

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЭФФЕКТ СНИЖЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРЕНИЯ И УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ И НЕФТЕПРОДУКТОПРОВОДОВ В НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЯХ ПРИ ВВЕДЕНИИ В ТУРБУЛЕНТНЫЙ ПОТОК ПОЛИМЕРНЫХ ПРИСАДОК

А.М. Павлюченко, д.т.н., профессор, Сумський НАУ

*Проанализирована актуальная проблема снижения сопротивления трения энергоемких магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов с целью энергосбережения и повышения их производительности. Рассмотрен один из наиболее перспективных методов снижения сопротивления трения в этих объектах, основанный на введении в турбулентный поток нефти и нефтепродуктов полимерных присадок малой их концентрации. Проведен анализ физических особенностей влияния полимерных присадок на характеристики пристенной турбулентности и механизма снижения сопротивления трения. Приведены экспериментальные результаты зарубежных натурных испытаний о снижении сопротивления трения магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов путем введения в турбулентный поток нефти и нефтепродуктов полимерных присадок. В натурных испытаниях достигнут большой энергосберегающий эффект, связанный со снижением сопротивления нефтепроводов до 50% и увеличения их производительности до 20%. Значительное энергосбережение достигнуто и для нефтепродуктопроводов. Сделаны выводы о перспективности этого наукоемкого направления.*

### Постановка проблемы в общем виде.

Энергоемкость трубопроводного транспорта, его значение для научно-технического и экономического развития различных стран обусловили остроту проблемы энергосбережения и прежде всего проблему снижения потерь напора в магистральных нефтепроводах, нефтепродуктопроводах и газопроводах, увеличения их производительности (пропускной способности).

Главным резервом снижения потерь напора, т.е. перепада давления по длине трубопроводов, является снижение в них сопротивления поверхности трения и, как следствие, увеличения их производительности.

Один из наиболее перспективных методов снижения сопротивления трения магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов (для бензина, дизельного и авиационного топлив) связан с введением в турбулентный поток нефти и нефтепродуктов полимерных присадок. Эффект снижения сопротивления трения при введении в турбулентный поток жидкости полимерных присадок открыт Томсом [1]. Это открытие стимулировало большое количество фундаментальных и прикладных исследований очень сложного влияния полимерных присадок на пристеночное турбулентное течение [2-9]. Ряд вопросов снижения сопротивления турбулентных потоков жидкости полимерными добавками (присадками) обсужден в [10] и в работе академика Л.И. Седова [11]. В работах [2,3,10] экспериментально исследован механизм влияния полимерных добавок на пристеночную турбулентность. Проведены также теоретические исследования воздействия полимерных присадок на турбулентные течения жидкостей [10,11,12].

В связи с проблемой масштабных эффектов в трубопроводном транспорте, так как в лабораторных условиях не моделируется число Рей-

нольдса, являющееся важнейшим критерием механического подобия в гидродинамике

( $Re = \frac{U \cdot d}{\nu}$ , где  $U$  – скорость потока жидкости в

трубе,  $d$  – диаметр трубы,  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости жидкости), необходимы натурные эксперименты по исследованию влияния полимерных присадок на снижение потерь напора в магистральных нефтепроводах, в нефтепродуктопроводах и на увеличение их производительности.

Анализу результатов по энергосберегающему эффекту в натурных испытаниях магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов при введении в турбулентные потоки нефти и нефтепродуктов полимерных присадок с целью снижения сопротивления поверхностного трения и увеличения производительности трубопроводов посвящена настоящая работа.

### Анализ последних достижений и публикаций.

К настоящему времени решен ряд принципиальных вопросов, относящихся к влиянию полимерных присадок на турбулентные течения. Было установлено в [10], что воздействие полимерных присадок связано с растяжением молекул полимеров в разбавленных растворах. Из данных измерений [13] следует, что полимерные добавки эффективны главным образом в пристеночной части турбулентного пограничного слоя, демпфируя влияние вихрей малого масштаба, прямо или косвенно участвующих в механизме генерации турбулентности и диссипирующей энергию турбулентного потока. Полученная в экспериментах информация о профилях скорости, о потерях энергии потока на трение, о флуктуациях скорости в турбулентных пристеночных течениях с полимерными присадками позволила

лучше объяснить уменьшение сопротивления трения и потерь напора потока [12-15].

Пристеночный турбулентный пограничный слой состоит из нескольких зон: 1) тонкого вязкого подслоя на стенке; 2) буферной (промежуточной) области; 3) турбулентного ядра с развитой турбулентностью; 4) надслоя с эффектом перемежаемости [15]. Турбулентное пристеночное течение состоит из вихрей разных масштабов. Крупные вихри, черпающие энергию из осредненного течения, содержатся в верхней части пограничного слоя, а мелкие вихри находятся вблизи стенки, обтекаемой потоком турбулентной среды.

В соответствии с каскадным механизмом Колмогорова-Ричардсона [15] энергия от крупных энергосодержащих вихрей, черпающих ее из осредненного течения, передается вихрям все меньших масштабов по высоте турбулентного пристеночного слоя и вблизи стенки кинетическая энергия турбулентности диссипирует в тепло в вихрях малых масштабов. Турбулентность в зоне тонкого вязкого подслоя турбулентного пограничного слоя в окрестности стенки резко затухает. Наряду с диссипацией кинетической энергии турбулентности, в окрестности обтекаемой стенки происходит генерация турбулентности, связанная с взаимодействием выбросов массы (коллективов молекул) жидкости от стенки и проникающей к стенке массы жидкости из основного потока. Поведение турбулентности вблизи стенки особенно важно для понимания механизма воздействия полимерных присадок на снижение сопротивления поверхностного трения в нефтепроводах и нефтепродуктопроводах.

В растворах полимеров происходит сильное подавление турбулентных вихрей малых масштабов и рост вихрей больших размеров. Большие вихри, являющиеся энергосодержащими, более устойчивы. В растворах с полимерными присадками число вихрей больших масштабов значительно возрастает, следовательно, кинетической энергии турбулентности диссипирует в тепло меньше. Возрастает толщина буферной (промежуточной) области пристеночного турбулентного пограничного слоя.

В целом уменьшение сопротивления трения в турбулентных пристеночных потоках жидкостей под влиянием полимерных присадок связано, во-первых, с изменением динамики турбулентности, во-вторых, с изменением в процессе обмена энергией вблизи обтекаемой поверхности, в частности, в буферной области турбулентного пограничного слоя [2-14].

Имеющиеся результаты экспериментальных и теоретических исследований воздействия полимерных присадок (добавок) на турбулентные течения жидкости, несмотря на существующие не до конца решенные вопросы, что обусловлено большой сложностью турбулентности, позво-

лили приступить к решению практических задач по снижению сопротивления трения и увеличению пропускной способности (производительности) магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов.

#### **Формулирование целей статьи (постановка задачи).**

Энергоемкость магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов, большие энергозатраты на транспортировку нефти и нефтепродуктов и высокая стоимость насосных станций для перекачки нефти и нефтепродуктов потребовали решения проблемы оптимизации магистрального трубопроводного транспорта по снижению потерь напора в нем и увеличению его производительности (пропускной способности), связанной со снижением потерь напора. Эту сложную научно-техническую проблему, относящуюся к энергосбережению, необходимо решать наукоемкими технологиями и экспериментальными методами. Импульс к развитию одной из наукоемких технологий дал открытый Томсом эффект снижения сопротивления трения при введении в турбулентный поток жидкости полимерных присадок [1]. Фундаментальные и прикладные исследования в лабораторных условиях влияния полимерных присадок на структуру турбулентных потоков жидкости, на снижение генерации турбулентности и уменьшение сопротивления поверхностного трения и потерь напора в нефтепроводах [2-14, 16-19] создали основу наукоемкой технологии, перспективной для практической реализации в трубопроводном транспорте нефти и нефтепродуктов в натуральных (реальных) условиях транспортировки этих сред.

В настоящей работе поставлена задача проанализировать результаты натурных испытаний по исследованию влияния полимерных присадок на турбулентные течения в магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах и определить перспективы этого наукоемкого направления по реализации энергосберегающей технологии для снижения сопротивления поверхностного трения в трубопроводах, следовательно, снижения потерь напора и увеличения пропускной способности (производительности) нефтепроводов и нефтепродуктопроводов.

Основные результаты реализации энергосберегающей наукоемкой технологии в натуральных условиях транспортировки нефти и нефтепродуктов.

С конца 70-х годов XX века началось проведение лабораторных и натурных испытаний влияния полимерных добавок на снижение сопротивления поверхностного трения при перекачке нефти в трубах. В [16] предложен новый способ использования полимеров высокой молекулярной массы для увеличения производительности нефтепроводов любой конструкции. При этом высокополимеры растворимы в воде, не

переходят в нефть, отделяются от нее обычным отстоем. В [16] изложены также принципы использования технических водорастворимых полимеров российского производства для улучшения режима и стабильной эксплуатации магистральных нефтепроводов.

В работе [17] исследованы характеристики полимерных присадок для снижения сопротивления трения при течении нефти. По опытным данным [17] снижение сопротивления трения в развитом турбулентном потоке нефти за счет полимерных присадок может достигать 75-85%.

В [18] выполнен большой объем экспериментальных исследований эффективности 40 полимерных присадок. Изучено влияние их структуры, молекулярной массы на снижение сопротивления трения при турбулентном течении нефти и устойчивость полимеров к деструкции. Выделены группы полимеров, наиболее эффективно снижающие сопротивление трения. Определены оптимальные интервалы молекулярных масс и полидисперсности полимерных присадок. Эффективность присадок изменялась на 10% в интервале температур от 0°C до 50°C и в основном не зависела от состава нефти. В некоторых случаях противотурбулентные присадки проявляли депрессорные свойства, однако эффект снижения сопротивления все равно усиливался. Было установлено, что полимерные добавки более эффективны для маловязких сортов нефти. При одинаковой скорости поток более легкой нефти отличался большей турбулентностью по сравнению с течением вязких нефтей и воздействие присадок было более заметным при перекачке нефтей с высокой вязкостью до 20 МПа·с.

В опытах [18] исследовалось влияние молекулярной массы в диапазоне  $M=(0,6\div 1,78)\cdot 10^6$  и весовой концентрации полимерной добавки в диапазоне  $C=0,001\div 0,01\%$ . В экспериментах использовалась товарная западно-сибирская нефть. Значения чисел Рейнольдса не превышали  $Re=1,8\cdot 10^4$ , что на два порядка меньше, чем в реальных нефтепроводах. Максимальный эффект снижения сопротивления трения в работе [18] зафиксирован при числе Рейнольдса  $Re=8,2\cdot 10^3$  и весовой концентрации присадок 0,01% и составлял 64,7%. Недостатком лабораторных экспериментов [18] являются низкие в сравнении с натурными условиями числа Рейнольдса и высокие концентрации полимерных добавок. Для натуральных нефтепроводов весовая концентрация добавок должна составлять  $10^{-5}\div 10^{-6}$ .

Полезность опытов [18] состоит в том, что они проведены с промышленным сортом нефти, в них параметрически исследовано влияние молекулярной массы, весовой концентрации полимерных добавок, числа Рейнольдса. Работы [17,18] выполнены в Институте химии нефти Сибирского отделения РАН (г. Томск). Противотур-

булентные полимерные присадки испытаны в лабораторных условиях в [19]. Исследовалась гидродинамика дизельного топлива и реактивное топливо ТС-1 с полимерными добавками полибутилена (ПБ) и полиизопрена (ПИ) с различной молекулярной массой. Присадки не оказывали отрицательного влияния на качество моторных и реактивных топлив. Все показатели отвечали стандартам. Отмечалось даже некоторое улучшение низкотемпературных свойств всех топлив. Добавки произведены на основе полимеров, имеющих промышленную базу в России.

Многочисленные экспериментальные исследования в лабораторных условиях показали высокую эффективность полимерных присадок для снижения сопротивления трения. В связи с проблемой масштабных эффектов, обусловленной неадекватностью лабораторных и натурных условий в реальных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах прежде всего по числу Рейнольдса, по температурному фактору, числу Прандтля, необходимо проведение натурных испытаний.

К настоящему времени получены обширные данные об использовании полимерных присадок на действующих нефтепроводах в США, Австралии, Мексике и бывшем СССР. Ниже приведен анализ натурных испытаний нефте- и нефтепродуктопроводов:

1) В работах [20, 21] приведены натурные данные о применении полимерных присадок для снижения гидродинамического сопротивления при перекачке нефти и за счет этого увеличения пропускной способности в Трансаляскинском магистральном нефтепроводе производительностью  $320\cdot 10^3\text{ м}^3$  в сутки. Постоянное совершенствование полимерных присадок и технологии их введения в трубопровод позволило за период с 1979 г. по 1984 г. увеличить эффективность применения присадки в 5-7 раз при сохранении начального уровня затрат, связанных с ее использованием. Присадки изготовлены на основе высокомолекулярных полимеров.

Энергосберегающий эффект на Трансаляскинском нефтепроводе от увеличения его пропускной способности за счет полимерных добавок эквивалентен исключению из работы двух перекачивающих станций. Полная проектная производительность нефтепровода  $320\cdot 10^3\text{ м}^3$  в сутки была достигнута при наличии присадок без ввода в эксплуатацию двух (из общего числа) нефтеперекачивающих станций. По своим свойствам полимерная добавка (присадка) представляет собой высокомолекулярную тиксотропную жидкость.

При весовой концентрации присадки  $(4-6)\cdot 10^{-6}$  уменьшение коэффициента гидравлического сопротивления для Трансаляскинского нефтепровода составляла 40-50%, что соответствует увеличению пропускной способности нефтепровода не менее, чем на 20%.

2) В работе [22] приведены данные натуральных испытаний нефтепровода при наличии полимерных добавок. Фирма Шелл (США) применила полимерные присадки для увеличения производительности нефтепровода от  $21 \cdot 10^3 \text{ м}^3$  в сутки до  $23,2 \cdot 10^3 \text{ м}^3$  в сутки, т.е. на 14%. Концентрация полимера составляла  $1,5 \div 3,0 \cdot 10^{-5}$ . Присадка закачивалась с помощью передвижных насосов. Присадка представляла собой длиннополимер, получаемый на основе нейлона, пластмассы, синтетического каучука. В [22] описана технология ввода присадки в нефтепровод.

3) Фирмы США Сопосо и Арсо разработали эффективные полимерные присадки. Эти присадки по данным работы [23] успешно испытаны на магистральном нефтепроводе Лисичанск-Тихорецк. Экспериментальная работа [23] была первой попыткой изучения реодинамической эффективности разработанных упомянутыми фирмами США полимеров.

4) В работе [24] приведена информация об успешных натуральных испытаниях по применению полимерной присадки СДК-102 фирмы Сопосо (США) при перекачке нефти по подводным трубопроводам в Австралии и в Мексиканском заливе. Скорость перекачки нефти в Австралии составляла 2,7-3,3 м/с при весовой концентрации полимерной присадки  $3,2 \cdot 10^{-5}$ .

Производительность австралийского нефтепровода длиной  $L=132$  км и диаметром  $D=610 \div 660$  мм возросла при наличии присадки с  $74 \cdot 10^3$  в сутки до  $84 \cdot 10^3 \text{ м}^3$  в сутки, т.е. почти на 14%.

Производительность нефтепровода в Мексиканском заливе длиной  $L=105$  км и диаметром  $D=200$  мм возросла от  $3,5 \cdot 10^3$  в сутки до  $4,3 \cdot 10^3 \text{ м}^3$  в сутки, т.е. почти на 23%.

5) В работах [25, 26] представлены результаты натуральных испытаний нефтепродуктопроводов, целью которых было снижение потерь напора на трение при введении полимерных присадок. Для снижения потерь напора на трение и соответствующего увеличения производительности трубопроводов компания Phillips Pipe Line Co (США) применила добавку типа СДК [25]. Диаметр трубопровода, по которому перекачивались нефтепродукты (бензин, дизельное топливо, топливо для авиадвигателей ТРД) составлял  $D=406$  мм. Испытания [25] показали, что для увеличения производительности трубопровода при перекачке бензина с  $16,5 \cdot 10^3 \text{ м}^3$  в сутки до  $18,3 \cdot 10^3 \text{ м}^3$  в сутки необходимо было уменьшить потери напора на 23% при весовой концентрации присадки  $3,8 \cdot 10^{-5}$ .

Этот эффект позволил исключить из эксплуатации промежуточную насосную станцию.

Снижение потерь напора на трение на 23% соответствовало увеличению производительности трубопровода на 10%.

6) В работе [26] приведены данные натуральных

испытаний об увеличении в 2 раза пропускной способности (производительности) нефтепродуктопровода при перекачке бензина и дизельного топлива при использовании полимерных добавок. Присадка эффективна лишь в турбулентных потоках и полностью разрушается в основных перекачивающих насосах.

Расходы, связанные с использованием полимерных присадок, соответствовали 31,5 цента на  $1 \text{ м}^3$  бензина и 95 центов на  $1 \text{ м}^3$  дизельного топлива на время проведения испытаний [26].

В [27] приведена принципиальная схема ввода полимерных добавок в нефть, запатентованная в США. В [28] предложен состав присадки с ресурсом  $10^3 \div 10^4$  часов с расходом ее  $1 \div 9$  г/т.

Практический интерес представляет патент США на способ уменьшения сопротивления трения и, следовательно, снижение потерь напора при транспортировке полимерных добавок по трубам к устьям скважин.

В целом можно отметить, что применение полимерных присадок наиболее эффективно для маловязких нефтей, но по данным [17,18] значительный положительный эффект получен и при перекачке нефти с относительно большой вязкостью до 20 МПа·с.

Реальное увеличение расхода нефти для нефтепровода типа Трансаляскинского [20,21] производительностью  $320 \cdot 10^3 \text{ м}^3$  в сутки при снижении поверхностного сопротивления трения на 50% за счет введения полимерных добавок ориентировочно составляло 20%, что при продаже нефти при стоимости 1 тонны нефти 100 долларов и с учетом обновления полимера по магистральному трубопроводу после каждой из перекачивающих станций соответствует прибыли около двух миллиардов долларов в год.

Следует подчеркнуть, что в авиационной и ракетной технике, в энергетике, в химических отраслях промышленности натурным испытаниям придается важнейшее значение. Это обусловлено тем, что существует проблема масштабных эффектов, связанная с неадекватностью условий проведения экспериментов в лабораторных условиях и в реальных (натурных) условиях. В равной степени это относится к трубопроводному транспорту. В соответствии с требованиями теории подобия, изложенной в трудах академика Л.И. Седова [29] и академика С.С. Кутателадзе [30], чтобы экстраполировать данные лабораторных испытаний на натурные условия необходимо, чтобы основные критерии подобия Рейнольдса и Прандтля, температурный фактор, число Маха (в авиации и ракетной технике), безразмерный коэффициент теплоотдачи в виде критерия Стантона были одинаковыми в моделирующих (лабораторных) и натурных условиях. Как правило, такое подобие отсутствует, прежде всего по числу Рейнольдса. Критерий Рейнольдса – это критерий механического подобия. Для

трубопроводного транспорта число Рейнольдса в лабораторных условиях на один-два порядка меньше, чем в натуральных. Это не позволяет получить достоверную информацию о процессах в реальных нефте- и газопроводах по данным лабораторных опытов.

Таким образом, только натурные испытания влияния полимерных присадок на снижение сопротивления трения в нефтепроводах и нефтепродуктопроводах позволяют получить достоверную информацию о реальном эффекте влияния полимерных добавок и использовать натурные данные при проектировании новых нефтепроводов с высокой степенью надежности и энергоэффективности.

Проведенный выше анализ натурных испытаний влияния полимерных присадок на снижение сопротивления трения позволяет сделать ряд практических выводов.

#### **Выводы.**

1. В промышленных масштабах на различных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах достигнут устойчивый эффект снижения потерь напора на трение и соответствующего увеличения производительности (пропускной способности) трубопроводов при введении в турбулентный поток полимерных добавок с весовыми концентрациями порядка  $10^{-6} \div 10^{-5}$ .

2. Представляет практический интерес приведенные в работе [20] натурные данные о снижении величины напряжения сдвига при пуске трубопровода после длительной остановки, если нефть содержит полимерные добавки.

3. Особый практический интерес представляет опыт промышленной эксплуатации Трансаляскинского магистрального нефтепровода [20, 21], снижение потерь напора в котором при наличии полимерных добавок составляло 40÷50%, что соответствовало увеличению пропускной способности (производительности) нефтепровода до 20%; снижение потерь напора на трение позволило при сохранении расчетной производительности нефтепровода вывести из эксплуатации две нефтеперекачивающие станции.

4. Снижение потерь напора на трение при перекачке нефтепродуктов позволило вывести из эксплуатации один перекачивающий насос [25].

5. Достигнутый эффект снижения сопротивления трения и увеличения пропускной способ-

ности нефтепродуктопроводов до двух раз при наличии полимерных добавок [25,26] дает основания использовать на практике этот метод снижения трения при перекачке бензина, дизельного топлива, топлива для авиадвигателей и т.д.

6. По оценкам для магистрального нефтепровода типа Трансаляскинского производительностью  $320 \cdot 10^3 \text{ м}^3$  нефти в сутки при достигнутом увеличении расхода нефти за счет полимерных добавок на 20% прибыль за счет реализации дополнительного расхода нефти составляла около двух миллиардов долларов в год при стоимости одной тонны нефти 100 долларов.

7. Расходы, связанные с использованием полимерных присадок, соответствовали 31,5 цента на  $1 \text{ м}^3$  бензина и 95 центов на  $1 \text{ м}^3$  дизельного топлива для условий проведенных испытаний.

8. Применение полимерных присадок наиболее эффективно для маловязких сортов нефти. По данным [17, 18] их использование дает положительный эффект и при перекачке нефти с относительно большой вязкостью до 20 МПа·с.

9. Разработаны промышленные технологические схемы ввода полимерных присадок в нефтепроводы и нефтепродуктопроводы [20, 25, 26], их доставки и хранения [21].

10. Производство полимерных присадок, разработка оборудования, технологии доставки, хранения и ввода в трубопровод присадок могут быть осуществлены в рамках конверсии некоторых предприятий и инвестиций заинтересованных заказчиков, в частности, из России.

11. Высокая экономическая эффективность полимерных присадок для снижения сопротивления трения в нефтепроводах и нефтепродуктопроводах и увеличения их пропускной способности (производительности) позволяет сделать вывод, во-первых, о том, что это направление в трубопроводном транспорте является наукоемким и перспективным, во-вторых позволяет поставить задачу формирования государственной программы энергосбережения, направленной на повышение эффективности действующего и вновь проектируемого трубопроводного транспорта (снижение энергозатрат на перекачку нефти и нефтепродуктов, повышение расхода нефти и нефтепродуктов по трубопроводам).

#### **Список використаної літератури:**

1. Proceedings of the International Congress of Reology, Amsterdam. Vol II/ В.А. Томас. – А: N. Holland Publishing Co., 1949. – Р. 135.
2. Пилипенко В.Н. Влияние добавок на пристенные турбулентные течения / В.Н. Пилипенко // Ж. Механика жидкости и газа. – М.: ВИНТИ СССР. – 1980. – Т.15. – С. 156-157.
3. Хапахпашева Е.М., Перепелица Б.В. Поля скоростей и турбулентных пульсаций при малых добавках к воде высокомолекулярных веществ / Е.М. Хапахпашева, Б.В. Перепелица // Инженерно-физический журнал. – 1968. – Т. 14. - №4.- С.598-601.
4. Хойт Дж. Влияние добавок на сопротивление трения в жидкости / Дж. Хойт // Ж. Теоретические основы инженерных расчетов. – Серия Д. – 1972. – Т. 94. - №2. – С. 1÷31.

5. Альтшуль А.Д. О влиянии присадок на гидравлическое сопротивление водопроводных труб / А.Д. Альтшуль // Труды МИСИ. – 1972. - № 89. – С.108-113.
6. Иванюта Ю.Ф. Экспериментальное исследование турбулентного течения слабых растворов полимеров в трубах различного диаметра / Ю.Ф. Иванюта, Л.А. Чекалова // Инженерно-физический журнал. – 1971. – Т. 21. - № 1. – С. 5-12.
7. Иванюта Ю.Ф. Сопротивление трения турбулентного течения раствора по трубе большого диаметра / Ю.Ф. Иванюта, Л.А. Чекалова // Инженерно-физический журнал. – 1976. – Т. 31. – С.493-498.
8. Иванюта Ю.Ф. Турбулентные течения полимеров в трубе с большой шероховатостью поверхности / Ю.Ф. Иванюта, Л.А. Чекалова // Инженерно-физический журнал. – 1976. – Т. 31. - № 2. – С.225-230.
9. Semenov B.N. New perspectives of the polymeric additive use for drag reduction / B.N. Semenov // 7 th European Drag Reduction Working Meeting. Berlin. Sept. – 1992.
10. Снижение вязкостного трения / М.: Машиностроение. – 1984. – 464 с.
11. Седов Л.И. О снижении гидродинамического сопротивления добавками полимеров / Л.И. Седов // Механика турбулентных потоков. – М. 1980. – С.7-28.
12. Седов Л.И. О расчетах турбулентных пограничных слоев с малыми добавками полимеров / Л.И. Седов, Н.Г. Васецкая, В.А. Иоселевич // Турбулентные течения. – М. – 1974. – С.205-220.
13. Берне К. Уменьшение сопротивления и структура турбулентности в разбавленных растворах полимеров / К. Берне // Снижение вязкостного трения. – М.: Машиностроение. – 1984. – С.302–311.
14. Лэндал М.Т. Влияние добавок на динамику турбулентных выбросов / М.Т. Лэндал // Снижение вязкостного трения. – М.: Машиностроение. – 1984. – С.312-325.
15. Шлихтинг Г. / Теория пограничного слоя. – М.: Наука. – 1969. – 742 с.
16. Порайко И.Н. О стабилизации производительности нефтепроводов с помощью полимеров / И.Н. Порайко // Нефтяное хозяйство. – 1992. - № 9. – С. 37.
17. Сухова И.И. Новые присадки для снижения сопротивления течения нефти / И.И. Сухова, Ю.П. Белоусов // Физико-химические свойства растворов и дисперсий. – Н-ск: Наука. – 1992. – С.108-110.
18. Белоусов Ю.П. Полимерные присадки для снижения гидродинамического сопротивления нефти / Ю.П. Белоусов, И.И. Сухова, Л.Б. Коваль и др. // Нефтяное хозяйство. – 1992. - № 9. – С.37.
19. Коцюевич Е.В. Противотурбулентные полимерные добавки в трубопроводном транспорте нефтепродуктов / Е.В. Коцюевич, Ю.П. Белоусов, Н.М. Гостев // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – М.: 1988. - № 6. – С.9-12.
20. Опыт применения полимерных присадок для повышения пропускной способности нефтепроводов. Motier I.F. Gase histories of polymer drag reduction in crude oil lines / I.F. Motier, P.I. Prilutski // Pipe lines industry. – 1985. – V. 62. - № 6. - P.P. 33,34,37.
21. Опыт применения полимерных присадок для уменьшения гидравлического сопротивления при перекачке нефти. Motier I.F. Gase histories of polymer drag reduction in crude oil lines / I.F. Motier, P.I. Prilutski // Drag Reduct. 3 rd int. Conf. Bristol. 2-5 juli. 1984. – F 2/1 – F 2/14.
22. Опыт использования полимерных присадок для повышения пропускной способности нефтепровода. Polimer expands crude line capacity / Pipe line industry. – 1985. – V. 63. - № 1. – P.P. 71-72.
23. Кацюевич Е.В. Микроструктура противотурбулентных присадок к нефти и их реодинамическая эффективность / Е.В. Кацюевич, Н.М. Гостев, Ю.П. Белоусов // Совершенствование систем управления и эксплуатации магистрального транспорта. – Уфа. – 1988. – С. 89-93.
24. Использование полимерной добавки для уменьшения потерь напора в нефтепроводах. Beaty W.K. Offshore crude oil production increased by drag reducers / W.R. Beaty, R.L. Ionston, R.L. Rramer, L.G.Warnack, G.R. Wheeler // Drag Reduct. 3 rd Int. Conf. – Bristol. 2-5 july/ - 1984. – F1 - F14.
25. Снижение потерь на трение при перекачке нефтепродуктов. Muth Ch. L. Application of drag reduction agents effect cost savings / Ch.L. Muth, Mich. I. Monahan, L. Pessoto Scottd // Pape Line Industry. – 1986.
26. Использование присадок, снижающих вязкость перекачиваемых нефтепродуктов. Motier I.F. Advances in utilization of flow improvers in liquid pipelines / I.F. Motier, P.I. Prilutski // Pipeline Enq. Symp. 9 th Annu. Energy – Sour. Technol. Conf. And Exhib. New Orleans. Febr. 23-27. – 1986. – V.3. – P.P. 47-51.
27. Система введения присадок в трубопровод. Allyn D.W. Additive injection system for fluid transmission pipelines / D.W. Allyn // Патент США № 4722363. МКИ<sup>3</sup> С<sub>1</sub> Д 11/13. Atlantic Richfield Co. Оpubл. 02.02.88: МКИ 137/599. 1 (см. Реф. Журн. «Трубопроводный транспорт». – 1989. - № 1).
28. А.С. СССР, МКИ<sup>4</sup> F 17 Д 1/16. Способ снижения гидродинамического сопротивления в жидких потоках в трубопроводе / И.Н. Порайко, Р.В. Кучер, В.А. Пилипенко и др. (СССР). - № 1427147.
29. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике / Леонид Иванович Седов. – Москва: Наука, 1977. – 438 с.

*Проаналізована актуальна проблема зниження опору тертя енергоємкісних магістральних нафтопроводів і нафтопродуктопроводів з метою енергозбереження і підвищення їх продуктивності. Розглянутий один із найбільш перспективних методів зниження опору тертя у цих об'єктах, оснований на введенні в турбулентний потік нафти і нафтопродуктів полімерних присадок їх малої концентрації. Проведений аналіз фізичних особливостей впливу полімерних присадок на характеристики пристійної турбулентності і механізму зниження опору тертя. Приведені експериментальні результати зарубіжних натурних випробувань про зниження опору тертя магістральних нафтопроводів і нафтопродуктопроводів шляхом введення в турбулентний потік нафти і нафтопродуктів полімерних присадок. В натурних випробуваннях досягнутий великий енергозберігаючий ефект, пов'язаний з зниженням опору нафтопроводів до 50% і збільшення їх продуктивності до 20%. Значне енергозбереження досягнуто і для нафтопродуктопроводів. Зроблені висновки про перспективність цього наукоємкісного напрямку.*

*An urgent problem of lowering of friction resistance of power-intensive trunk oil and oil-products pipelines for the purpose of energy efficiency and growth of its productivity is analyzed. One of the most promising methods of friction lowering in these objects is examined. This method is based on bringing in turbulent flow of oil and oil products polymeric additives in their little concentration. The analysis of physical peculiarities of influence of polymeric additives on properties of boundary turbulence and mechanism of lowering of friction resistance is done. Experimental results of foreign trials on location as for the lowering of friction resistance of trunk oil and oil-products pipelines by means of bringing in turbulent flow of oil and oil products polymeric additives are given. During the trials on location great energy efficient effect was achieved. The effect is connected with the lowering of pipeline resistance to 50% and increase of their productivity till 20%. Considerable energy conservation for oil-products pipelines is also achieved. Significant conclusions were made about this advanced science inclusive area.*

Дата надходження в редакцію: 28.05.2012. р.  
Рецензент: д.ф.-м.н., професор Кузема О.С.

УДК 621.395.4

#### **МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АГРАРНОЙ ТЕХНИКИ**

**Е.А. Шиленков**, ФБОУВПО «Юго-Западный государственный университет»

*Предложен методичный подход к построению телекоммуникационного обеспечения аграрной техники с применением беспроводного телеметрического и навигационного оборудования и использованием нелицензируемого LPD - диапазона связи.*

Современная подвижная сельхозтехника содержит в себе множество различных по функционалу датчиков и электронных исполнительных механизмов. Их главной задачей является контроль параметров узлов и выполнение механических операций. В большинстве своём информация от данных устройств выводится на приборную панель водителя, а некоторые данные могут храниться в памяти компьютерной системы техники.

К телеметрическому оборудованию техники можно отнести: датчики давления, термометры, вольт- и амперметры, тахометры, а так же средства позиционирования – навигации. К исполнительным механизмам отнесём: реле переключения тока, гидравлики, пневматики, а также механизмы электроуправления двигателем и рулевой системой.

Руководствуясь той же логикой множество электронных устройств в сельхозтехнике можно

разделить на два класса: считывающие и воздействующие. В обоих случаях параметры передаются в виде информации, управляющей или синхронизирующей, а информация, в свою очередь, есть поток единиц данных – битов.

Скорость потока данных определяется из условия быстрогодействия телеметрических систем, т.е. из того, насколько часто необходимо отслеживать информацию с датчиков и воздействовать на систему. В совокупности всё телекоммуникационное устройство можно отнести к системе с обратными связями.

На рисунке 1 автором предложен модуль-дальнейшей системы наблюдения/управления электронными механизмами сельхозтехники через радиоканал. Диапазон связи выбран из условия электромагнитной совместимости с существующими средствами связи, такими как сотовая связь. Неплохим решением является использование ресурсов LPD-диапазона 433 МГц. В этом