

ISSN 0554-2081. Харчова промисловість. 2000. Вип. 45
УДК 622.621.928.8

С.В.ГОРОБЕЦЬ, кандидат технічних наук
А.І. УКРАЇНЕЦЬ, І.С.ГУЛИЙ, доктори технічних наук
Л.В. КРАМОРЕНКО, Є.А. БОНДАР,
Н.П. БАНДУРКА, А.О. АСАУЛЕНКО
Український державний університет харчових технологій

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ
АСНАРОМУСЕС СЕРЕВІСІАЕ ТА ДРІБНОДИСПЕРСНИХ
ЧАСТИНОК В ОКОЛІ ФЕРОМАГНІТНИХ НАСАДОК У
ПОСТІЙНОМУ МАГНІТНОМУ ПОЛІ**

*Проведено експериментальні дослідження впливу високо-градієнтних магнітних полів на рух *Saccharomyces cerevisiae* і дрібнодисперсних частинок при різних розмірах та формах насадок і різних значеннях кислотності модельних рідин. На основі проведених експериментів встановлено залежності модуля швидкості руху від часу*

© Горобець С.В., Українець А.І., Гулий І.С., Краморенко Л.В., Бондар Є.А.,
Бандурка Н.П., Асауленко А.О., 2000

для дріжджових клітин та дрібнодисперсних частинок казеїну у високоградієнтному магнітному полі.

Вивчення дисперсних систем, властивостей їх граничних фаз, механізмів утворення та будови електроповерхневих і граничних структурованих шарів взагалі [1] та кінетичних властивостей зокрема є важливим фундаментальним завданням молекулярної фізики дисперсних систем.

Актуальність таких досліджень, окрім загальнотеоретичної значимості, визначається ще й тим, що поверхневі явища відіграють важливу роль у багатьох технологічних процесах, зокрема молочній та пивоварній промисловості, а також у багатьох природних процесах, вивчення яких є змістом таких наук, як біологія, медицина (у зв'язку з проходженням фізико-хімічних процесів на клітинному рівні) і под. Отже, експериментальне дослідження властивостей дисперсних систем має важливе прикладне значення.

Загальноприйнятою методикою дисперсного аналізу таких систем вважається мікроскопічний метод [2], суть якого полягає у вимірюванні розміру та підрахунку кількості частинок певного розміру в полі зору оптичного мікроскопа. Вимірювання проводять за допомогою попередньо проградуєваної окулярної шкали мікроскопа. Результати подають у вигляді графіків залежності кількості частинок від їхніх розмірів.

Безпосереднім спостереженням мікрооб'єктів, що є дисперсною фазою обох систем, ми встановили робочий інтервал середнього радіуса частинок, які досліджувались (від 3,9 до 7,8 мкм).

Дослідженнями кінетичних властивостей частинок встановлено, що високоградієнтне магнітне поле (ВГМП), створене внесенням у постійне магнітне поле (ПМП) феромагнітної частинки, є зручним інструментом впливу на дрібнодисперсні, зокрема рідинні, системи [3,4]. Так, у роботі [3] наведено якісний опис поведінки в околі феромагнітної насадки слабомагнітних мікрооб'єктів залежно від покриття феромагнітної частинки та кислотності середовища. Кількісний аналіз стаціонарних потоків частинок, що утворюються в таких умовах, ґрунтується, головним чином, на вимірюванні експериментальної залежності модуля швидкості їх руху від тривалості дії магнітного поля [4]. Отримані результати свідчать, що на характер цих залежностей суттєво впливають як характеристичні параметри дисперсних систем (дисперсність мікрооб'єктів, в'язкість і кислотність дисперсного середовища), так і зовнішні параметри магнітної системи (геометрична конфігурація, характерні розміри феромагнітної насадки, магнітні властивості матеріалу, з якого вона виготовлена, напруженість зовнішнього ПМП).

Об'єктом досліджень у даній роботі є пивоварні дріжджі *Saccharomyces cerevisiae*, вирощені на солодовому суслі. Нехтуючи біологічною природою цих об'єктів, можна стверджувати, що з фізико-хімічної точки зору вони являють собою мікрогетерогенну (розмір дріжджових клітин вкладається в інтервал від 1 до 10 мкм [5]), полідисперсну та вільнодисперсну (дисперсна фаза, в даному випадку популяція дріжджів, є рухливою відносно дисперсного середовища, тобто суслу) систему. Слід зауважити, що за магнітними властивостями ця дисперсна система є діаманітною. Так, магнітна сприйнятливість *Saccharomyces* залежно від штаму становить від $-(0,329 \pm 0,008) \cdot 10^{-6}$ (штам Р678) до $-(0,454 \pm 0,008) \cdot 10^{-6}$ (штам К12) [6].

Другим об'єктом досліджень є молоко, в яке додається слабоконцентрована соляна кислота. В даному випадку нативні білки, що є в молоці, за наявності HCl утворюють коагульовані білкові (головним чином казеїнові) дрібнодисперсні завислі частинки, які теж можна розглядати як мікрогетерогенну, полідисперсну, вільнозв'язану систему. Отриману таким чином дисперсну систему молока можна вважати подібною за дисперсністю до дріжджів, культивованих у суслі.

Метою даної роботи є:

- 1) відпрацювання методики експериментальних досліджень стаціонарних потоків вільнодисперсних рідинних систем в околі феромагнітної насадки у ПМП;
- 2) безпосереднє проведення вимірювань кінетичних характеристик обох систем, взятих в ідентичних зовнішніх умовах при різних значеннях кислотності й різних конфігураціях насадок;
- 3) порівняння кінетичних характеристик дріжджів і дисперсних частинок молока під дією ПМП.

Основою установки для дослідження кінетичних явищ в околі високоградієнтних феромагнітних насадок (ВГФН) була система, аналогічна за принципом побудови до установки, описаної в роботі [7]. Установка складається з магнітної 5 (можливість встановлення напруженості ПМП в межах від 40 до 560 кА/м) та оптичної 3, 4, 6 (лінійне збільшення $64\times$, мінімальна роздільна здатність 3,9 мкм) систем (рис. 1). Магнітна система, що схематично зображена у вигляді полкюсів 5, призначена для створення та забезпечення протягом тривалого часу однорідного, горизонтально напрям-

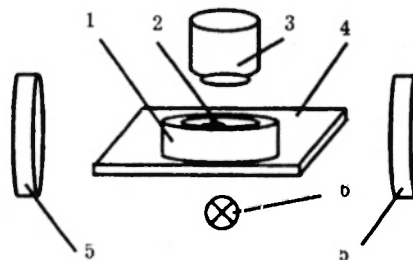


Рис. 1. Схематичне зображення установки для дослідження кінетичних властивостей рідинних дисперсних систем в околі ВГФН у ПМП

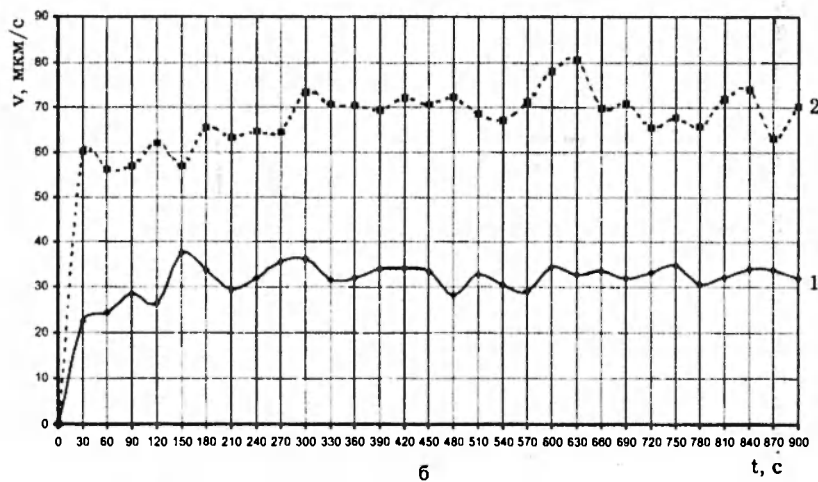
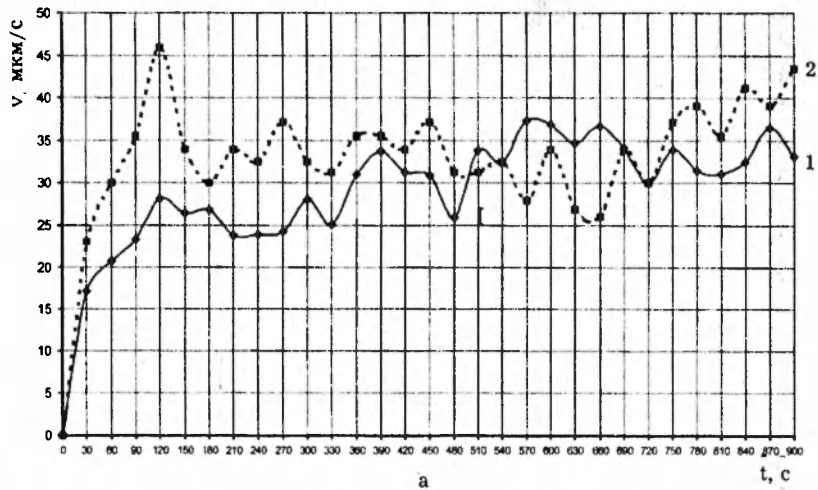


Рис. 2. Залежність швидкості руху дрібнодисперсних частинок (суцільні лінії) та *Sacch. cerevisiae* (штрихові лінії) від часу спостереження при рН = 3 для циліндричної (а) та кулеподібної (б) насадок

леного ПМП. Оптична система, що складається із спеціального мікроскопа 3, предметного скла 4 та лампи освітлення 6 мікрооб'єктів, які входять до складу рідинних дисперсних систем, призначена для проведення візуальних спостережень, а також для вимірювання їх характерних розмірів та довжин траєкторій під час руху в околі ВГФН у різних паралельних оптичних площинах. Як допоміжне обладнання використовуються спеціально виготовлені мікрокувети 1 із вбудованими в них ВГФН 2. В даній роботі використовуються ВГФН двох

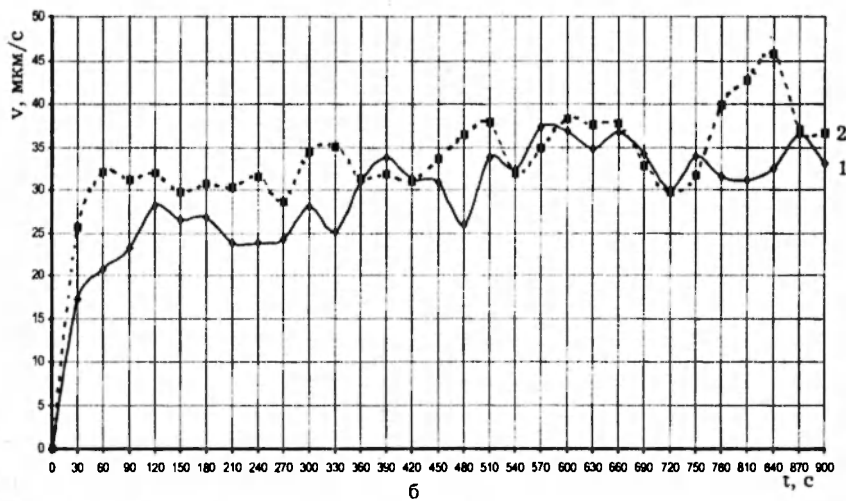
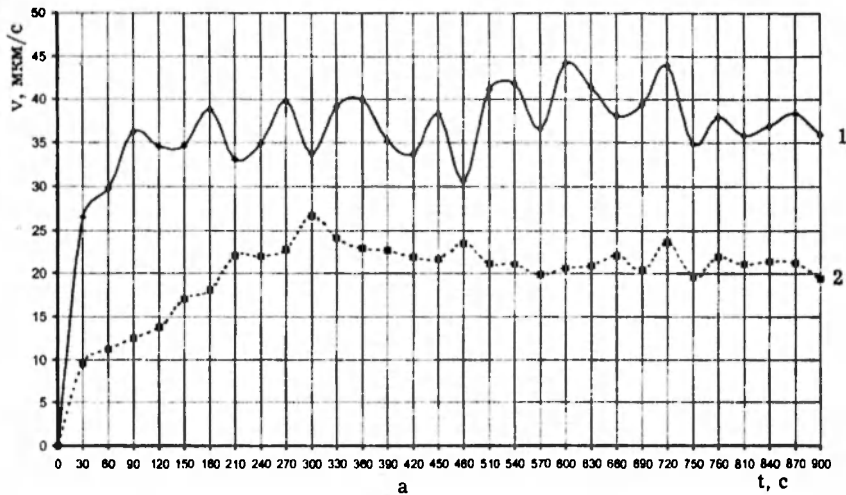


Рис. 3. Залежність швидкості руху дрібнодисперсних частинок (суцільні лінії) та *Sacch. cerevisiae* (штрихові лінії) від часу спостереження при $pH = 4$ для циліндричної (а) та кулеподібної (б) насадок

типів – кулеподібна та циліндрична. Насадки обох типів мають характерний розмір 150 мкм.

Перевірні вимірювання залежностей швидкості руху мікрооб'єктів дисперсної фази від тривалості дії магнітного поля засвідчили, що мають місце певні технічні ускладнення в інтерпретації результатів спостережень, а саме:

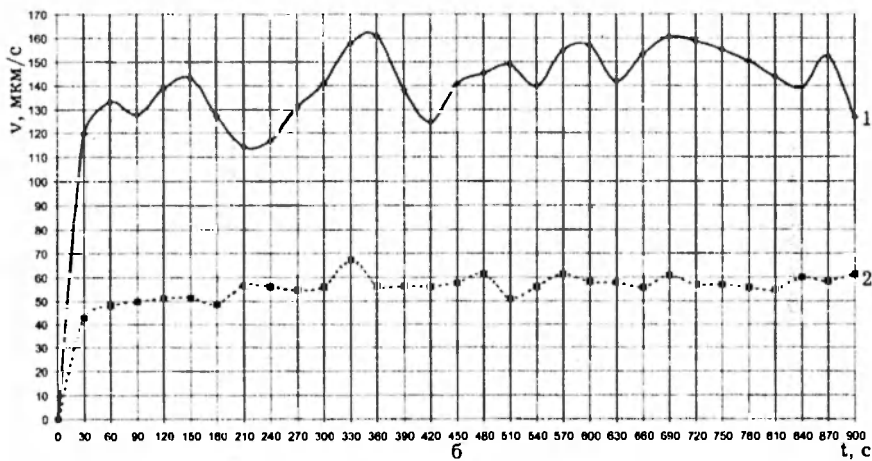
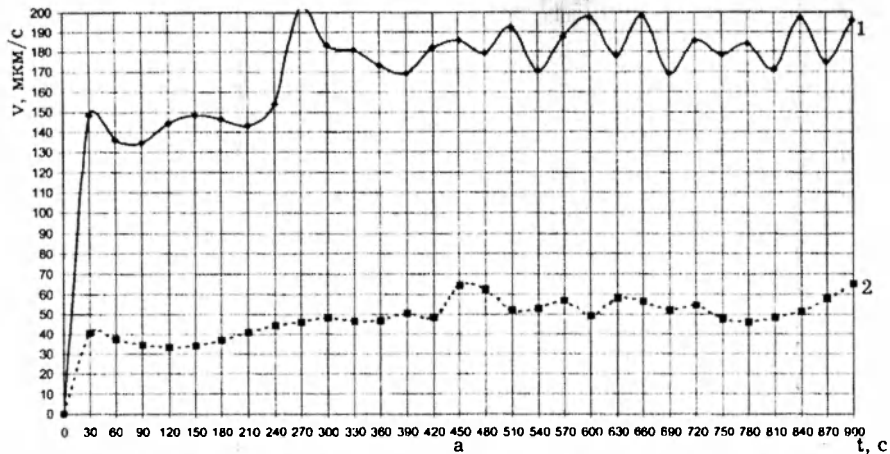


Рис. 4. Залежність швидкості руху дрібнодисперсних частинок (суцільні лінії) та *Sacch. cerevisiae* (штрихові лінії) від часу спостереження при рН = 5 для циліндричної (а) та кулеподібної (б) насадок

1) внаслідок того, що характер руху цих мікроб'єктів у стаціонарних потоках є суто тривимірним, виникає потреба проведення спостережень у різних паралельних оптичних площинах;

2) в околі ВГФН існують як площини, в яких спостерігаються прямі стаціонарні потоки, так і площини, обернені до них за напрямком стаціонарних потоків мікроб'єктів, а також площини, в яких дія цих потоків є взаємоскомпенсованою;

3) спостереження за стаціонарними потоками у фіксованій оптичній площині показали, що середнє значення модуля швидкості поступово змінюється з часом.

Причиною тривимірності руху мікрооб'єктів є дія на них гравітаційних сил. Наслідком такої дії є поступове осадження цих мікрооб'єктів на дно кювети, що є негативним в умовах цього експерименту. Застосування методу вільної седиментації [8] можливе для мікрооб'єктів, розмір яких не менше ніж 0,1 мкм [9], що якраз відповідає робочому інтервалові проведених повірочних вимірювань.

Встановлене існування в околі ВГФН двох протилежних за напрямком стаціонарних потоків може бути наслідком замкненості системи (у гідродинамічному розумінні). Відсутність чіткої границі поділу вказує на ламінарний характер цих потоків. Детальніше визначення природи стаціонарних потоків потребує розв'язання основної задачі гідродинаміки – знаходження полів швидкості, тиску та густини в рідині, що рухається під дією заданих зовнішніх сил [10]. Найперспективнішим методом вирішення цієї проблеми в рамках технологічної теорії є моделювання поведінки слабомагнітних дисперсних систем у ВГМП [11–14].

Вимірювання проводились для трьох значень кислотності дисперсного середовища – $pH=3$, $pH=4$ та $pH=5$ (рис. 2–4). Існування деяких розбіжностей у значеннях модуля швидкості цілком пояснюється існуванням горизонтального розподілу швидкості. Друга особливість – якісна та кількісна подібність кінетичних характеристик клітин дріжджів і молока. Останнє обгрунтовує використання молока в подібних експериментах як аналога дріжджових клітин.

Для пояснення залежностей середньої швидкості від кислотності виникає потреба у проведенні додаткових досліджень поведінки потоків в околі ВГФН у ПМП.

Висновки. Проведені експерименти з порівняння швидкостей руху дріжджових клітин та казеїнових частинок при однакових кислотностях дає можливість стверджувати, що характер їх зміни з часом якісно однаковий, в той час як природа мікрооб'єктів різна. Це дасть можливість проводити експерименти з неживими мікрооб'єктами, а отримані результати вважати справедливими і для мікроорганізмів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Горбатчук И.Т. Электрокинетические явления в дисперсных системах. – К.: КГПИ, 1986. – 102 с.
2. Градус Л.Я. Руководство по дисперсионному анализу методом микроскопии. – М.: Химия, 1979. – 232 с.
3. Образование стационарных потоков жидкости в окрестности ферромагнитной частицы в постоянном магнитном поле / С. В. Горо-

бец, Ю.И. Горобец, Ю.М. Пименов, И.А. Мельничук // Наук. вісник МГА України, 1998. – Вип. 3. – С. 70–73.

4. Горобец С.В., Мельничук И.А. Стационарные потоки жидкости в окрестности ферромагнитной иглы в постоянном магнитном поле / Вісник Сумського держ. ун –ту, 1999. – 2(13). – С. 25–28.

5. *Руководство к практическим работам по коллоидной химии* / О.Н. Григоров, И.Ф. Карпова, З.П. Козьмина и др. – М., Л.: Химия, 1962. – 331 с.

6. Чурбанова И.Н. Микробиология. – М.: Высшая школа, 1987. – 239 с.

7. Павлович С.А. Магниточувствительность и магнитовосприимчивость микроорганизмов. – Минск: Беларусь, 1981. – 172 с.

8. Горобец С.В., Пименов Ю.М. Установка для визуализации и исследования процессов взаимодействия высокоградиентных насадок магнитных фильтров с неферромагнитными частицами // Вибрация в технике и технологиях. – 1998. – №3(7). – С. 58.

9. Фигуровский Н.А. Седиментометрический анализ. – М., Л.: Изд-во АН СССР, 1948. – 332 с.

10. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии (Поверхностные явления и дисперсные системы). – М.: Химия, 1982. – 400 с.

11. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. – М.: Наука, 1964. – С. 304–317.

12. Rezlescu N., Murariu V., Rotariu O., Badescu V. Capture modeling for a axial high gradient magnetic separation filter with a bounded flow field // Powder Technology. – 1995. – 83(3). – P. 259–264.

13. Badescu V., Rotariu O., Murariu V., Rezlescu N. Magnetic capture modeling for a transversal high gradient filter cell with a bounded flow field // International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics. – 1996. – 7. – P. 57–67.

14. Badescu V., Murariu V., Rotariu O., Rezlescu N. A new modeling of the bildup evolution on a wire in the axial HGMS filter // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 1996. – 163. – P. 225–231.

Одержано редколегією 24.11.99 р.

*Проведены исследования влияния высокоградиентных магнитных полей на *Saccharomyces cerevisiae* и мелкодисперсные частицы при разных размерах и формах насадок для различных значений кислотности модельных жидкостей. На основании проведенных экспериментов установлены зависимости модуля скорости движения от времени для дрожжевых клеток и мелкодисперсных частиц казеина в высокоградиентном магнитном поле.*