

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИОЖИДКОСТЕЙ В ЦЕНТРИФУГАХ С КОНУСНЫМИ ВСТАВКАМИ

В статье приводится описание приборов, измеряющих реологические свойства биожидкостей, которые перерабатываются на центрифугах и сепараторах с конусными вставками. Предложена установка, работающая на базе поточного вискозиметра с регулируемым измерительным зазором, механизмирующая процесс измерения.

Физико-химическая механика (реология) – важный инструмент в биологической науке. Реологические свойства определяют состав, степень разделяемости, биологическую структуру, химические, электролитические и другие свойства растворов [1]. Измерение кинематических и динамических характеристик производится с помощью специальных приборов: вискозиметров, реометров и реотестов [2], в том числе и конусного типа [3]. Поточное производство, создание новых технологических линий по переработке различных продуктов, например, молока [4], тщательная подготовка чистых опытных образцов молочных продуктов для точного химического анализа [5], включающие операции центрифугирования, отсутствие серийно выпускаемых устройств, моделирующих течение жидкости в межтарелочных зазорах (МТЗ) центробежных сепараторов и центрифуг с конусными вставками, послужило причиной создания приборов нового типа.

При работе вискозиметры встраиваются в трубопровод, по которому прокачивают исследуемый материал [6]. Для этого конструкцией предусмотрены специальные патрубки, выполненные заодно с корпусом. Одна из главных проблем при исследовании на этом приборе биологических структурированных жидкостей – высокая степень предварительного разрушения пространственной сетки, образованной силами сцепления молекул, частиц жидкости и микрофлоры перед поступлением ее в рабочий зазор.

Для измерения вязкости ньютоновских жидкостей, экспериментального изучения реологических свойств неньютоновских аномальновязких (стоксовых) материалов разработаны измерительные приборы специального назначения. Особенностью их конструкций является новый способ пода-

чи исследуемой жидкости к измерительным поверхностям.

На рисунке 1 приведена схема одного из них [7]. Прибор состоит из корпуса 1, внешнего 3 и внутреннего 2 измерительных конусов, трубы 4, упругой трубки 5. Жесткое соединение трубки с корпусом дает возможность нижнему концу поворачиваться на некоторый угол при действии момента вязкого трения в исследуемой жидкости, а при снятии момента возвращаться в исходное положение, что фиксируется измерителем (на схеме не показан) через стержень 8. Шкив 6 приводит во вращение внешний конус. Подача жидкости в измерительный зазор производится патрубком 7 через верхний край трубы 4, отвод – по каналу 9. Конструктивные изменения позволили уменьшить число проходных отверстий, турбулизирующих поток и оказывающих отрицательное механическое

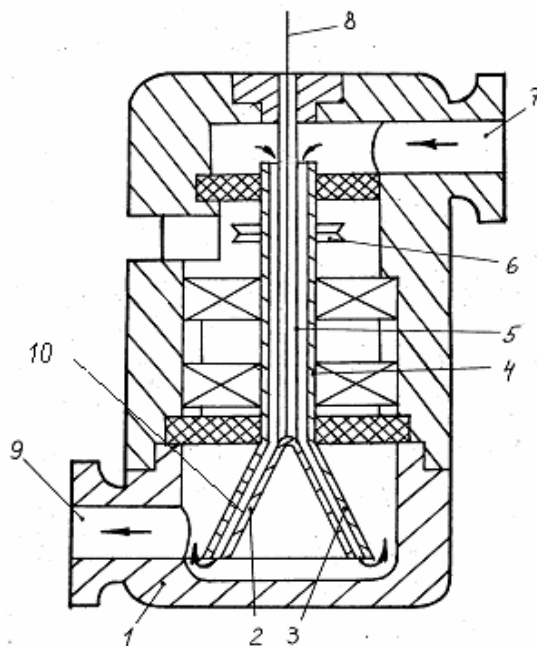


Рисунок 1. Вискозиметр для неньютоновских жидкостей (обозначения в тексте)

воздействие на структуру исследуемой жидкости. Повысилась точность измерений и упростилось устройство за счет уменьшения числа уплотнительных узлов.

Непрерывное измерение вязкости жидкости осуществляется следующим образом. Протекающая по трубопроводу исследуемая жидкость через питающий патрубок 7 поступает в зазор между внешним 3 и внутренним 2 коаксиальными конусами и выходит из прибора по отводящему патрубку 9.

При вращении внешнего конуса с помощью привода 6 происходит сдвиг потока жидкости, прокачиваемой через конусный зазор 10. За счет вязкого трения крутящий момент передается от внешнего конуса через слой жидкости к внутреннему измерительному конусу и далее через упругую трубку 5 и стержень 8 на измеритель крутящего момента. Воздушная подушка препятствует заполнению жидкостью полости внутреннего измерительного конуса, что уменьшает его инерционность и повышает точность измерений.

Размещение питающего патрубка у вершины конуса, а отводящего у его основания дает возможность моделировать движение жидкости в МТЗ центрифуги, изучать силовые (динамические) и кинематические характеристики потока. Как известно, сепараторы-разделители работают по схеме расходящихся потоков. Жидкость перемещается под давлением от верхнего края конусного зазора (от оси вращения) к нижнему (к периферии). Ее окружное движение задается вращением внешнего конуса вискозиметра. Перемещение жидкости вдоль образующей конуса может осуществляться с

различной скоростью при изменении перепада давления в питающем 7 и отводящем 9 патрубках. При этом могут быть сопоставлены два вида течения (вдоль и поперек образующей) в одном приборе с заданной степенью однородности полей напряжений сдвига и градиентов скорости деформации.

Проведение такого рода исследований затруднительно во всех известных нам устройствах подобного типа, так как они связаны с частичной или полной их разборкой.

Экспериментальная установка, решающая эту проблему и механизмирующая процесс измерения, созданная на базе вискозиметра с регулируемым зазором, а также отдельные его узлы и детали показаны на рисунках 2 и 3. Установка состоит из вискозиметра 1, ременной передачи 2, редуктора 3, электродвигателя 4, закрепленных на основании 6.

Изменение оборотов электродвигателя привода вискозиметра осуществляется с помощью переменного резистора 5. Насос 10 предназначен для прокачивания исследуемой жидкости через измерительный зазор вискозиметра 1. Регулирование расхода жидкости через вискозиметр производится увеличением или уменьшением подачи жидкости насосом, увеличивая или уменьшая его обороты с помощью электродвигателя 11, подключенного к регулятору оборотов 12. Емкость 7 с исследуемой жидкостью имеет нагреватель 8 и термометр 9. Установка позволяет задавать различные режимы течения жидкости в конусном измерительном зазоре, изменять ее давление и температуру. Моделирование движения жидкости в МТЗ сепараторов производится с высокой точностью.

Устройство вискозиметра с регулируемым измерительным зазором показано на рисунке 3. Упругая трубка 5 с резьбой служит средством, обеспечивающим увеличение или уменьшение величины измерительного зазора 4. Поворачивая трубку по резьбе в корпусе по ходу часовой стрелки увеличивают измерительный зазор. Поворотом против хода часовой стрелки – уменьшают. Данный способ регулирования расширяет функциональные возможности поточных вискозиметров. Он дает возможность моделировать на одном приборе течение жидкости в МТЗ разной ве-

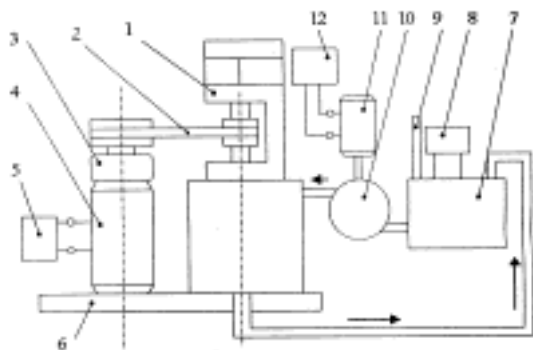


Рисунок 2. Схема экспериментальной установки (обозначения в тексте)

личины, не разбирая прибора, уменьшает затраты труда при наладке и настройке.

В качестве примера, принимая угол наклона образующей конуса к вертикальной оси $U = 45^\circ$ и шаг резьбы трубки $S = 0,7$ мм, покажем порядок настройки вискозиметра на измерения реологических свойств жидкостей в интервале величин МТЗ: 0,5; 1,0; 1,5 и 2,0 мм. Зазор 4 устанавливают до подачи жидкости по питающему патрубку 10 (рисунок 3). Для этого поворачивают трубку 5 против хода часовой стрелки до того положения, когда внутренний конус 3 займет крайнее верхнее положение и полностью закроет измерительный зазор. Обратное вращение трубки на 1 оборот обеспечит расстояние между образующими конусов $0,5$ мм ($S \cdot \cos U = 0,7 \cos 45^\circ = 0,5$ мм). Затягивают контргайку 8. Включают подачу жидкости по каналу 10 и привод шкива 6. Производят измерения реологических свойств.

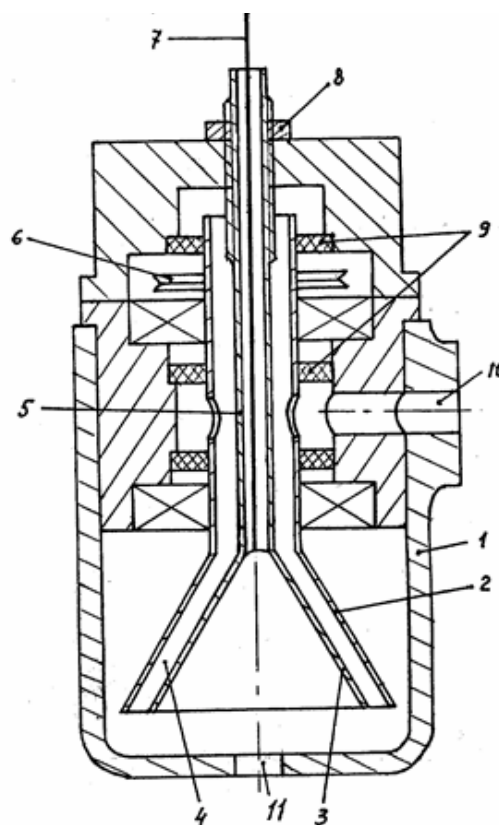
При необходимости определения свойств этой же жидкости в зазоре 4 другой величины, например, 1 мм, трубку поворачивают по ходу часовой стрелки еще на один оборот ($2S \cdot \cos U = 2 \cdot 0,7 \cdot \cos 45^\circ = 1$ мм). Для измерительного зазора в 1,5 мм трубку 5 поворачивают по ходу часовой стрелки на 3 оборота, при зазоре 2 мм – на 4 оборота. Фиксируется контргайка 8. Жидкость может подаваться в измерительный зазор, как под давлением, так и самотеком. Это дает возможность использовать вискозиметр не только в напорных магистральных трубопроводах, но и в стационарных лабораторных условиях с подачей исследуемой жидкости из отдельной емкости. В нашем устройстве (рисунок 3) торсион 7 связан с измерителем момента вязкого трения, изготовленного из индикатора часового типа и фиксирующего угол поворота внутреннего конуса.

Прибор может моделировать течение в условиях сложного напряженного состояния, которое реализуется в МТЗ сепараторов и в центрифугах различных конструкций, при использовании измерительных конусов различных размеров. Установленный на упругой трубке 5 (с ее внутренней стороны) тензодатчик измеряет нормальное давление жидкости в межтарелочном зазоре по продольной деформации упругой трубки.

При экспериментальном изучении процесса разделения различных биоматериалов в МТЗ сепараторов на фракции важно знать величину и соотношения момента вязкого трения, нормальных и касательных напряжений в разных его точках. Определяется это установкой на каждом этапе исследований неподвижных внутренних конусов 2 с образующими разной длины, например: R_1 и R_2 . Обеспечив разность $R_1 - R_2$ единичной длины по приращению момента вязкого трения и приращению продольной деформации упругой трубки, измеренной тензометрическим методом, определяют нормальные и касательные напряжения в данной точке измерительного зазора.

Важным моментом при создании приборов нового типа является определение погрешностей измерений с помощью тарировочных графиков.

Конусные ротационные вискозиметры, измеряющие различные реологические харак-



1 – корпус; 2 – внешний конус; 3 – внутренний конус; 4 – рабочий зазор; 5 – упругая трубка; 6 – привод; 7 – торсион; 8 – контргайка; 9 – уплотнения; 10 – питающий патрубок; 11 – отводящий канал.

Рисунок 3. Схема вискозиметра с регулируемым измерительным зазором

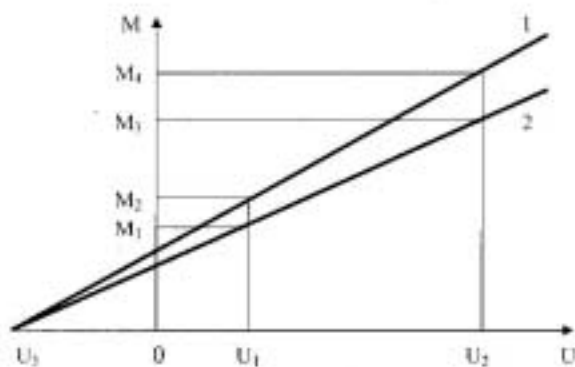


Рисунок 4. Тарировочный график вискозиметра конусного типа

теристики как ньютоновских, так и неньютоновских материалов имеют полый внутренний измерительный конус. В процессе измерений, как при больших, так и при малых давлениях прокачиваемой жидкости наблюдается подъем ее уровня внутри полости внутреннего конуса за счет сжатия воздушной подушки. Это создает дополнительное сопротивление повороту внутреннего конуса и дает большие погрешности измерений. Данное сопротивление невозможно учесть прямым путем. Возмущающее действие основания внутреннего измерительного конуса может быть учтено косвенно. Для этого необходимо увеличить расчетное значение угла при вершине конуса на U_3 (рисунок 4). Вискозиметр тарируется на жидкостях, имеющих известные вязкостные характеристики: этиловый спирт, дистиллированная вода, трансформаторное или касторовое масла.

Величина U_3 определяется по графику после испытаний двух калибровочных жидкостей (можно использовать и одну жидкость, но при двух разных температурах), имеющих разные вязкости (на рисунке 2 обозначены

цифрами 1 и 2). Измерения проводятся сначала на вискозиметре, имеющем один угол при вершине конуса U_1 , затем ставится другой конус с углом U_2 . Основания конусов имеют одинаковые диаметры, поэтому возмущающее их действие можно считать одинаковым. Определяются моменты вязкого трения M на измерительных конусах и строятся графики $m = f(U)$. Графики отсекают на оси абсцисс отрезок U_3 . При вычислении реологических характеристик делается поправка на возмущающее действие основания конуса вискозиметра: расчетное значение угла при его вершине принимают равным $U + U_3$.

Отметим положительные моменты в развитии техники измерений с помощью поточных вискозиметров. Одним из главных здесь является расширение функциональных возможностей приборов. Регулирование измерительного зазора в процессе работы вискозиметра [8] без его разборки позволяет моделировать течение различного рода биорастворов в сепараторах и центрифугах разного класса (как большой, так и малой производительности). Очень важно, что при изучении свойств структурированных биожидкостей или растворов с микрофлорой этот прибор может задавать мягкий, щадящий режим движения жидкости. Здесь снижается степень непроизвольного механического воздействия, разрушающего биоструктуру и искажающего результаты измерений. Предложена методика определения погрешности и описан способ настройки вискозиметра поточного типа. Установка с измерительным прибором повышенной точности может использоваться как в напорных магистральных трубопроводах, так и в лабораторных условиях.

Список использованной литературы:

1. Ozcan-Yilsay T., Lee W. J., Horne D., and Lucey J. A. Effect of trisodium citrate on rheological and physical properties and microstructure of yogurt//J.Dairy Sci.– 2007.– v.90.– P.1644-1652.
2. Белкин И.М. и др. Ротационные приборы. Измерения вязкости и физико-механических характеристик материалов, под ред. Г.В. Виноградова. М.: Машиностроение. -1967г. – 272 с.
3. Dintenfass L. Blood microrheology. Viscosity factors in blood flow, ischemia and thrombosis.– London: Butterworth, 1971.
4. Goff H. D. and Griffiths M. W. Major advances in fresh milk and milk products: fluid milk products and frozen desserts// J.Dairy Sci.– 2006.– v.89.– P.1163-1173.
5. Rubio-Barroso S., Santos-Delgado M. J., Martín-Oliver C., and Polo-Diez L. M. Indirect chiral HPLC determination and fluorimetric detection of D-amino acids in milk and oyster samples// J.Dairy Sci.– 2006.– v.89.– P.82-89.
6. А.с. №1469316 (СССР). Вискозиметр / В.В. Назаров, Л.П. Карташов, А.А. Аверкиев / Опублик. 30.03.89. в Б.И. №12.
7. А.с. №1670534 (СССР). Вискозиметр / В.В. Назаров / Опублик. 15.08.91. в Б.И. №30.
8. Патент РФ №2149378. Вискозиметр / В.В. Назаров и др. / Опублик. 20.05.2000 г. в Б.И. №14.

Статья рекомендована к публикации 25.05.07