

Секция 4

**НОВЕЙШИЕ СИСТЕМЫ, ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ  
ДЛЯ ПОДВОДНОГО ИЗУЧЕНИЯ ШЕЛЬФА АРКТИКИ  
И ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕЧЕНИЙ ВЯЗКИХ СРЕД  
В ТРУБОПРОВОДАХ С ПРОИЗВОЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИЕЙ  
ПОВЕРХНОСТИ СТЕНКИ В РЕЖИМАХ СУЩЕСТВЕННОГО ВЛИЯНИЯ  
ПЕРЕМЕННОСТИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ, ПЕРЕХОДОВ  
ВИХРЕВОЙ И ТЕПЛОВОЙ ПРИРОДЫ, ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТИЧЕСКИХ  
УСЛОВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**С.Н. Харламов, профессор, академик РАЕН**

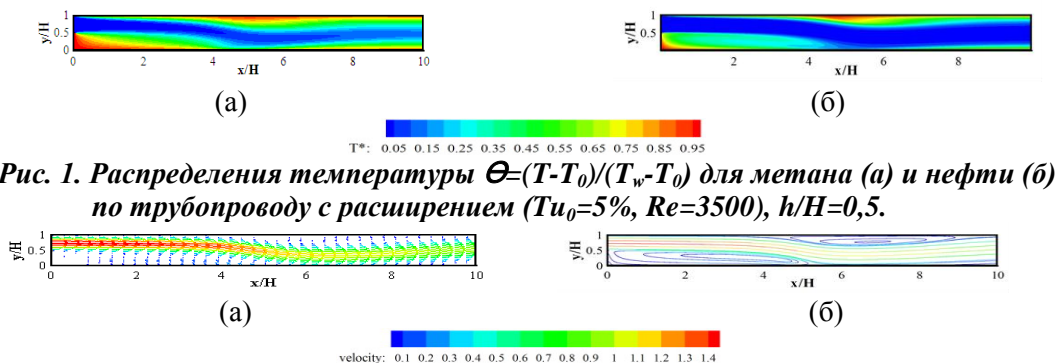
*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, Россия*

**Резюме.** Работа посвящена проблемам и результатам детального исследования гидро- и газодинамики, тепло- и массообмена при транспортировке гомогенных и гетерогенных углеводородных смесей, химически однородных и неоднородных вязких капельных и газообразных сплошных сред в трубах и каналах с особенностями поверхности стенки в устойчивых и переходных ламинарно-турбулентных режимах движения систем, реагирующих на изменения внешней среды, особенности функционирования узлов и аппаратов, специфической формы поперечного сечения в местах их соединений.

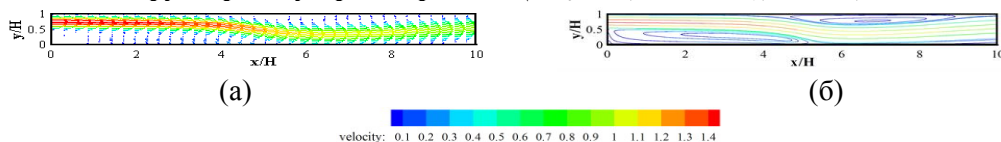
Исследование внутренних течений, осложненных переходами энтропийной природы, включающей особенности изменений структуры вследствие возмущений во внешней среде (специфический климатический фактор, особенности рельефа местности) и рабочем потоке (нетривиальные явления в режимах функционирования оборудования, обусловленные остановом, пуском, а также изменениями тепла, массы и импульса в вихревом, тепловом и химическом процессах при отрыве, присоединении рабочего тела в местах сочленений трубопровода) представляется *актуальной задачей*. Несмотря на многообразие фундаментальных и прикладных исследований подобных задач, имеющиеся результаты в части теории и опыта еще недостаточны для полного уяснения сути явлений, обеспечивающих надежность управления оборудованием в суровых условиях Крайнего Севера, постановку и реализацию экспериментов по прогнозу реальной картины динамики объекта исследования. В этой ситуации ощутимый вклад дают методы численного моделирования процессов с привлечением ПЭВМ, гибких технологических подходов и схем расчета сложных вихревых структур во внутренней и внешней средах. Заметим, что в настоящее время в изучении устойчивых и переходных отрывных течений с неизотермичностью, переменностью теплофизических свойств, изменениями состава, внешних сил, фазовыми явлениями горением достигнут существенный прогресс в понимании механизмов образования мелко- и крупномасштабной вихревых структур в потоках [1]. Однако, некоторые важные вопросы остаются открытыми для целей прогноза явлений при срыве потока с обтекаемого препятствия (отложения тяжелых фракций на стенках), перераспределения энергии в областях сочленения трубопроводов (движения через узлы и секции переменного поперечного сечения Т-, U-, F-, S- образной формы, конфузorno-диффузornoго типа), а также тупиковые ответвления крановых узлов,

**СЕКЦИЯ 4. НОВЕЙШИЕ СИСТЕМЫ, ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ  
ДЛЯ ПОДВОДНОГО ИЗУЧЕНИЯ ШЕЛЬФА АРКТИКИ  
И ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ**

заполненные смесью инертных и химически реагирующих газов, подверженных интенсивному нагреву/охлаждению от окружающей среды. Сюда следует отнести проблемы обоснования перспектив использования тех или иных математических и вычислительных моделей течений и корректного прогноза деталей изменений локальной структуры таких потоков и их интегральных параметров в энергонапряженных зонах. В настоящей работе моделирование процессов молярного переноса импульса, тепла и массы выполняется в рамках так называемого RANS-подхода, использующего уравнения Рейнольдса (осредненные уравнения Навье–Стокса) вместе с оригинальной многопараметрической анизотропной модели турбулентности второго порядка для напряжений и турбулентных потоков скалярной субстанции (тепла и массы) [2]. Такая модель опирается на двухпараметрические динамические и тепловые базы с транспортными уравнениями для кинетической энергии турбулентности ( $k$ ), интенсивности пульсаций поля энтальпии (температуры  $t'^2$ ), характерных масштабов времени пульсаций поля скорости  $\tau$  и температуры  $\tau_\theta$ , интегральный масштаб турбулентных энергонесущих вихрей  $L$ . Обосновывается необходимость учета эффекта разномасштабности процессов диссипации тепловых и динамических пульсационных параметров при сквозном расчете низкорейнольдсовых сложных турбулентных течений и тепло- и массообмена непосредственно со стенки, включая ламинарный подслой и буферную зону. Продемонстрированы возможности как самих опорных баз из  $k$ - $\tau$ ,  $t'^2$ - $\tau_\theta$  – уравнений, так и моделей “напряжения-потоки” в сравнении с замыканиями Г.С. Глушко-О.Ф.Васильева-В.И.Квона в прогнозе сложных турбулентных внутренних течений. Детально выполнена калибровка модели на классе канонических течений, с построением вычислительного алгоритма, оптимизацией постоянных. Представлена современная и, как показывают многочисленные сравнения с данными опытов, гибкая модель турбулентности успешно предсказывающая развивающиеся внутренние течения, тепло- и массообмен при движении вязких инертных и химически реагирующих углеводородных сред в условиях пониженных температур окружающей среды.



**Рис. 1. Распределения температуры  $\Theta=(T-T_0)/(T_w-T_0)$  для метана (а) и нефти (б) по трубопроводу с расширением ( $Tu_0=5\%$ ,  $Re=3500$ ),  $h/H=0,5$ .**



**Рис.2. Векторные распределения поля скорости (а) и линии тока (б) для нефти в трубопроводе в условиях вязкостно-инерционного ламинарного режима ( $Re=900$ ).**

Расчеты показывают, что с увеличением скорости движения среды в трубопроводе со скачком сечения в ядре возникают интенсивные рециркуляционные периферийные зоны. Выраженная асимметрия течения определяет динамику во верхнем вихре. Установлено, что тепловой пограничный слой становится заметно тоньше по мере поступления в протяженную часть трубопровода рабочей среды, которая не успевает прогреваться за счёт одного лишь механизма теплопроводности. Исключение составляют области вихрей, в которых

теплообмен осуществляется сильнее вследствие конвективного переноса нагретого вещества по всему объёму возвратной зоны. Также отметим, что заметный вклад в величину изменения молярной вязкости оказывают сдвиговые напряжения. Это подчеркивает роль анизотропных эффектов в процессах переноса импульса и тепла, необходимость их прогноза по универсальным моделям второго порядка.

### Литература

1. Kharlamov S.N., Silvestrov S.I. Hydrodynamics and Heat Transfer of Complex Internal Streams With Recirculation Fields. Rome: Ionta, Italy, 2010.- 169p.
2. Бубенчиков А.М., Комаровский Л.В., Харламов С.Н. Математические модели течений и теплообмена во внутренних проблемах динамики вязкого газа. Томск: Издательство ТГУ, 1993. -447с.

### **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ, ПРОКЛАДЫВАЕМЫХ В МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ**

**А.Т. Баишев**

Научный руководитель доцент В.Г Крец

***Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, Россия***

Для адекватной оценки технического состояния подземного газопроводов в районах Крайнего Севера следует определить фактические эксплуатационные нагрузки. В качестве примера возьмем аварийный участок «А», на котором произошло выпучивание газопровода на поверхность. Вследствие чего участок газопровода длиной 120м отклонился от оси укладки и находится под жестким напряжением частично в наземном положении без температурных компенсаторов. По данным геометрического нивелирования максимальный выгиб относительно оси укладки составил 1м. [4]

Расчет действующих напряжений участка изгиба МГ по теории упругого изгиба проведен по данным определения фактического профиля оси изгиба газопровода геодезическим методом[1]. Определены основные геометрические и физические параметры МГ в непроектном положении:  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа; диаметр наружный  $D = 0,53$  м; толщина стенки  $\delta = 0,007$  м; диаметр внутренний  $\delta = 0,516$  м; прогиб  $f = 1$  м; длина участка  $l = 120$  м. Продольное напряжение определяем по теории чистого изгиба:

$$\sigma(f, l) = 8EJ \frac{f}{W(4f^2 + l^2)}$$

Тогда продольное напряжение  $\sigma(f, l) \approx 30,98$  МПа. Газопровод схематично представим в виде статически неопределимой системы. При изменении температуры в элементах статически неопределимых систем возникают дополнительные усилия, так называемые температурные напряжения:

$$\sigma_t = -\alpha \Delta t E = -201,6 \text{ МПа}$$

где  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения металла трубы, м;

$E$  – переменный параметр упругости (модуль Юнга), МПа;

$\Delta t$  – расчетный температурный перепад, принимаемый положительной величиной при нагревании, С.

Максимальные суммарные продольные напряжения определяют от нормативных нагрузок и воздействий с учетом поперечных и продольных