

УСТАНОВКА ДЛЯ КАПСУЛИРОВАНИЯ ПРОБИОТИКОВ

¹М.М. Ташыбаева✉, ¹А.К. Какимов, ²А.А. Майоров, ¹Г.А. Жумадилова

¹ НАО Университет им. Шакарима города Семей, Казахстан, Семей,

² ФГБНУ Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Барнаул, Россия

✉ Корреспондент-автор: marzhan06081990@gmail.com

Инкапсуляция является весьма актуальным процессом на сегодняшний день, так как позволяет защитить инкапсулируемый материал (пробиотик) от воздействий окружающей среды: влага, тепло и т.д., тем самым повышая шансы на выживаемость. Для подбора оптимального процентного соотношения альгината натрия 0,5%, 0,8%, 1%. Эксперименты проводились при температурах гелеобразующей смеси от 20 до 50 °С. Была выбрана форсунка с выходным отверстием $d = 1,2 \times 10^{-3}$ м, как наиболее оптимальная и по производительности, и по качеству получаемых капсул. При определении вязкости в вискозиметре Брукфильда постоянный режим выходит после частоты вращения ротора от $0,333 \text{ с}^{-1}$ до $0,833 \text{ с}^{-1}$. В полученную смесь внесли навеску штамма пропионовокислых бактерий *Propionibacterium freudenreichii*. В конечном итоге, получили округлые капсулы, содержащие пробиотик *Propionibacterium freudenreichii*, которые могут быть использованы в дальнейших технологических процессах при получении пищевых продуктов лечебно-профилактического действия или при получении фармакологических препаратов. Гелеобразное сырье при нагнетании давления с помощью шестеренчатого насоса испытывает мгновенно-упругую деформацию и в дальнейшем, при напряжении превышающем предел текучести, вязкопластическую деформацию. Под действием давления и испытываемых деформаций, гелеобразное сырье попадает в форсунку, разбрызгивается, в дальнейшем образует микрокапсулы.

Ключевые слова: микрокапсула, пробиотик, шестеренчатый насос, форсунка, альгинат, распылительный метод

INSTALLATION FOR CAPSULATION OF PROBIOTICS

¹M.M. Tashybayeva✉, ¹A.K. Kakimov, ²A.A. Mayorov, ¹G.A. Zhumadilova

¹NJSC Shakarim University of Semey, Semey, Kazakhstan,

²Federal State Budget Scientific Institution Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnologies, Barnaul, Russian,

e-mail: marzhan06081990@gmail.com

Encapsulation is a very relevant process today, as it allows you to protect the encapsulated material (probiotic) from environmental influences: moisture, heat, etc., thereby increasing the chances of squeezability. To select the optimal percentage of sodium alginate 0.5%, 0.8%, 1%. The experiments were carried out at temperatures of the gel-forming mixture from 20 to 50 °C. A nozzle with an outlet hole $d = 1,2 \times 10^{-3}$ m was selected as the most optimal both in terms of performance and quality of the capsules obtained. When determining the viscosity in the Brookfield viscometer, the constant mode goes out after the rotor speed from $0,333 \text{ с}^{-1}$ до $0,833 \text{ с}^{-1}$. A suspension of a strain of propionic acid bacteria *Propionibacterium freudenreichii* was added to the resulting mixture. Eventually, rounded capsules containing the probiotic

Propionibacterium freudenreichii were obtained, which can be used in further technological processes in the production of food products of therapeutic and preventive action or in the production of pharmacological preparations. The gellike raw material, when pressurized with a gear pump, experiences instantaneous elastic deformation and further, at a stress exceeding the yield strength, viscoplastic deformation. Under the influence of pressure and the deformations tested, the gellike raw material enters the nozzle, is sprayed, and then forms microcapsules.

Keywords: microcapsule, probiotic, gear pump, nozzle, alginate, spray method

ПРОБИОТИКТЕРДІ КАПСУЛАЛАУҒА АРНАЛҒАН ҚОНДЫРҒЫ

М.М. Ташыбаева✉, ¹А.К. Какимов, ²А.А. Майоров, ¹Г.А. Жумадилова

¹Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті КеАҚ, Семей, Қазақстан

Федералдық Алтай агробιοтехнологиялық ғылыми орталығы ФМБҒМ, Барнаул, Ресей,

e-mail: marzhan06081990@gmail.com

Капсулалау бүгінгі күні өте өзекті процесс, өйткені ол капсулаланған материалды (пробиотикті) қоршаған орта әсерінен: ылғалдан, жылудан және т.б. қорғауға мүмкіндік береді, осылайша сығу мүмкіндігін арттырады. Натрий альгинатының оңтайлы пайызын таңдау үшін 0,5%, 0,8%, 1% алынды. Тәжірибелер гель түзетін қоспаның 20-дан 50 °С-ге дейін температурасында жүргізілді. Өнімділік жағынан да, алынған капсулалардың сапасы бойынша да ең оңтайлы ретінде диаметрі $d = 1,2 \times 10^{-3}$ м форсунка таңдалды. Брукфильд вискозиметріндегі тұтқырлықты анықтау кезінде тұрақты режим ротордың $0,333 \text{ с}^{-1}$ және $0,833 \text{ с}^{-1}$ дейін айналу жиілігінен кейін шығады. Алынған қоспаға *Propionibacterium freudenreichii* пропион қышқылы бактерияларының штаммы қосылды. Соңында біз пробиоти-калық *Propionibacterium freudenreichii* бар дөңгелек капсулаларды алдық, оларды емдік-профилактикалық әсері бар тамақ өнімдерін өндіру немесе фармакологиялық препараттарды өндіру үшін одан әрі технологиялық процестерде қолдануға болады. Гель тәрізді шикізат беріліс сорғысының көмегімен қысымды айдау кезінде лезде серпімді деформацияны және одан әрі, аққыштық шегінен асатын кернеуде тұтқыр пластикалық деформацияны сезінеді. Қысым мен сыналған деформациялардың әсерінен гель тәрізді шикізат форсункаға түседі, шашырайды, әрі қарай микрокапсулалар түзеді.

Түйін сөздер: микрокапсула, пробиотик, тісті сорғы, форсунка, альгинат, шашырату әдісі

Введение. Здоровье человека, как и качество его жизни во многом определяется качеством потребляемой пищи. Пища должна содержать все необходимые вещества для нормального функционирования организма человека. В наше время большое количество людей из-за несбалансированного питания, малоподвижного образа жизни и нарушенного режима страдают болезнями желудочно-кишечного тракта [1].

В последнее время в целях повышения и поддержания иммунитета человека, широко применяются пробиотики, так как они благотворно влияют на микрофлору человека. Пробиотики улуч-

шают пищеварение, повышают устойчивость к инфекционным заболеваниям и проявляют терапевтический эффект при острых кишечных инфекциях. Благотворное влияние пробиотиков на организм человека определяется положительными свойствами микроорганизмов, входящих в состав пробиотиков. В основном, состав пробиотиков включает представителей эндогенной флоры кишечника: бифидобактерии, кишечную палочку, энтерококков, лактобактерии и др. Они вносят существенный вклад в нормальное функционирование организма. Заключение биологически активных добавок, ферментов, клеток и др.

материалов в мелкие капсулы называется процессом инкапсулирования. Инкапсуляция является весьма актуальным процессом на сегодняшний день, так как позволяет защитить инкапсулируемый материал (пробиотик) от воздействий окружающей среды: влага, тепло и т.д., тем самым повышая шансы на выживаемость [1, с.8].

В пищевой промышленности инкапсуляцию используют для скрытия запахов и вкусовых качеств [2]. При употреблении живых микроорганизмов - пробиотиков, организм человека начинает лучше функционировать [3].

Инкапсулирование позволит сохранить жизнеспособность пробиотиков, что является важным аспектом для оптимальной работы желудочно-кишечного тракта [4].

Альгинат - природный полисахарид (лат. Phaeophyceae, ламинария японская (лат. Laminaria Japonica Aresch). Содержание альгиновой кислоты в ламинарии составляет от 15 до 30%) и бактерии.

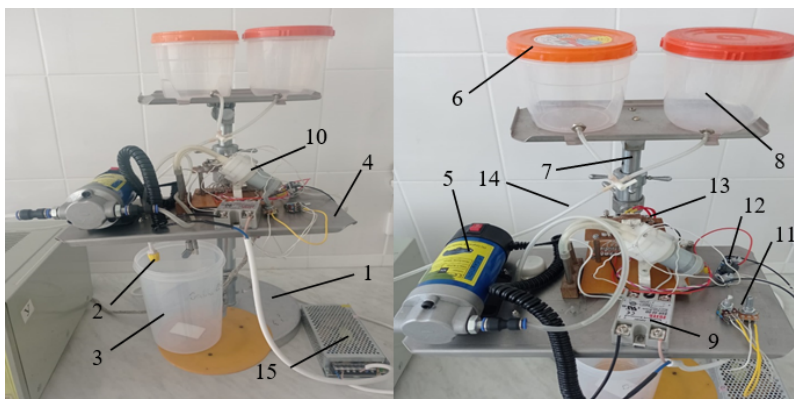
Альгинатные гидрогели для капсулирования клеток широко используются [5; 6], а альгинат кальция подходит для инкапсуляции пробиотиков из-за простоты использования, не токсично-

сти, биодоступности и низкой стоимости [7; 8; 9].

Биологические, химические и физические свойства капсулированных функциональных продуктов определяются технологиями и оборудованием, используемыми для их производства. Существует множество методов получения капсулированных функциональных продуктов, однако, немаловажным фактором при выборе технологии производства, является экономичность производственного процесса, простота эксплуатации, более низкая себестоимость конечного продукта при сохранении всех необходимых терапевтических, органолептических, функциональных качеств.

Способы получения капсул вручную, капельным методом, распылительным методом широко применяются на сегодняшний день, но данный процесс является очень трудоемким и долгим, соответственно, низкоэффективным и затратным.

На основании вышесказанного, была поставлена задача усовершенствования установки для получения функциональных капсул продукта (в частности пробиотиков), что позволяет автоматизировать процесс получения капсул с пробиотиками.



1- штатив, 2- форсунка, 3- емкость для раствора, 4- панель исполнительных устройств, 5- шестеренчатый насос (12 В, 5 А, 100 Вт), 6- емкость для рабочей смеси, 7- гайка регулировки уровня емкостей, 8- емкость для промывной жидкости, 9- однофазное твердотельное реле, 10- циркуляционный насос, 11- переменные резисторы для грубой и тонкой регулировки частоты вращения шестеренчатого насоса, 12- стабилизатор постоянного напряжения, модуль LM2596S; 13- термостат; 14 – трубопроводы; 15 – блок питания 24В, 20А.

Рис. 1 - Установка для капсулирования пробиотиков (методом распыления)

Цель работы капсулирование пробиотиков методом распыления с усовершенствованной установкой для капсулирования.

Методы исследования. Установка для капсулирования пробиотиков показана на рисунке 1 [10; 11].

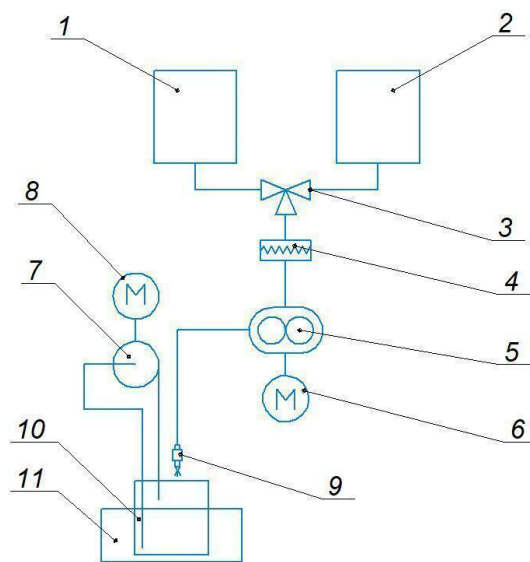
Была выбрана форсунка с выходным отверстием $d=1,2 \times 10^{-3}$ м, как наиболее оптимальная и по производительности, и по качеству получаемых капсул. Для подбора оптимального процентного соотношения альгината натрия 0,5%, 0,8%, 1%. Эксперименты проводились при температурах гелеобразующей смеси от 20 до 50 °С.

В качестве водного раствора гелеобразующей смеси использовали раствор с добавлением альгината натрия. Раствор получили следующим образом: в воде (60 °С) растворили альгинат натрия в количестве 1 % от общего количества взятой воды. Мерный стакан с водным раствором альгинат натрия помещается на электромагнитную мешалку с подогревом и раствор перемешивается

до полного растворения альгинат натрия. Температура подогрева выставляется 60 °С, так как при температуре ниже 60 °С альгинат натрия плохо растворяется, а при температуре выше 60 °С альгинат натрия начинает комковаться. После растворения альгината натрия смесь охладили до температуры 40°С [10, с.2].

В полученную смесь внесли навеску штамма пропионовокислых бактерий *Propionibacterium freudenreichii*. В качестве формообразующей смеси готовится 2% раствор хлорида кальция. Для этого берется 98 мл дистиллированной воды и добавляется 2 грамма хлорида кальция. После растворения хлорида кальция формообразующая смесь готова.

Технологическую схему установки, показана на рисунке 2 [11, с.1]. В емкость 1 для рабочей смеси заливается водный раствор гелеобразующей смеси (1% альгината натрия). В емкость 2 заливается промывочная жидкость для промывки системы после выполнения работы.



1 – емкость для рабочей смеси; 2 – емкость для промывочной жидкости; 3 – вентиль-переключатель; 4 – термостат; 5 – шестеренчатый насос; 6 – мотор привода шестеренчатого насоса; 7 – циркуляционный насос; 8 – мотор привода циркуляционного насоса; 9 – форсунка; 10 – емкость для формообразующего раствора; 11 – емкость для охлаждения (льда)

Рис. 2 - Технологическая схема установки для капсулирования

С помощью вентиля - переключателя 3 раствор из емкостей 1 подается в общую систему. Термостат 4 предназначен для поддержания температуры жидкости в системе на должном уровне. (40 град).

Шестеренчатый насос 5 подает жидкость в форсунку 9, где происходит распыление. Микрокапсулы образуются в формообразующей жидкости, представляющий из себя хлорид кальция, за счет химического преобразования альгината натрия в альгинат кальция при реагировании альгината натрия с формообразующей жидкостью. Для охлаждения формообразующей жидкости емкость 10 помещается в емкость со льдом 11. После получения микрокапсул проводится отделение капсул от формообразующей жидкости с помощью фильтрующей сетки (на схеме не указано, т.к. не входит в состав оборудования) [10, с.3; 11, с.3].

Определение вязкости водного раствора гелеобразующей смеси. Как известно, аналоговые вискозиметры с круговой шкалой являются простыми и удобными в использовании.

Для проведения измерений вязкости, необходимо зафиксировать основное рабочее тело вискозиметра на вертикальной цилиндрической штанге. В корпусе вискозиметра, на выходной вал электродвигателя крепится ротор. Частота вращения регулятора скорости вращения ротора находится в пределах от 0 до 100 об/мин.

Методология измерения вязкости состоит из нескольких этапов:

Подготовка пробы, путем размещения ее в химической посуде объемом не менее 600 мл. Выбор подходящего наконечника ротора и его крепление к выходному валу ротора. Тип необходимого наконечника определяется а зависимости от вязкости исследуемой жидкости. С целью проведения измерений в гелеобразных средах, необходимо использовать наконечник ротора № 4. Использование других типов наконечников, не со-

ответствующих типу измеряемой смеси, не даст адекватных результатов измерения. 1. Помещение рабочего элемента в исследуемую пробу. 2. Включение вискозиметра. 3. Определение необходимой скорости вращения ротора. 4. Стабилизация показаний (время стабилизации определяется в среднем после 5 оборотов ротора и находится в прямой зависимости от скорости вращения и характеристик исследуемой жидкости). 5. Снятие показаний с круговой шкалы.

В соответствии с номером использованного ротора и скоростью вращения, определяется табличный коэффициент, на который нужно умножить показания с круговой шкалы вискозиметра. Если необходимо получить данные в мПа·с, данные с круговой шкалы вискозиметра необходимо умножить на фактор F (табличный коэффициент), соответствующий определенному ротору [10, с.4].

Результаты и обсуждения. Для выявления изменения значений экспериментальных данных, построены графики зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора и частоты вращения ротора вискозиметра. Показано на рисунке 3,4,5,6. Диапазон исследуемых температур был выбран от 20 до 50 °С, так как при температурах ниже 20 °С водный раствор гелеобразующей смеси загустевает и соответственно перестает течь через форсунку, а при температурах выше 50 °С пробиотики погибают.

При определении вязкости в вискозиметре Брукфильда постоянный режим выходит после частоты вращения ротора от $0,333 \text{ с}^{-1}$ до $0,833 \text{ с}^{-1}$.

Показано на рисунке 3 - 4 с раствором альгината натрия, на графике зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора при частоте вращения ротора вискозиметра $0,833 \text{ с}^{-1}$ и $0,333 \text{ с}^{-1}$ в экспериментальной установке для получения капсул, вязкость значительно увеличивается при понижении температуры, а по мере увеличения концентрации вязкость гелеобразующей смеси увеличивается.

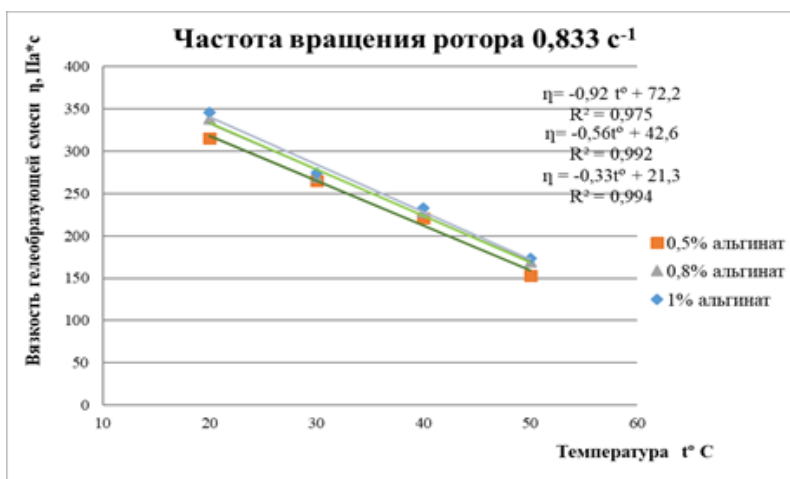


Рис.3 -Зависимость вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора и количества альгината натрия частоты вращения ротора 0,833 с⁻¹

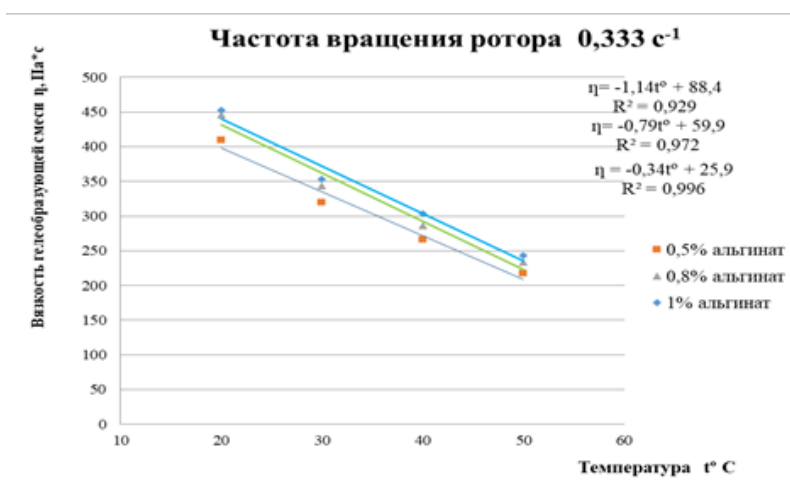


Рис. 4 - Зависимость вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора и количества альгината натрия частоты вращения ротора 0,333 с⁻¹

Зависимость вязкости гелеобразующей смеси от концентрации раствора альгината натрия при различных температурах, из графиков на рисунке 5 - 6 видно, что при температурах 40 и 50 С° величина вязкости незначительно изменяется для частоты вращения ротора, но для предотвращения гибели пробиотических микроорганизмов не рекомендуется использовать температуру выше 50 С°. Исходя из всего этого, наиболее подходящая температура для использования раствора составляет 40 С°.

В условиях напряженного состояния, при приложении силы, поведение неньютоновских жидкостей характеризуется напряжением, геометрическими размерами канала и скоростью истечения жидкости [12].

Модели, которые характеризуются упругостью и вязкостью, составляют совокупность тел механической модели реологического тела продукта. Их деформационное поведение описывается реологическими уравнениями [12, с.14].

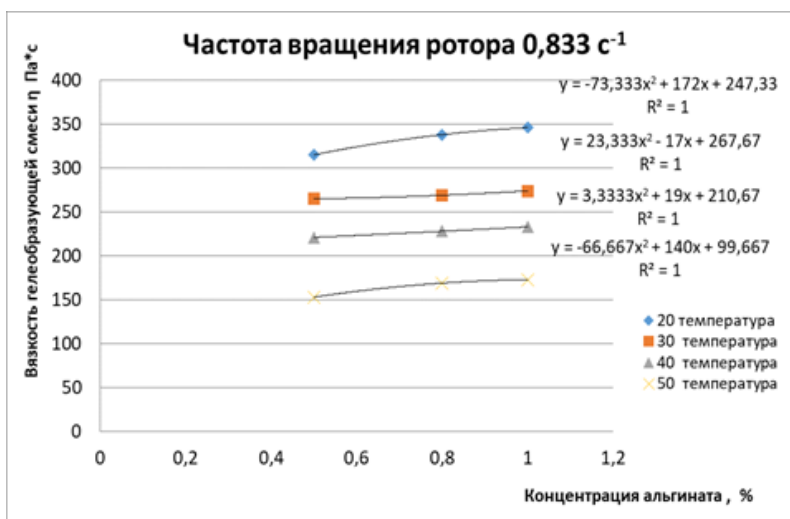


Рис. 5 - Зависимость вязкости гелеобразующей смеси от концентрации раствора альгината натрия при различных температурах

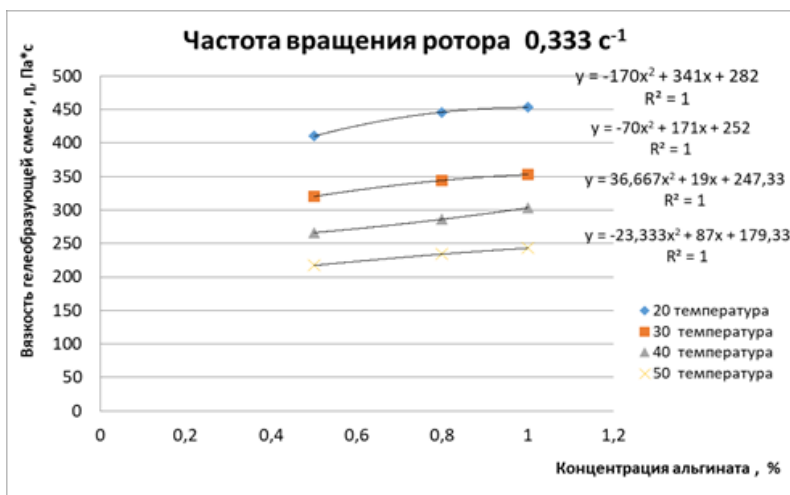


Рис. 6 - Зависимость вязкости гелеобразующей смеси от концентрации раствора альгината натрия при различных температурах

Гелеобразное сырье при нагнетании давления с помощью шестеренчатого насоса испытывает мгновенно-упругую деформацию (G) и в дальнейшем, при напряжении превышающем предел текучести (θ_t), вязкопластическую (η) деформацию. Под действием давления и испытываемых деформаций, гелеобразное сырье попадает в форсунку, разбрызгивается, в дальнейшем образует микрокапсулы.

Используя механические модели Бингама [12, с.18], Шведова [13], Шоффилда-Скоттблера [14], Пелега [15] и проведения обоснования с

целью описания поведения гелеобразного сырья при механическом воздействии, можно получить механическую модель реологического тела. Данная модель реологического тела представляет собой модель Бюргера [16] в соответствии с рисунком 7 [10, с.9; 12, с.20], т.е. последовательную механическую модель вязко - упругого релаксирующего тела Максвелла и вязко - упругого тела Кельвина – Фойгта для гелеобразной среды.

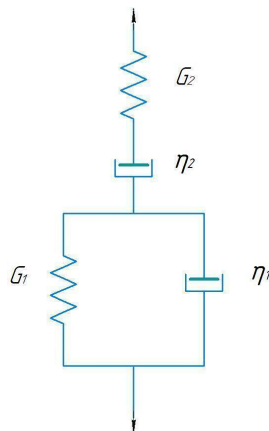
Таким образом, общая деформация гелеобразного сырья для данной модели представляет собой сумму деформаций тела Максвелла и элемен-

та, моделирующего поведение сырья, которое отражает явление упругого последствия, представляющее собой изменение упругой деформации с течением времени

$$\Delta\gamma = \Delta\gamma_M + \Delta\gamma_K \quad (1)$$

где, $\Delta\gamma_M$ – деформация модели Максвелла;

$\Delta\gamma_K$ – деформация модели Кельвина – Фойгта



G_1 - модуль мгновенной эластичной деформации, Па; G_2 - модуль замедленной упругой деформации, Па; η_1 – ньютоновская вязкость, Па·с; η_2 –пластическая вязкость при сдвиге, Па·с

Рис. 7 – Механическая модель Бюргера

Производная по времени от левой и правой частей уравнения (1) имеет вид:

$$\frac{d\gamma}{d\theta} = \frac{d\gamma_M}{d\theta} + \frac{d\gamma_K}{d\theta} \quad (2)$$

Реологическое уравнение модели Максвелла [12, с.17] определяет величину $\frac{d\gamma_M}{d\theta}$:

$$\frac{d\gamma_M}{d\theta} = \frac{1}{G_1} \frac{\theta}{d\theta} + \frac{\theta \cdot t}{\eta_1} \quad (3)$$

Величина $\frac{d\gamma_K}{d\theta}$ определяется реологическим уравнением модели Кельвина - Фойгта:

$$\frac{d\gamma_K}{d\theta} = \left(\frac{\theta}{G_2 \cdot d\theta} \right) \cdot [1 - e^{(-G_2 \cdot t / \eta_2)}] \quad (4)$$

Подставляя это значение в выражение (2) получим уравнение Бюргера для гелеобразного сырья [12, с.19]:

$$\dot{\gamma} = \frac{\theta}{G_1} + \frac{\theta \cdot t}{\eta_1} + \left(\frac{\theta}{G_2} \right) \cdot [1 - e^{(-G_2 \cdot t / \eta_2)}] \quad (5)$$

где $\dot{\gamma}$ – градиент скорости, c^{-1} ; G_1 - модуль мгновенной эластичной деформации, Па; G_2 - модуль замедленной упругой деформации, Па; η_1 – ньютоновская вязкость, Па·с; η_2 –пластическая вязкость при сдвиге, Па·с; θ – касательное напряжение, Па; t – время, с.

Полученная математическая модель с достаточной точностью позволит описать процесс истечения гелеобразной жидкости из форсунки для экспериментальной установки. Представленная модель применима к установкам с подобным принципом действия, вне зависимости от их габаритов [10, с.10].

Для получения микрокапсул эксперимент проводили с применением форсунки с выходным отверстием $d = 1,2 \times 10^{-3} \text{ м}$ [10, с.6-7].

При концентрации 0,5% альгината натрия полученные капсулы имеют округлую, но не всегда правильную форму и однородную структуру, мягкую консистенцию, легко разрушаются при физическом воздействии и имеют средний размер $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.



Рис. 8- Микрокапсула 0,5% альгинат натрия

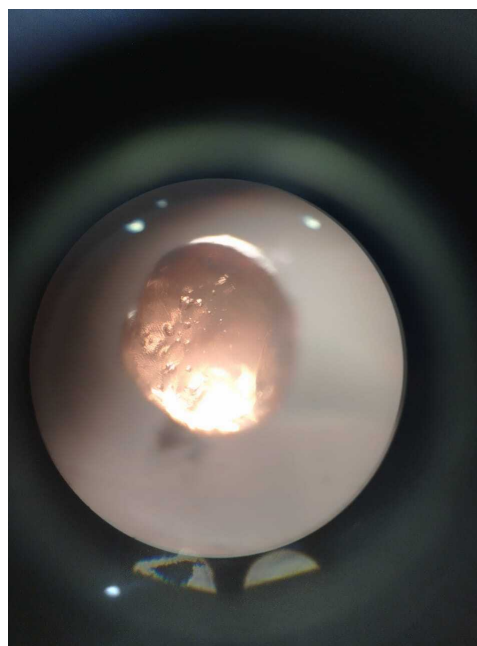


Рис. 9 -Микрокапсула 0,8% альгинат натрия

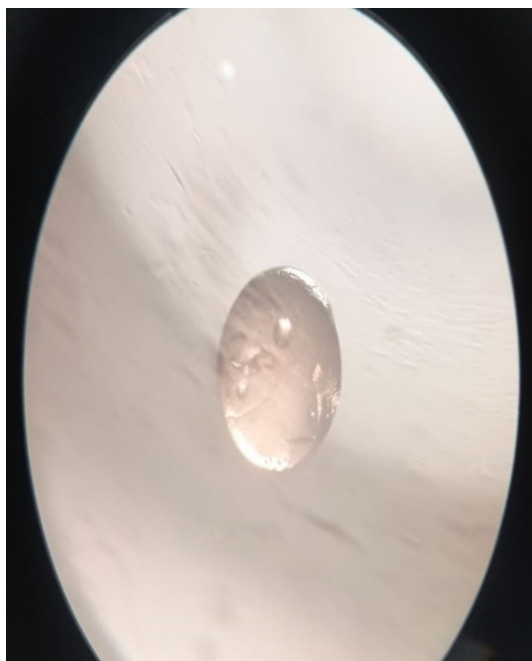


Рис.10- Микрокапсула 1 % альгинат натрия

При концентрации 0,8% альгината натрия полученные капсулы имеют округлую форму и однородную структуру, мягкую консистенцию, легко разрушаются при физическом воздействии и имеют средний размер $1,3 \times 10^{-3}$ м.

При концентрации 1% альгината натрия полученные капсулы имеют округлую форму и одно-

родную структуру, мягкие на ощупь, но устойчивые при физическом воздействии и имеют средний размер составил $1,4 \times 10^{-3}$ м

Проводя анализ капсул, можно сделать вывод: что наиболее оптимальным вариантом является состав раствора, содержащий 1% альгинат натрия. Капсулы, изготовленные из этого раство-

ра, имеют красивую округлую форму, одинаковый размер, мягкую консистенцию, но устойчивую для физического воздействия.

Выводы. В настоящее время микрокапсулы стали применяться в сельском хозяйстве, фармацевтике в различных отраслях промышленности. При проведении экспериментов использовали в качестве распылителя пластиковую форсунку с выходным диаметром $d=1,2 \times 10^{-3}$ м. Для экспериментов готовили растворы в концентрациях 0,5%, 0,8%, 1% альгината. Для подбора оптимальных размеров капсул построены графики зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора и скорости вращения вис-

козиметра ротора. Исследуемый диапазон температур выбирался от 20 до 50 °С. Для определения изменения значений экспериментальных данных построены графики зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора и концентрации раствора при различных температурах.

В конечном итоге, получили округлые капсулы, содержащие пробиотик *Propionibacterium freudenreichii*, которые могут быть использованы в дальнейших технологических процессах при получении пищевых продуктов лечебно-профилактического действия или при получении фармакологических препаратов.

Литература

1. Жумадилова Г. А. Исследование процесса инкапсулирования пробиотиков с целью создания оборудования: дисс ... PhD - 6D072400. - Семей: НАО «Университет имени Шакарима города Семей», 2020.- 131с.
2. Какимов А.К., Ибрагимов Н.К., Муратбаев А.М., Джумажанова М.М., Жумадилова Г.А. Инкапсулирование в пищевой промышленности // Пищевые инновации и биотехнологии: сборник тезисов VII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Т. 1. Технологии пищевых производств, качество и безопасность / под общ. ред. А. Ю. Просекова: ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».-Кемерово, 2019. - С. 153-154.
3. A.Kakimov, Kakimova Zh., Mirasheva G., Bereyeva A., Toleubekova S., Jumazhanova M., Zhumadilova G., Yessimbekov Zh. Amino Acid Composition of Sour-milk Drink with Encapsulated Probiotics // Annual Research & Review in Biology.- 2017.- Vol.18(1).- P.1-7. DOI 10.9734/ARRB/2017/36079
4. Какимов А.К., Какимова Ж.Х., Бепеева А.Е., Джумажанова М.М, Жумадилова Г.А. Безопасность, функциональные и технологические свойства пробиотических бактерий // Сборник научных трудов, посвященный 60-летию отдела сибниис федеральное государственное бюджетное научное учреждение Фанца. Актуальные проблемы техники и технологии переработки молока, Барнаул: 2018.- С.- 162-165
5. Муратбаев А. М. Капсулаланған биологиялық белсенді қоспаларды қолданып өндірілген, тамақ өнімдерінің қауіпсіздігін қамтамасыз етудің тәжірибелік аспектілері: дисс. ...PhD - 6D073500. – Семей: Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, 2021. – 169 с.
6. Burgain J., Gaiani C., Linder M., Scher J. Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications// Journal of Food Engineering.-2011.-Vol.104(4) - P.467–483. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2010.12.031
7. Rowley J.A., Madlambayan G., Mooney D.J. Alginate hydrogels as synthetic extracellular matrix materials//Biomaterials.- 1999.-Vol. 20 (1).- P. 45- 53. DOI 10.1016/s0142-9612(98)00107-0
8. Krasaekoopt W., Bhandari B., Deeth H. Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt //International Dairy Journal.-2003.- Vol.13(1).- P. 3–13. DOI 10.1016/S0958-6946(02)00155-3
9. Cook M.T., Tzortzis G., Charalampopoulos D., Khutoryanskiy V. V. Microencapsulation of probiotics for gastrointestinal delivery. Review// Journal of Controlled Release. - 2012.- Vol.162 - P. 56 - 67. DOI

10.1016/j.jconrel.2012.06.003

10. M. Tashybayeva, A. Kakimov, N. Ibragimov, G. Zhumadilova, A. Muratbayev, M. Jumazhanova, B. Idyryshev, Z. Kapshakbayeva, A. Bepeyeva Optimization of encapsulation parameters for sodium alginate capsules: A study on the effect of temperature and gear pump rotation speed on capsule production and quality// Journal of Food Process Engineering.- 2024- Vol.47(7) DOI 10.1111/jfpe.14687

11. Ташыбаева М.М., Какимов А.К., Майоров А.А., Ибрагимов Н.К., Джумажанова М.М., Жумадилова Г.А., Муратбаев А.М., Бакиева А.Б., Дукенбаев Д.К. Капсулаған өнімдерді өндіруге арналған қондырғы / ҚР пайдалы модельге патенті № 9093, 03.05.2024ж.

12. Мачихин Ю.А., Мачихин С.А. Инженерная реология пищевых продуктов. - М.: Легкая и пищевая промышленность.- 1981.-215 с.

13. Schofield R. K., Scott Blair G. W. The relationship between viscosity, elasticity and plastics strength of a soft material as illustrated by some mechanical properties of flour dough. — Proc. Roy. Soc.-1932. - P. 707- 718.DOI 10.1098/pspa.1933.0038

14. Scott Blair G. W. Psycho-rheology. — J. Texture Studies, 1.- 1970.- P. 231

15. Peleg M. Contact and fracture elements as components of the rheological memory of solid foods. — J. Texture Studies 8, 1977. - P. 39 - 48. DOI 10.1111/j.1745-4603.1977.tb01164.x

16. Шрам Г. Основы практической реологии и реометрии – М.: Колос С, 2003. – 312 с. ISBN 5-9532-0234-2

17. Горбатов А.В., Реология мясных и молочных продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 383 с.

References

1. Zhumadilova G. A. Issledovanie processa inkapsulirovani ja probiotikov s cel' ju sozdani ja oborudovani ja: diss ... PhD - 6D072400. - Semej: NAO «Universitet imeni Shakarima goroda Semej», 2020.- 131s. [in Russian]

2. Kakimov A.K., Ibragimov N.K., Muratbaev A.M., Dzhumazhanova M.M., Zhumadilova G.A. Inkapsulirovanie v pishhevoj promyshlenosti // Pishhevye innovacii i biotehnologii: sbornik tezisov VII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh. T. 1 Tehnologii pishhevyyh proizvodstv, kachestvo i bezopasnost' / pod obshh. red. A. Ju. Prosekova: FGBOU VO «Kemerovskij gosudarstvennyj universitet».-Kemerovo, 2019. - S. 153-154. [in Russian]

3. A.Kakimov, Kakimova Zh., Mirasheva G., Bepeyeva A., Toleubekova S., Jumazhanova M., Zhumadilova G., Yessimbekov Zh. Amino Acid Composition of Sour-milk Drink with Encapsulated Probiotics // Annual Research & Review in Biology.- 2017.- Vol.18(1).- P.1-7. DOI 10.9734/ARRB/2017/36079

4. Kakimov A.K., Kakimova Zh.H., Bepeeva A.E., Dzhumazhanova M.M, Zhumadilova G.A. Bezopasnost', funktsional'nye i tehnologicheskie svoystva probioticheskikh bakterij // Sbornik nauchnyh trudov, posvjashhennyj 60-letiju otdela sibniis federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe nauchnoe uchrezhdenie Fanca. Aktual'nye problemy tehniki i tehnologii pererabotki moloka, Barnaul: 2018.- C.-162-165. [un Kazakh]

5. Muratbaev A. M. Kapsulalanған биологиялық белсенді қоспаларды қолдануға өндірілген, тамақ өнімдерінің қауіпсіздігін қамтамасыз етудің тәжірибелік аспектілері: diss. ...RhD - 6D073500. -Semej: Semej қаласының Шәкәрім атындағы университеті, 2021. -169 с.

6. Burgain J., Gaiani C., Linder M., Scher J. Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications// Journal of Food Engineering.-2011.-Vol.104(4) - P.467–483. DOI 10.1016/j.

jfoodeng.2010.12.031

7. Rowley J.A., Madlambayan G., Mooney D.J. Alginate hydrogels as synthetic extracellular matrix materials//Biomaterials.- 1999.-Vol. 20 (1).- P. 45- 53. DOI 10.1016/s0142-9612(98)00107-0
8. Krasaekoopt W., Bhandari B., Deeth H. Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt //International Dairy Journal.-2003.- Vol.13(1).- P. 3–13. DOI 10.1016/S0958-6946(02)00155-3
9. Cook M.T., Tzortzis G., Charalampopoulos D., Khutoryanskiy V. V. Microencapsulation of probiotics for gastrointestinal delivery. Review// Journal of Controlled Release. - 2012.- Vol.162 - P. 56 - 67. DOI 10.1016/j.jconrel.2012.06.003
10. M. Tashybayeva, A. Kakimov, N. Ibragimov, G. Zhumadilova, A. Muratbayev, M. Jumazhanova, B. Idyryshev, Z. Kapshakbayeva, A. Bereyeva Optimization of encapsulation parameters for sodium alginate capsules: A study on the effect of temperature and gear pump rotation speed on capsule production and quality// Journal of Food Process Engineering.- 2024- Vol.47(7) DOI 10.1111/jfpe.14687
11. Tashybaeva M.M., Kakimov A.K., Majorov A.A., Ibragimov N.K., Dzhumazhanova M.M., Zhumadilova G.A., Muratbaev A.M., Bakieva A.B., Dukenbaev D.K. Kapsulaған өнімдерді өндіруге арналған қондырғы / ҚР пайдaly model'ge patenti № 9093, 03.05.2024zh. [in Russian]
12. Machihin Ju.A., Machihin S.A. Inzhenernaja reologija pishhevyyh produktov. - M.: Legkaja i pishhevaja promyshlennost'.- 1981.-215 s. [in Russian]
13. Schofield R. K., Scott Blair G. W. The relationship between viscosity, elasticity and plastics strenght of a soft material as illustrated by some mechanical properties of flour dough. — Proc. Roy. Soc.-1932. - P. 707- 718.DOI 10.1098/pspa.1933.0038 [in Russian]
14. Scott Blair G. W. Psycho-rheology. — J. Texture Studies, 1.- 1970.- P. 231. [in Russian]
15. Peleg M. Contact and fracture elements as components of the rheolo-gical memory of solid foods. — J. Texture Studies 8, 1977. - P. 39 - 48. DOI 10.1111/j.1745-4603.1977.tb01164.x
16. Shram G. Osnovy prakticheskoy reologii i reometrii – M.: Kolos S, 2003. – 312 s. ISBN 5-9532-0234-2
17. Gorbатов A.V., Reologija mjasnyh i molochnyyh produktov. -M.: Pishhevaja promyshlennost', 1979. - 383 s.

Сведения об авторах

Ташыбаева М.М.-докторант, Университет имени Шакарима города Семей, Казахстан, e-mail: marzhan06081990@gmail.com.

Какимов А.К.- доктор технических наук, профессор, Университет имени Шакарима города Семей, Казахстан, e-mail: bibi.53@mail.ru;

Майоров А.А. - доктор технических наук, профессор ФГБНУ Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Барнаул, Российская Федерация, e-mail: maiorov.alex@mail.ru;

Жумадилова Г.А. - PhD, Университет имени Шакарима города Семей, Казахстан; e-mail: zhumadilovaga@mail.ru.

Information about authors

Tashybayeva M.M. - doctoral student, Shakarim University of Semey, Kazakhstan, e-mail: marzhan06081990@gmail.com;

Kakimov A.K. – doctor of technical sciences, Shakarim University of Semey, Kazakhstan, e-mail: bibi.53@mail.ru;

Mayorov A.A. - doctor of technical sciences, professor federal State Budget Scientific Institution Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnologies , Barnaul, Russian, e-mail: maiorov.alex@mail.ru;
Zhumadilova G.A.- PhD, Shakarim University of Semey, Kazakhstan; e-mail: zhumadilovaga@mail.ru.