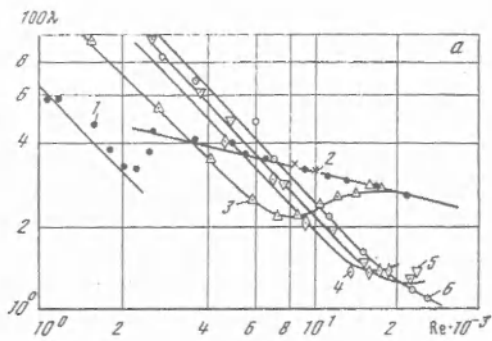


УДК 532.5.032

р *нет.*
НОВЫЙ ПОДХОД К ОБЪЯСНЕНИЮ ПРИРОДЫ ЭФФЕКТА ТОМСА

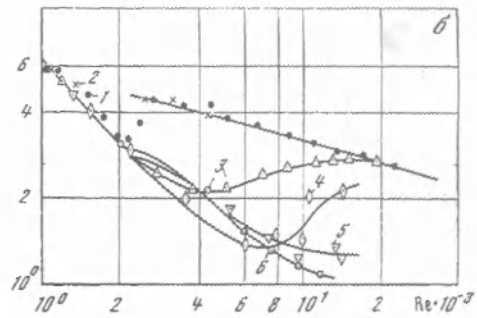
Л.Т. Ташимов, О.С. Балабеков, Ф.Х. Аубакирова
ШИ МКТУ им. Х.Ясави, ЮКГУ им. М. Ауезова, г.Шымкент

На рисунках 1-4 проиллюстрированы результаты экспериментов, проведенных при изучении особенностей турбулентных течений растворов мицеллообразующих ПАВ [1]. При рассмотрении турбулентных течений жидкостей одной из важных является зависимость коэффициента гидродинамического сопротивления λ от числа Рейнольдса $\lambda = f(Re)$.



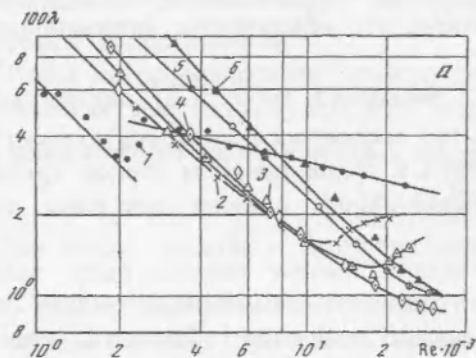
1 - вода; 2 - 6 - концентрация диталана $c=0,3; 0,6; 1,2; 1,8$ и $2,4$ % соответственно.

Рисунок 1 - Зависимость коэффициента сопротивления λ от числа Рейнольдса Re , рассчитанного по вязкости воды, для водного раствора диталана



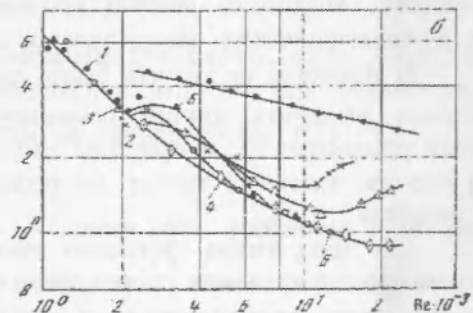
1 - вода; 2 - 6 - концентрация диталана $c=0,3; 0,6; 1,2; 1,8$ и $2,4$ % соответственно.

Рисунок 2 - Зависимость коэффициента сопротивления λ от числа Рейнольдса Re , рассчитанного по вязкости раствора диталана



1 - вода; 2 - 6 - концентрация метаупона $c=0,3; 0,6; 1,2; 2,4$ и $3,6$ % соответственно

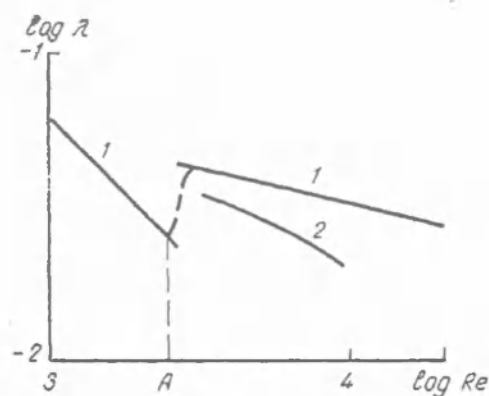
Рисунок 3 - Зависимость коэффициента сопротивления λ от числа Рейнольдса Re , рассчитанного по вязкости воды, для водного раствора метаупона



1 - вода; 2 - 6 - концентрация $c=0,3; 0,6; 1,2; 2,4$ и $3,6$ % соответственно

Рисунок 4 - Зависимость коэффициента сопротивления λ от числа Рейнольдса Re , рассчитанного по вязкости раствора метаупона

Многочисленные эксперименты с различными гладкими трубами и различными ньютоновскими жидкостями подтвердили, что существует зависимость $\lambda = f(Re)$, которая в обобщенном виде изображена на рисунке 5 (кривая 1). Кривая 2 показывает эффект Томса при добавлении малых количеств ПАВ. Точка А соответствует критическому числу Рейнольдса, т.е. отделяет ламинарную область от турбулентной [3].



1 - ньютоновская жидкость; 2 - ньютоновская жидкость с добавками ПАВ

Рисунок 5 - Обобщенная зависимость коэффициента сопротивления λ от числа Рейнольдса Re .

Анализ результатов, полученных авторами работ [1-3], позволяет сделать следующие выводы:

1) Если в опыты, проведённые с чистой водой (рисунки 1-5) вводить молекулы поверхностно-активных веществ, то можно обнаружить, что эти молекулы своё влияние проявляют, несколько снижая уровень турбулизации, что обусловлено возникновением в них анизометрических мицеллярных структур.

2) Несмотря на то, что было опубликовано несколько работ [1,2], авторы которых пытались выяснить причину ламинирующего влияния введенных в жидкость молекул ПАВ с учетом концентрации и природы вводимых молекул, а также природы стенок трубы. До сих пор эта задача остается не решенной. В данной работе сделана еще одна попытка ее решения.

Для того, чтобы успешно решить такую задачу, вначале должны быть выяснены причины возникновения переходной области, при которой ламинарный режим течения сменяется турбулентным, и только потом можно пытаться объяснить, как молекулы ПАВ влияют на структуру и особенности такой области.

Как известно, в своё время Прандтль [4] пытался решить эту проблему, полагая, что имеется некая аналогия между основными представлениями обычной молекулярно-кинетической теории и представлениями, которые могут оказаться полезными при разработке основ теории переходной области. Он полагал, что при больших скоростях течения жидкости из-за каких-то причин разрушается структура жидкости и в результате этого наряду с обычным хаотичным движением частиц жидкости, зависящим от температуры, возникает новый вид хаотичности, который и служит причиной появления нового вида гидравлического сопротивления. Заметим, Прандтль в своих работах явно не указывал на разрушение структуры жидкости при увеличении скорости потока. Однако согласно его гипотезе, в турбулентном течении возникают жидкие объёмы, каждый из которых обладает собственной скоростью и движется на протяжении некоторого расстояния в виде непрерывного целого. Прандтль пытался количественно учесть суть этого нового вида хаотичности с помощью введения понятия о длине перемешивания, полагая при этом, что она является неким аналогом обычного понятия длины свободного пробега молекул. Несмотря на то, что ему удалось в определённой степени удовлетворительно представить как примерно возникает переходная область из-за разрушения слоистой структуры жидкости, однако из-за невыяснения причин возникновения этого эффекта, ему так и не удалось создать удовлетворительную теорию этого явления.

Для выяснения причин разрушения слоистой структуры жидкости при больших скоростях будем исходить из анализа физической модели представленной на рисунке 5. При построении этой модели учтён факт, что основной причиной параболического про-

фия скорости является прилипание, то есть адсорбция молекул жидкости к стенке трубы. Если полагать, что те молекулы, которые адсорбировались на стенке трубы, являются неподвижными, то нетрудно понять, что при увеличении Δp и соответственно скорости течения, это может привести к разрыву связи между молекулами жидкости, что и служит причиной разрушения слоистой структуры жидкости и ведёт к переходу в турбулентный режим текучести.

Теперь представим, что эти же опыты проведены с раствором, в который введены молекулы ПАВ. Разумеется, роль этих ПАВ будет проявляться, в основном, из-за того, что они тоже наряду с молекулами жидкости будут адсорбироваться на стенке трубы, приводя при этом к уменьшению или увеличению адсорбционной способности молекул жидкости. Заметим, что если в результате дополнительной адсорбции молекул ПАВ адсорбционная способность молекул жидкости уменьшается или вообще исчезает, то это может привести к тому, что исчезнут причины, приводящие к разрушению структуры жидкости, а на опыте это проявляется как ламинизирующий эффект Томса.

Для того, чтобы получить уравнение на основе анализа которого можно понять суть этих явлений на количественном уровне, будем исходить из предположения, что основным законом сопротивления является закон Пуазейля

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 \mu l}, \quad (1)$$

где Δp - перепад давления на участке трубы длиной l ; r - радиус трубы;

μ - коэффициент динамической вязкости, который в данном случае выполняет роль коэффициента сопротивления.

Чтобы интерпретировать природу этого коэффициента для случая, когда имеет место ламинарная текучесть, будем исходить из предположения, что она тем больше, чем больше концентрация адсорбционных молекул жидкости на стенке трубы n_A^0 :

$$\mu \approx n_A^0 \quad (2)$$

При таком подходе к интерпретации природы μ далее суть проблемы будет сводиться к вычислению n_A^0 так, чтобы это привело к учёту роли как молекул жидкости, так и природы стенки трубы. Есть все основания предположить, что получаются результаты удовлетворяющие такого рода требованиям, если далее определим n_A^0 согласно адсорбционного уравнения Ленгмюра:

$$n_A^0 = \frac{n^0 \cdot b \cdot n_A}{1 + b n_A}, \quad (3)$$

где n^0 - концентрация активных центров на единичной поверхности,

n_A - концентрация молекул жидкости, b - коэффициент адсорбции, т.е. коэффициент, природа которого зависит от природы молекул жидкости и природы стенки трубы.

Таким образом, из (2) и (3) получаем

$$\mu = \frac{n^0 b n_A}{1 + b n_A}, \quad (4)$$

Далее подставив (4) в уравнение (1), получаем

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 l \frac{n^0 b n_A}{1 + b n_A}} \quad (5)$$

Как на это было указано выше, главная причина разрушения слоистой структуры заключается в том, что из-за неподвижности слоя жидкости, непосредственно касающейся стенки трубы, при увеличении средней скорости связь между молекулами жидкости рас-

тягивается. Далее при определённых условиях, когда растягивающая сила Δp станет больше, чем сила связи между молекулами, это приведёт к разрыву связи между молекулами жидкости и, следовательно, к разрушению её структуры. Вследствие этого появляются образования жидкости, которые будут двигаться хаотично и, тем самым, приведут к возникновению дополнительного вида сопротивления, величина которого весьма чувствительно будет зависеть от скорости жидкости.

Вернёмся к случаю, когда в жидкости имеются молекулы добавок ПАВ. Здесь можно рассмотреть случай, когда молекулы ПАВ адсорбируются по тому же механизму, что и молекулы жидкости, т.е. оба вида этих молекул адсорбируются по акцепторному или донорному механизму. Поскольку при таком механизме адсорбции, когда оба вида молекул конкурируют за активные центры одного сорта, адсорбционное уравнение Ленгмюра (3) принимает вид:

$$n_A^0 = \frac{n^0 n_A b_A}{1 + n_A b_A + n_B b_B}, \quad (6)$$

$$n_B^0 = \frac{n^0 n_B b_B}{1 + n_A b_A + n_B b_B}, \quad (7)$$

где n_A, n_B - концентрация молекул типа А и В; b_A, b_B - адсорбционные коэффициенты молекул типа А и В.

В том случае, когда молекулы ПАВ и молекулы жидкости адсорбируются на активных центрах разного сорта, получаем

$$n_A^0 = \frac{n^{0A}}{1 + b_A n_A}, \quad (8)$$

$$n_B^0 = \frac{n^{0B}}{1 + b_B n_B}, \quad (9)$$

где n^{0A}, n^{0B} - концентрация активных центров, на которых адсорбируются молекулы типа А и В.

Подставив (6) и (8) в соотношение (1), получим

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8l \frac{n^0 n_A n_B}{1 + n_A b_A + n_B b_B}}, \quad (10)$$

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8l \frac{n^{0A}}{1 + b_A n_A}}, \quad (11)$$

Как было указано выше, молекулы ПАВ могут оказывать ламинизирующее влияние в том случае, если они адсорбируются на поверхности стенки трубы таким образом, чтобы это привело к ослаблению адсорбционной способности молекул жидкости. Анализ полученных уравнений показывает, что этот случай реализуется тогда, когда молекулы ПАВ адсорбируются по тому же механизму, что и молекулы жидкости.

Литература

- 1 Повх И.Л., Ступин А.Б., Максютенко С.Н., Асланов П.В., Симоненко А.П. Особенности турбулентных течений растворов мицеллообразующих поверхностно-активных веществ // Механика турбулентных потоков. - М.: Наука, 1980.
- 2 Седов Л.И., Васецкая Н.Г., Иоселевич З.А., Пилипенко В.Н. О снижении гидродинамического сопротивления добавками полимеров // Механика турбулентных потоков. - М.: Наука, 1980.
- 3 Левтов В.А., Регирер С.А., Шадрин Н.Х. Реология крови. М.: Медицина, 1982.

4 Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1969.

Қорытынды

Жұмыста кейбір қоспалардың әсерінен турбуленттік ағыстың ламинарлық ағысқа өтетіндігінің себебін түсіндіру әрекеті жасалды. Ол үшін эксперименттік нәтижелерді сараптау негізінде алынған Гаген-Пуазельдің формуласына енетін тұтқырлықтың физика-химиялық табиғатының температураға және бөлшектер аралық әсерлесу дәрежесіне байланыстығы ашылғандығы негізге алынды.

Summary

In clause the attempt of finding - out of the reason of occurrence of transitive area is made, at which laminar the mode of fluidity is replaced turbulent, and also the explanations, as molecules of superficial - active substances influence structure and features of such area.