

5. Bagaev A.A., Bobrovskiy S.O. Osnovnye polozheniya metodiki kosvennogo izmereniya toka v induktore TVCh ustanovki // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 5 (163). – S. 171-178.

6. Bagaev A.A., Bobrovskiy S.O. Vliyaniye pov-erkhnostnogo effekta na velichinu toka v induktore TVCh ustanovki // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 6 (164). – S. 186-192.

7. Bagaev A.A., Bobrovskiy S.O. Obosnovaniye skhemy zaryadnogo ustroystva emkostnogo nako-pitelya energii kolebatelnogo RLC-kontura dlya opre-deleniya parametrov induktora TVCh ustanovki // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 8 (166). – S. 168-173.

8. Bobrovskiy S.O., Bagaev A.A. Problema otsenki toka i trebovaniya k datchiku toka v induktore

vysokochastotnykh ustanovok // Agrarnaya nauka – selskomu khozyaystvu: sbornik materialov: v 2 kn. / XIV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya kon-ferentsiya (7-8 fevralya 2019 g.). – Barnaul: RIO Altayskogo GAU, 2019. – Kn. 2. – S. 15-16.

9. Bessonov L.G. Teoreticheskie osnovy elektrotekhniki. Uchebnyy dlya studentov energeticheskikh i elektrotekhnicheskikh vuzov. – Izd. 6-e, pererab. i dop. – M.: Vyssh. shkola, 1973. – 752 s., il.

10. Melnikov S.V. Planirovaniye eksperimenta v issledovaniyakh selskokhozyaystvennykh protsessov / S.V. Melnikov, V.R. Aleshkin, P.M. Roshchin. – 2 izd., pererab. i dop. – L.: Kolos. Leningr. otd-nie, 1980. – 168 s.

11. Yuferov F.M. Elektricheskie mashiny avtomaticheskikh ustroystv. – M.: Vyssh. shkola, 1976. – 416 s.



УДК 631.3:636

Г.Е. Кокиева  
G.Ye. Kokiyeva

## ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛКОВО-ВИТАМИННОГО КОНЦЕНТРАТА, ОБЛАДАЮЩЕГО ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

### EQUIPMENT FOR PRODUCTION OF PROTEIN-VITAMIN CONCENTRATE WITH PHARMACOLOGICAL PROPERTIES

**Ключевые слова:** производство белка, разработка оборудования, технология, получение биомассы, лекарственные вещества, заболевание животных, конструкция, массопередача, микробный синтез, технологическая стадия, оборудование, эксперимент, математическая модель, многофазные потоки, установка, интенсивность, перемешивание, скорость протекания процесса, барботер, газосодержание.

Описывается производство кормового белка с помощью микробиологического синтеза. Разработка технологии и оборудования для переработки отходов сельского хозяйства, продуктом чего является кормовой белок, обладающий фармакологической ценностью. Для выяснения механизма поступления питательных веществ, в том числе кислорода в клетку, обычно анализируется каждая стадия фазового перехода и переноса массы. Используется прием основной химической технологии. Микробный синтез осуществляется в ферментаторе новой конструкции. Полное азирование питательной культуральной жидкости по всему объему аппарата обеспечивает массообмен по всему полезному объему ферментатора. Искусственно созданный гидродинамический

режим в аппарате для культивирования микроорганизмов оказывает влияние на скорость протекания всех реакции, которые происходят в процессе культивирования микроорганизмов. Предлагаются математические модели кинетики развития микроорганизмов. Устойчивость и эффективность применяемых численных методов позволяют выполнить дальнейшую модификацию технологии расчета, включая подбор моделей турбулентности, с целью повышения точности расчетов.

**Keywords:** protein production, equipment development, technology, biomass production, medicinal substances, animal disease, design, mass transfer, microbial synthesis, technological stage, equipment, experiment, mathematical model, multiphase flows, installation, intensity, mixing, process flow rate, bubbler, gas content.

This paper describes the production of feed protein using microbiological synthesis. The development of technology and equipment for processing agricultural waste product into feed protein with pharmacological value. To determine the mechanism of nutrient intake, including oxygen into the cell, each stage of the phase transition and mass transfer is usu-

ally analyzed. The method of basic chemical technology is used. Microbial synthesis is carried out in the fermenter of the new design. Complete aeration of the nutrient culture fluid throughout the volume of the apparatus provides mass transfer throughout the useful volume of the fermenter. Artificially created hydrodynamic regime in the apparatus for the cultivation of microorganisms affects the rate of all reactions

that occur during the cultivation of microorganisms. The mathematical models of the kinetics of microbial growth are proposed. The stability and efficiency of the numerical methods used allow further modification of the calculation technology, including the selection of turbulence models in order to improve the accuracy of calculations.

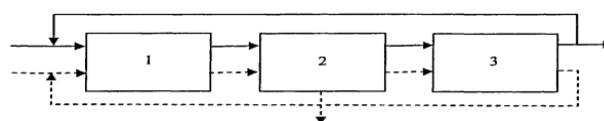
**Кокиева Галия Ергешевна**, д.т.н., проф., каф. «Прикладная механика», Якутская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: kokievagalia@mail.ru.

**Kokiyeva Galiya Yergeshevna**, Dr. Tech. Sci., Prof., Chair of Applied Mechanics, Yakutsk State Agricultural Academy. E-mail: kokievagalia@mail.ru.

### Введение

Одним из ресурсов является производство кормового белка с помощью микробиологического синтеза. Восстановление нарушенных физиологических процессов осуществляется комплексом зоотехнических и ветеринарных мероприятий, в котором большое место занимает рациональное использование лекарственных веществ. На данный момент есть возможность борьбы с заболеваниями животных помимо использования лекарственных средств путём добавления в рацион сельскохозяйственным животным кормового белка, обладающего фармакологическими свойствами. Микробный синтез осуществляется в ферментаторе новой конструкции. Когда разрабатываются все новые и новые конструкции ферментаторов большой единичной мощности, то каждый разработчик считает, что его конструкция наиболее эффективна. В то же время при внедрении аппаратов наблюдается значительное расхождение проектных и фактических технико-экономических показателей.

правильного масштабирования массообмена и гидродинамики возникает при переносе результатов, полученных на опытных установках в лабораториях, на промышленные условия. Для таких сложных систем, какими являются аппараты для культивирования микроорганизмов с протекающими в них процессами, основным источником получения данных для масштабирования пока является эксперимент. Отмечается, что в настоящее время не существует уравнений движения многофазных потоков общего вида; отсутствует возможность задать граничные условия на нестационарной поверхности контакта фаз.



**Рис. Структурная схема аппарата для культивирования микроорганизмов: 1 – зона интенсивной массопередачи; 2 – зона охлаждения; 3 – зона циркуляции**

### Методика исследования

На рисунке приведена структурная схема аппарата для культивирования микроорганизмов, состоящая из трёх зон:

- зона 1 – зона интенсивной массопередачи;
- зона 2 – зона охлаждения, включающая объём биореактора, в корпусе которого находится теплообменник; в этой зоне наряду с массопередачей и биосинтезом происходит охлаждение среды;
- зона 3 – циркуляционная зона; в этой зоне уменьшаются газосодержание среды и интенсивность массопередачи.

В таблице приведены данные культивирования в оборудовании.

Удельное потребление кислорода микроорганизмами зависит от скорости их роста и определяется затратами на образование клеточной структуры и энергетическим обменом. Проблема

Таблица  
Данные культивирования в оборудовании

Время культивирования	$\mu_{max}$		Минимальное время генерации $\varrho_{min}$ , час
	оптическая плотность	количество жизнеспособных клеток	количество жизнеспособных клеток
14	1,3±0,01	0,9±0,004	4,8±0,01
12	1,1±0,07	0,98±0,05	5,9±0,21
14	1,14±0,03	0,77±0,33	14,2±0,3
12	0,1±0,02	0,92±0,02	15,4±0,4
9	0,47±0,02	0,01±0,001	4,0±0,02
10	0,711±0,03	0,62±0,02	5,0±0,1

**Основная часть**

На поверхности культуральной среды в процессе культивирования микроорганизмов образуется пена. Диаметр пенного пузырька  $d_{п}$  определяется размером отверстий в барботере и физико-химическими свойствами культуральной жидкости:

$$d_{п} = \sqrt[3]{\frac{6d_0\sigma}{q(\rho_{ж}-\rho_r)}} \quad (1)$$

где  $d$  – диаметр отверстия;

$\sigma$  – поверхностное натяжение;

$q$  – ускорение свободного падения;

$\rho_{ж}$  – плотность жидкости;

$\rho_r$  – плотность газа.

Тогда количество пузырьков:

$$n = \frac{6V_r}{\pi d_{п}^3} \quad (2)$$

где  $V_r$  – общий объемный расход воздуха при нормальных условиях.

При исследовании процесса абсорбции кислорода в питательной среде различной вязкости для расчета газосодержания принято уравнение:

$$\frac{\varphi}{(1-\varphi)^4} = 0,2 \left( \frac{D^2 * \rho_{ж} * g}{\sigma} \right)^{0,62} * \left( \frac{D^3 * \rho_{ж}^2 * g}{\mu_{ж}} \right)^{\frac{1}{12}} * \frac{W_r}{(D * g)^{0,5}} \quad (3)$$

где  $D$  – диаметр аппарата.

На данный период времени рядом ученых проведены систематические исследования [5-8] и даны рекомендации для определения  $\varphi$  следующей зависимостью:

$$\varphi = \frac{1}{2 + \left( \frac{0,35}{W_r} \right) \left[ \left( \frac{P_{ж}}{l} \right) \left( \frac{\sigma}{792} \right) \right]^{1/3}} \quad (4)$$

При исследовании газосодержания в рециркуляционной колонне диаметром  $\square 0,15$  м и высотой  $H=10,5$  м авторами [4, 7] было получено следующее уравнение:

$$\varphi = W_r (0,24 + 1,35 W_{см}^{0,93})^{-1} \quad (5)$$

По данным [9, 10] при исследованиях на модели аппарата, изготовленной из стеклянных труб высотой 3 м и диаметрами 0,055; 0,08 и 0,11 м, получена зависимость, которая позволяет определять скорость жидкости в транспортных Эрлифтах (газлифтах):

$$W_{ж} = \sqrt{\frac{2gH}{\xi} \left( \frac{h}{H} - 1 + \varphi_{сп} \right) (1 - \varphi_{сп})} \quad (6)$$

Здесь  $\xi$  – суммарное гидравлическое сопротивление эрлифта, равное:

$$\xi = 0,5 + \lambda \frac{H}{d} \left( \frac{1 - \varphi_0}{1 - \varphi_{сп}} \right) 0,5 + \left( \frac{1 - \varphi_{сп}}{1 - \varphi_0} \right) 0,2, \quad (7)$$

где  $\lambda$  – коэффициент гидравлического трения при движении в трубе жидкости с той же приведенной скоростью;

$\varphi_0$  – газосодержание в месте выхода потока из эрлифта.

Для расчёта  $W_{ж}$ , по данным [3, 4-9], рекомендуется использовать уравнение Бернулли, преобразованное для циркуляционного контура, следующего вида:

$$H(\rho_{ж} - \rho_r)\varphi * g = \Delta P_b + \Delta P_{ц}. \quad (8)$$

При давлении до 4 мпа на среде со свойствами, близкими к свойствам системы «вода-воздух», и соотношении барботажных и циркуляционных зон  $f_b \cdot f_{ц}^{-1} = 1$ , приближенном к значению приведенной скорости жидкости, этими же авторами предлагается рассчитать  $W_{ж}$  по упрощенному уравнению:

$$W_{ж} = 3,5 \left[ \frac{H * \beta}{\xi k} * \left( \frac{\Delta \rho}{\rho_r} \right)^{0,125} \right]^{0,5}, \quad (9)$$

где  $\xi k = 5,1 + 0,03 \left( \frac{H}{d_b} + \frac{H}{d_{ц}} \right)$  – коэффициент сопротивления циркуляционного контура.

Исследованию процессов абсорбции кислорода в ферментаторах посвящен ряд работ [1, 7, 11].

Если рассматривать данный случай при плохорастворимом газе (кислород), значения  $m_{рс}$  и  $K_r$  велики, и диффузионным сопротивлением в газовой фазе можно пренебречь, соблюдается равенство:

$$\frac{1}{K_L a} \gg \frac{1}{K_r m_{рс}} \quad (10)$$

Откуда следует:

$$k \approx K_L a. \quad (11)$$

Левый член уравнения:  $\frac{a^2 M}{a V_p a t} = \kappa (C_p - C)$ , называющегося скоростью объемного массопереноса кислорода, или скоростью растворения кислорода, для абсорбции кислорода воздуха культуральной жидкостью запишется в следующем виде:

$$\frac{a^2 M}{a V_p a t} = K_L a (C_p - C). \quad (12)$$

Устойчивость и эффективность применяемых численных методов позволяют выполнить дальнейшую модификацию технологии расчета, включая подбор моделей турбулентности, с целью повышения точности расчетов.

### Заключение

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что рациональное сочетание расчета и эксперимента позволяет расширить границы исследований, уменьшить объем экспериментов и значительно ускорить доводочные работы по созданию и совершенствованию перспективных конструкций ферментаторов.

Протекание микробного синтеза в аппаратах разного масштаба в пересчете на единицу объема количества получаемого продукта (биомассы или продуктов метаболизма) будет одинаковым или почти одинаковым в аппаратах разного масштаба. Полное аэрирование питательной культуральной жидкости по всему объема аппарата обеспечивает массообмен по всему полезному объему ферментатора. При масштабировании ферментаторов наряду с геометрическим подобием аппаратов необходимо учитывать и кинетические закономерности развития микроорганизмов. Искусственно созданный гидродинамический режим в аппарате для культивирования микроорганизмов оказывает влияние на скорость протекания всех реакций, которые происходят в процессе культивирования микроорганизмов.

### Библиографический список

1. Кокиева Г.Е. Исследование аппарата для культивирования микроорганизмов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 4. – С. 123-125.
2. Кокиева Г.Е. Исследование зависимости роста микробных клеток от концентрации биомассы в процессе получения кормовых дрожжей // Научно-технический вестник Поволжья. – 2016. – № 3. – С. 31-33.
3. Кокиева Г.Е., Шагдыров И.Б., Шапошников Ю.А. Роль кислорода при моделировании аппарата для культивирования микроорганизмов // Ползуновский вестник. – 2016. – № 3. – С. 151-155.
4. Кокиева Г.Е. Комплексный подход и анализ эксплуатации оборудования пищевой промышленности, диагностика и повышение долговечности // Потенциал развития отрасли связи Байкальского региона: матер. 3-й регион. науч.-практ. конф. – Улан-Удэ, 2013. – С. 48-50.
5. Кокиева Г.Е. Разработка методики экспериментального изучения масштабирования основных параметров ферментатора // Приволжский научный вестник. – 2014. – № 5. – С. 28-33.

6. Shah, Y.T., Kelkar, B.G., Godbole, S.P., Deckwer, W. (1982). Design parameters estimations for bubble column reactors. *AIChE J.*, 28: 353-379. doi:10.1002/aic.690280302.

7. Shipley D.G. Paper presented at the Annual Research Meeting of the Ints. Chem. Eng., Bradford, 1975.

8. Stankiewicz K., Skiba M. Nowoczesne fermentory typu "airlift". *Przemysl fermentacyjny i owocowarzynny*, 1981, No. 7, p. 9-13.

9. Vieth W.R., Porter J.H., Sherwood T.K. Mass Transfer and Chemical Reaction in a Turbulent Boundary Layer. *Ind. Eng. Chem. Fund.* 1963, 2, 1, 1-3.

10. Eienkel, W.D. Sink- und Umwahrleistung beim Suspendieren im Ruhrwerk. *Chemie Ingenieur Technik*. 1995. V. 67, No. 8. S. 1000-1003.

### References

1. Kokieva, G.Ye. Issledovanie apparata dlya kultivirovaniya mikroorganizmov // Nauchno-tehnicheskiy vestnik Povolzhya. – 2014. – No. 4. – S. 123-125.
2. Kokieva, G.Ye. Issledovanie zavisimosti rosta mikrobykh kletok ot kontsentratsii biomassy v protsesse polucheniya kormovykh drozhzhey // Nauchno-tehnicheskiy vestnik Povolzhya. – 2016. – No. 3. – S. 31-33.
3. Kokieva, G.Ye. Rol kisloroda pri modelirovanii apparata dlya kultivirovaniya mikroorganizmov / G.Ye. Kokieva, I.B. Shagdyrov, Yu.A. Shaposhnikov // Polzunovskiy vestnik. – 2016. – No. 3. – S.151-155.
4. Kokieva, G.Ye. Kompleksnyy podkhod i analiz ekspluatatsii oborudovaniya pishchevoy promyshlennosti, diagnostika i povyshenie dolgovechnosti // Potentsial razvitiya otrasli svyazi Baykalskogo regiona. Materialy 3-ey Regionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Ulan-Ude, 2013. – S. 48-50.
5. Kokieva, G.Ye. Razrabotka metodiki eksperimentalnogo izucheniya mashtabirovaniya osnovnykh parametrov fermentatora // Privolzhskiy nauchnyy vestnik. – 2014. – No. 5. – S. 28-33.
6. Shah, Y.T., Kelkar, B.G., Godbole, S.P., Deckwer, W. (1982). Design parameters estimations for bubble column reactors. *AIChE J.*, 28: 353-379. doi:10.1002/aic.690280302.
7. Shipley D.G. Paper presented at the Annual Research Meeting of the Ints. Chem. Eng., Bradford, 1975.
8. Stankiewicz K., Skiba M. Nowoczesne fermentory typu "airlift". *Przemysl fermentacyjny i owocowarzynny*, 1981, No. 7, p. 9-13.



9. Vieth W.R., Porter J.H., Sherwood T.K. Mass Transfer and Chemical Reaction in a Turbulent Boundary Layer. *Ind. Eng. Chem. Fund.* 1963, 2, 1, 1-3.

10. Einenkel, W.D. Sink- und Umwalleistung beim Suspendieren im Ruhrwerk. *Chemie Ingenieur Technik.* 1995. V. 67, No. 8. S. 1000-1003.



УДК 553.937:628.336.4

**В.Г. Игнатенков, М.Б. Тельпук, Е.Л. Лаппо,  
В.В. Шлапаков, Е.А. Иванов**  
**V.G. Ignatenkov, M.B. Telpuk, Ye.L. Lappo,  
V.V. Shlapakov, Ye.A. Ivanov**

## ИНЕРЦИОИД ДЛЯ БЫСТРОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ САПРОПЕЛЯ

### INERTIOID FOR QUICK DEHYDRATION OF SAPROPEL

**Ключевые слова:** сапропель, витаминно-кормовая добавка, обезвоживание, инерциоид, сетка, корзина, влага, угол, нетканый материал.

Одним из направлений развития сельского хозяйства, в частности животноводства, является использование природных минеральных ресурсов в кормопроизводстве. Одним из таких ресурсов является озерный сапропель. Целесообразно применять сапропель в качестве базового компонента витаминно-кормовой добавки (сапропеля и выращенной на нем зеленой массы молодых побегов ячменя) и использовать этот сапропелерастительный продукт в зимний период содержания животных в качестве добавки к основному рациону питания. Основная причина ограниченного применения сапропеля – его высокая влажность, получаемая в процессе добычи, достигающая 97%, в то же время наиболее дорогостоящим процессом обработки сырого сапропеля является его обезвоживание. Определенные границы по влажности при производстве витаминно-кормовой добавки (70-80%) обуславливают необходимость снижения влажности сапропеля перед использованием. Одним из возможных путей снижения влажности, на наш взгляд, является использование инерциоида для быстрого обезвоживания природного сапропеля. Инерциоид состоит из конической корзины в виде усеченного конуса с ребрами жесткости, которые также являются каркасом для крепления нетканого материала, обтянутого сеткой и пропускающего

жидкую фракцию сапропеля при вращении (вода). Твердая составляющая сапропеля под воздействием центробежной силы поднимается вверх и выбрасывается через выгрузное окно.

**Keywords:** sapropel, vitamin feed supplement, dehydration, inertioid, network, drum, moisture, angle, nonwoven fabric.

A trend in agriculture development, particularly in livestock breeding, is the use of natural mineral stuffs in feed production. Lake sapropel is one of such raw materials. It is practical to use sapropel as the basic component of vitaminized feed supplements (sapropel and barley green sprouts grown on it) and feed this sapropel-and-plant product to animals in winter as a feed supplement to the basic diet. One of the limiting factors is high moisture content (up to 97%) of sapropel and a high cost of its dehydration. The existing moisture content limits (70-80%) to produce the vitaminized feed supplements require dehydration of raw sapropel. One of the ways is the use of an inertial installation for quick natural sapropel dehydration. The inertioid consists of a truncated cone-formed drum reinforced with ribs that also serve as a frame to fix the nonwoven fabric covered with a network that lets leaking of the sapropel liquid fraction down (water) when rotated. The solid fraction under the centrifugal force moves up and is thrown out through a discharge window.

**Игнатенков Валерий Геннадьевич**, к.т.н., доцент каф. «Эксплуатация и ремонт МТП», Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: well\_79@mail.ru

**Тельпук Михаил Борисович**, к.т.н., доцент каф. «Эксплуатация и ремонт МТП», Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: telpook@vgsa.ru.

**Лаппо Евгений Леонидович**, аспирант, Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: evgenij\_lappo@yantex.ru.

**Ignatenkov Valeriy Gennadyevich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Machinery and Tractor Fleet Operation and Repair, Velikiye Luki State Agricultural Academy. E-mail: well\_79@mail.ru.

**Telpuk Mikhail Borisovich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Machinery and Tractor Fleet Operation and Repair, Velikiye Luki State Agricultural Academy. E-mail: telpook@vgsa.ru.

**Lappo Yevgeniy Leonidovich**, post-graduate student, Velikiye Luki State Agricultural Academy. E-mail: evgenij\_lappo@yandex.ru.