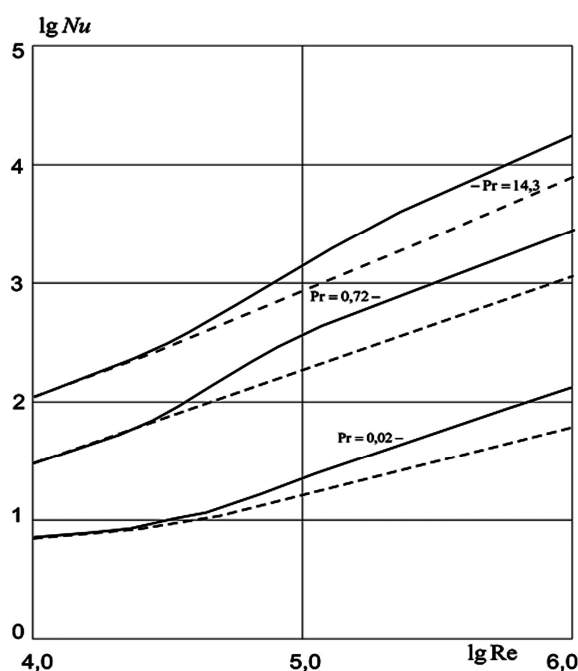


Рисунок 1 – Влияние шероховатости на теплоотдачу.

Сплошные линии – расчёт при $m = 100$; штриховые – гидравлически гладкая труба

Таким образом, мы видим, что шероховатость труб существенно повышает теплоотдачу по сравнению с гидравлически гладкой трубой в переходной зоне и в зоне квадратичного сопротивления.

Конечно, основной способ предотвращения появления негативных последствий тепловых загрязнений, это постепенный переход на альтернативные источники энергии. Но поскольку в промышленности полный отказ от использования топливной энергии невозможен, то постоянно ужесточающиеся нормативы образования промышленных отходов, тепловых выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду требуют поиска новых путей решения задач экологической безопасности, в том числе на математических моделях, которые позволяют расчетные данные сравнить с реальными данными наблюдений.

Литература:

1. Балуев Р.В. Проблемы эффективности природопользования на современном этапе // Записки Горного института. – 2013. – Т. 203.
2. Гончар Л.И. Актуальность математической подготовки при формировании инженерно-исследовательских навыков студентов / Л.И. Гончар, Л.И. Брылевская, О.А. Скепко // Современные образовательные технологии в преподавании естественно-научных и гуманитарных дисциплин: сборник научных трудов IV Международной научно-методической конференции, 2017.
3. Курбатова Г.И. О расчёте турбулентных течений в шероховатых трубах с равномерно-зернистой и технической шероховатостями / Г.И. Курбатова, В.А. Павловский, Е.В. Пастухова // Физическая механика. Модели неоднородных сред. – 2004. – Вып.8.



4. Павловский В.А. Турбулентное установившееся неизотермическое течение жидкости с постоянными физическими свойствами в прямой круговой трубе / В.А. Павловский, Е.В. Пастухова // Труды СПбГМТУ. – 2003.
5. Течение вязкой несжимаемой жидкости в кольцевой трубе при произвольных числах Рейнольдса / А.М. Моисеев [и др.] // Проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов на промпредприятиях и ТЭС. – 2001.

References:

1. Baluev R.V. Problems of environmental efficiency at the present stage // Notes of the Mining Institute. – 2013. – V. 203.
2. Gonchar L.I. Actuality of mathematical training in the formation of engineering and research skills of students / L.I. Gonchar, L.I. Brylevskaya, O.A. Skepko // Modern educational technologies in the teaching of science and humanities: collection of scientific papers IV of the International Scientific and Methodical Conference, 2017.
3. Kurbatova G.I. On the calculation of turbulent currents in rough pipes with even-grain and technical roughness / G.I. Kurbatova, V.A. Pavlovsky, E.V. Pastukhov // Physical mechanics. Models of heterogeneous environments. – 2004. – Vyp. 8.
4. Pavlovsky V.A. Turbulent established unisothermal fluid with permanent physical properties in a straight circular tube / V.A. Pavlovsky, E.V. Pastukhov // Proceedings of SPBGMU. – 2003.
5. Current of viscous incompressible liquid in the ring pipe at arbitrary numbers Reynolds / A.M. Moiseyev [et al.] // Problems of saving fuel and energy resources at industrial enterprises and TPP. – 2001.