

## СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЯЗКОСТИ СУБСТРАТА, КОТОРЫЙ ФОРМИРУЕТСЯ ИЗ БИООТХОДОВ В ЧАСТНЫХ КРЕСТЬЯНСКИХ ХОЗЯЙСТВАХ

*Тарас Михальчук*

*Львовский национальный аграрный университет*

*г. Дубляны, ул. Владимира Великого 1*

*Taras Mykhalchuk*

*Lviv National Agrarian University*

**Аннотация.** В работе проведен анализ основных существующих приборов для измерения вязкости различного рода жидкостей и смесей и возможность их применения для измерения субстрата с широким размерным разбросом компонентов (0-120 мм) и различными физико-механическими свойствами. Разработан стенд и методика измерения вязкости субстрата, который формируется из биоотходов в частных крестьянских хозяйствах.

**Ключевые слова:** стенд, вязкость, субстрат, вискозиметр, методика исследований.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

При проектировании небольших биогазовых установок (объемом реактора до 5м<sup>3</sup>), которые работают на биоотходах из частных крестьянских хозяйств, возникает вопрос оптимального выбора перемешивающего устройства и его привода, с минимальным запасом мощности, что влияет на конструктивные и энергетические параметры установки в целом [1, 2, 3]. Основным параметром, влияющим на выбор мешалки, является вязкость перемешиваемой среды.

Учитывая то, что субстрат готовится из различных компонентов и в нем присутствуют частицы, размер которых может достигать 12см, то можно сказать, что существующие широко распространены вискозиметры (капиллярные, ротационные, с вибрирующим зондом, пузырькового типа) непригодны из-за непригодности рабочих органов к работе в исследуемой среде.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Анализ исследований вискозиметров и методов вискозиметрии показал, что с развитием приборостроения основные методы определения вязкости жидкости и смесей остались без изменений [4, 5].

Анализируя основные методы определения вязкости (капиллярный, вибрационный, ротационный, ультразвуковой, метод падающего шарика) [5], и физико-механические свойства субстратов, можно сказать, что практическое использование любого из методов не позволяет провести замеры вязкости многокомпонентного субстрата с разно-размерными включениями (0-120мм) с необходимой точностью.

Проработав методику измерений и рабочие органы существующих приборов [4, 5, 6,7] можно сделать выводы, что практически все вискозиметры спроектированы для работы с однородными средами, дисперсия частиц которых не более 10<sup>-3</sup>. Исходя из этого использование существующих вискозиметров для измерения вязкости субстрата невозможно.

Наиболее подходящим и точным методом измерения является метод падающего шарика, но его использование также невозможно из-за больших трудностей по определению скорости падения.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАНИЯ

Цель работы – разработать стенд для измерения вязкости субстрата, в котором присутствуют составляющие различных размеров и физико-механических свойств, предложить методику измерений параметров вязкости субстрата.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Целью статьи является разработка стенда и методики исследования вязкости субстратов, формирующиеся из бытовых отходов в частных крестьянских хозяйствах, фракционный состав, которого лежит в пределах 0-120мм.

Детальное изучение методов определения вязкости и реологических свойств жидкостей

и смесей позволило выделить взаимодействие тела, которое движется с определенной заданной скоростью в жидкости. Такое взаимодействие легло в основу спроектированного стенда [7, 8, 9, 10, 11, 12].

Рабочий процесс стенда заключается в определении сил сопротивления, которые оказывает исследуемая среда телу, которое движется с разными заданными скоростями, графическое отображение приведено на рис.1. [7, 10, 13, 14, 15]

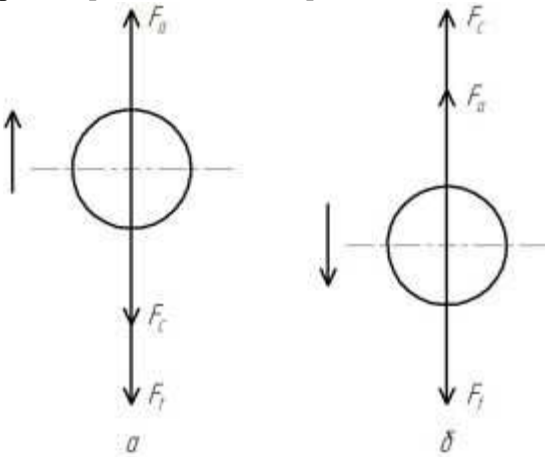


Рис. 1. Силы, действующие на тело, движущейся жидкости

*a* - движение вверх, *b* - движение вниз,  $F_a$  - сила выталкивания (Архимедова сила),  $F_c$  - сила сопротивления вследствие вязкости (сила Стокса),  $F_t$  - сила тяжести

Fig. 1. The forces acting on a body moving fluid  
*a* – upward movement, *b* – downward movement,  $F_a$  - pushing force (Archimedes force),  $F_c$  - drag force due to viscosity (Stokes force),  $F_t$  - gravity

Силы, действующие на шар, можно записать в следующем виде:

Сила выталкивания:

$$F_a = \frac{4\pi \cdot r_k \cdot \rho_c \cdot g}{3} = m_c \cdot g, \quad (1)$$

где:  $r_k$ –радиус шарика,  $\rho_c$ –плотность среды,  $m_c$ –масса среды вытесненная шариком,  $g$ –ускорение свободного падения;

сила сопротивления вследствие вязкости:

$$F_c = 6\pi \cdot V \cdot r_k \cdot \mu, \quad (2)$$

где:  $V$ –скорость движения шарика,  $\mu$ –вязкость исследуемой среды;

сила тяжести:

$$F_t = \frac{4\pi \cdot r_k \cdot \rho_k \cdot g}{3} = m_k \cdot g, \quad (3)$$

где:  $m_k$ –масса шарика,  $\rho_k$ –плотность материала шарика.

Изменение скорости движения шарика позволяет определять, как исследуемая среда ведет себя в качестве ньютоновской или неньютоновской жидкости. На стенде также можно исследовать изменение вязкости среды после и во время флотационного разделения субстрата на легкую, жидкую и тяжелую фракции.

Аппаратура стенда предназначена для измерения силы сопротивления движению шарика при выбранной ее скорости, и с помощью программного обеспечения LabVIEW 8.6 записывать данные на ПК и графически отображать изменение силы сопротивления на начальной стадии и стадии установившегося движения.

Общий вид и основные узлы стенда показано на рис. 2.

Для обеспечения вертикальной стабилизации цилиндрической емкости 1 станина 2 снабжена регулируемой три точечной опорой. В верхней части стойки 3 закреплен синхронный двигатель с внутренней редукцией на выходном валу, которого закреплены калиброванные шкивы 5, на которые наматывается плетеная нить Berkley Whiplash 6 толщиной 0,06 мм.

На нижней части нити закреплен металлический шар 7, которая погружается в исследуемую среду. Для замеров сил сопротивления при движении шара используется датчик 8 передающий цифровой сигнал на усиливающую плату NI USB 6008 9 при помощи, которой данные записываются на персональный компьютер.

Управление двигателем осуществляется с помощью пульта 11.

Для облегчения установки шара на ось цилиндрической емкости (рис. 2. сеч. А-А) используется центральная пластина (крышка) 12. Необходимая скорость движения шарика достигается изменением рабочего шкива на валу двигателя. При проведении опыта шар должен двигаться по оси цилиндрической емкости, для того чтобы избежать смещения шара относительно оси емкости при изменении рабочего шкива двигатель имеет возможность изменения точки крепления.

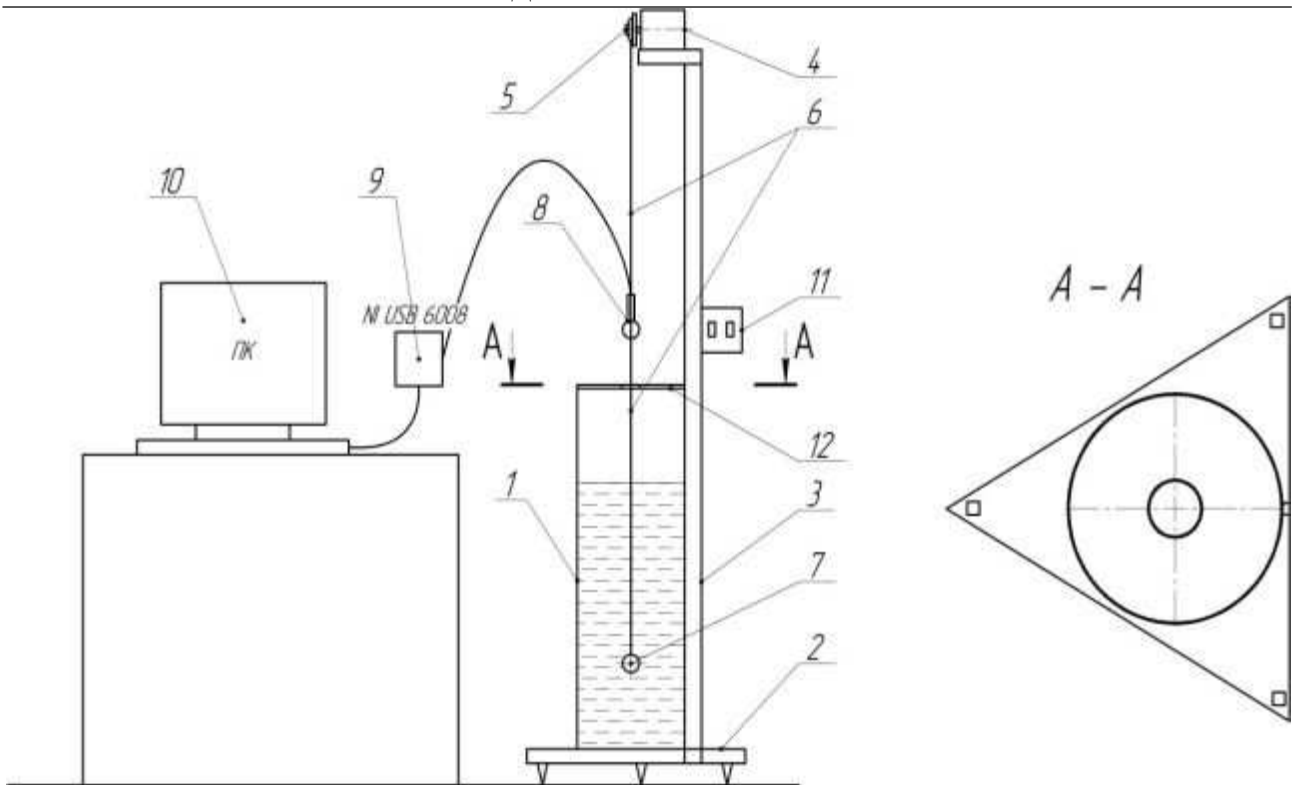


Рис. 2. Загальний вигляд стану для дослідження в'язкості субстрату  
Fig. 2. General view of the stand to study the viscosity of the substrate

Исследование потока жидкости обтекающего препятствие (рис. 3.), позволило свести к минимуму влияние стенок емкости на сопротивление движению шарика в исследуемой среде [16, 17, 18, 19], обеспечив следующее соотношение конструктивных элементов рабочих органов спроектированного вискозиметра:  $c \geq 2d_k$  (рис. 3.).

Для повышения чувствительности датчика и точности измерения в качестве датчика используется тензометрическое звено с промежуточным усилением сигнала, которое работает на растяжение.

Исходя из того, что на стенде можно исследовать не только вязкость субстрата но и его динамику при изменении состава или влажности был разработан следующие методические рекомендации [4, 5, 6, 20], по измерению:

1. Алгоритм определения вязкости субстрата

- 1.1. приготовить исследовательскую порцию субстрата (в соответствии с рабочей);
- 1.2. подготовить стендк работе:
  - выставить цилиндрическую емкость в вертикальное положение,

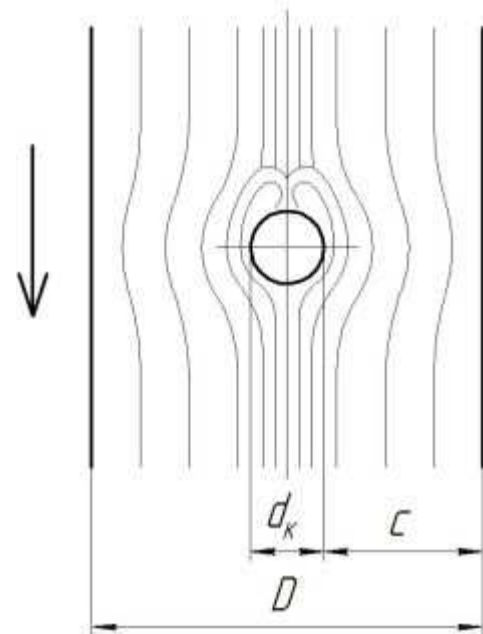


Рис. 3. Графическое отображение линий-потока при обтекании шара  
 $c$  –расстояние от шара к стенке цилиндрической емкости;  $d_k$  - диаметр шарика;  $D$  -внутренний диаметр емкости.

Fig. 3. Diagram of the flow lines in the flow around the ball  
 $c$  - distance from the ball to the wall of the cylindrical container;  $d_k$  - diameter balls  $D$  - internal diameter container.

- снять центрирующую крышку,  
 -подсоединить датчик сенда к плате NI USB6008, а плату к ПК,  
 -подключить электродвигатель в электросеть;

1.3. залить приготовленный субстрат в цилиндрическую емкость;

1.4. выбрать скорость движения шара (рабочий шкив);

1.5. с помощью центрирующей пластины и подвижного крепления двигателя установить шар по центру цилиндрической емкости;

1.6. зафиксировать двигатель в одном из фиксированных положений и снять центрирующую пластину;

1.7. опустить шар на дно емкости;

1.8. запустить программное обеспечение, включить двигатель и снять данные во время движения пули в субстрате;

1.9. перемешать исследуемую порцию субстрата, изменить рабочую скорость шара и повторить пункты 1. 5, 1. 6, 1. 7, 1. 8;

1.10. опорожнить и очистить стенд от субстрата;

1.11. обработать данные, используя следующие выражения:

$$F_{\partial} = F_t - F_a + F_c, \quad (4)$$

где:  $F_{\partial}$  – показания датчика, Н

$$\mu = \frac{F_{\partial} - m_k \cdot g + m_c \cdot g}{6\pi \cdot V \cdot r_k}. \quad (5)$$

Поскольку нить, на которой подвешен шар, имеет диаметр 0,06мм и площадь контакта с субстратом очень мала, а значит и силы трения нити в субстрате незначительные, то ими пренебрегаем.

Учитывая то, что влажность субстратов, используемых в биогазовых установках, лежит в пределах 75-94% и то, что вязкость воды (основного компонента) изменяется относительно температуры, необходимо проводить температурный мониторинг исследуемого субстрата при проведении опыта.

*2. Исследование вязкости относительно изменения одного из параметров субстрата*

Эта методика включает в себя все пункты предварительной с постепенным изменением определенного (фракционного или процентного содержания субстрата, влажности, температуры) из параметров.

*3. Исследование изменения вязкости субстрата во время протекания флотационных процессов*

Отличие от алгоритма определения вязкости субстрата заключается в снятии ряда данных в течение частичного или полного расслоения субстрата на фракции во время протекания процесса флотационного разделения субстрата на твердую, жидкую и легкую фракции.

## ВЫВОДЫ.

Разработанный стенд дает возможность измерения и исследования параметров вязкости субстрата, в котором присутствуют компоненты, размеры которых могут достигать до 120мм. Тензометрическое звено, которым обеспечен стенд и изменение шариков с разной плотностью (стальная, стеклянная, и др.). Позволяют проводить экспериментальные исследования в широком диапазоне вязкости.

Исследование изменения вязкости относительно изменения процентного состава компонентов, или влажности субстрата, позволит сформировать массив данных для проведения проектных работ биогазового оборудования.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Polishchuk V. M. 2011. Konstruktivni osoblivosti metantenkiv // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 13B. 56–61
2. Kowalska A. 2011. Recruiting and using agricultural biogas /TEKA Commission of motorization and power industry in agriculture Lublin, – Vol. 11. 118–125
3. Eder B. 2006. Biogas-Praxis: Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele, Wirtschaftlichkeit / Barbara Eder, Heinz Schulz; mit Beiträgen von Andreas Krieg. 3. vollständig überarbeitete unterweiterte Aufl. Staufen bei Freiburg: Ökobuch, 238.
4. Brookfield Engineering Laboratories [Yelektronniy resurs] – Rezhim dostupu: <http://www.brookfieldengineering.com/products/viscometers/index.asp>
5. AVRORA tekhnologi izmereniy [Yelektronniy resurs] – Rezhim dostupu: <http://viscometer.ru/?cnt=catalog>

6. Viskozimetriya pishchevykh mass: metod. ukazaniya k laboratornym rabotam po kursu «Reologiya syr'ya, polufabrikatov i gotovykh izdeliy khlebopekarnogo, makaronnogo i konditerskogo proizvodstv» / Voronezh. gos. tekhnol. akad.; sost. V. I. Karpenko, V. A. Dyatlov, A. A. Zhuravlev, T. A. Shevyakova. – Voronezh :VGTA, 2008. 39.
7. Padokhin V.A., Kokina N.R. 2007. Fiziko-mekhanicheskiye svoystva syr'ya i pishchevykh produktov: Ucheb. posobiye / Ivan. gos. khim.-tekhnol. un-t.. Institut khimii rastvorov RAN. - Ivanovo. 128.
8. Uilkinson U. L. 1964. Nen'yuto-novskiy zhidkosti gidromekhanika, peremeshivaniye i teploobmen Perevod s angliyskogo kand. tekhn. nauk 3. P. Shul'mana «MIR» Moskva. 216
9. Pavlov K. F. 1987. Primery i zadachi po kursu protsessov i apparatov khimicheskoy tekhnologii. Uchebnoye posobiye dlya vuzov. 10-ye izd., pererab. i dop. – L.: Khimiya. 576.
10. Anderson D. 1990. Vychislitel'naya gidromekhanika i teploobmen. V 2-kh t Tom 2: Per. s angl. – M.: Mir. 392.
11. Anderson D. 1990. Vychislitel'naya gidromekhanika i teploobmen. V 2-kh t Tom 1: Per. s angl. – M.: Mir. 384.
12. AL'TSHUL' A. D. 1966. Gidravlika i aerodinamika (osnovy mekhaniki zhidkosti). M.: Stroyizdat. 275.
13. Strenk F. 1975. Peremeshivaniye i apparaty s meshkami. Pol'sha, 1971. Per. s pol'sk. pod red. Shchuplyaka I. A. L., «Khimiya». 384.
14. Braginskiy L. N. 1984. Peremeshivaniye vzhidkikh sredakh: Fizicheskiye osnovy i inzhenernyye metody rascheta: Khimiya, 336.
15. Kamner A. A. 1987. Gidromekhanika v inzhenernoy praktike. – K.: Tekhnika. 175.
16. Happel John. 1965. Low Reynolds number hydrodynamics with special applications to particulate media, 631.
17. Zolotov S. S. 1984. Zadachnik po gidromekhanike dlya sudostroiteley. Uchebnoye posobiye 2-ye izd. pererab. ts dop.–L.: Sudostroyeniye, 232.
18. Kalion B.A. 2010. Obchislyval'na gidromekhanika: Model'ni zadachi. Navchal'niy posibnik.– K.: VTS "Kijivs'kiy univrsitet", 219.
19. Knyazev D. V. 2007. Vrashchatel'no-simmetrich-nyye techeniya вязкой zhidkosti s prostranstvennym uskoreniyem: Dissertatsiya na soiskaniye uchonoy stepeni kandidata fiziko-matematicheskikh nauk: 01.02.05. / Perm', 140.
20. Grabchenko A.Í. 2009. Metodi naukovikh doslidzhen': Navch. posibnik. – KH.: NTU "KHPÍ". 142.

**MODEL FOR THE STUDY VISCOSITY  
SUBSTRATE FORMED OF BIOWAS  
TEINPRIVATE FARMS**

**Summary.** This paper analyzes the main instruments for measuring the viscosity of various liquids and mixtures with a wide dimensional scatter components (0-120 mm) and different physical and mechanical properties. A stand and method of measuring the viscosity of the substrate, which is formed of biowaste in private farms.

**Key words:** booth, viscosity, substrate viscometer, methods of research.