

**Кокиева Галия Ергешевна,**

*д-р техн. наук;*

**Филатов Александр Семенович,**

*канд. с.-х. наук, декан инженерного факультета*

*ФГБОУ ВО Якутская ГСХА,*

*г. Якутск, Республика Саха (Якутия), Россия*

## **СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОНИКНОВЕНИЯ КИСЛОРОДА В КЛЕТКУ**

Адекватность работы аппарата и протекающего в нем физического процесса описывается при помощи экспериментального исследования. В связи с этим был проведен численный многофакторный эксперимент, адекватно описывающей процесс, эксперимент проводился при трех сочетаниях элементов.

**Ключевые слова:** физический процесс, технология, многофакторный численный эксперимент, дифференциальные уравнения.

Математическую модель проникновения кислорода в клетку можно представить в виде дифференциальных уравнений:

$$dO = K_1(O_{\text{раб}} - O_{\text{рав}}) dF D \tau, \quad (1)$$

где:  $O$  – количество кислорода, переходящего из воздушного потока в культуральную среду, кг;

$K_1$  – коэффициент массопередачи при абсорбции кислорода, кг  $O_2$ / м<sup>2</sup>ч (кг  $O_2$  м<sup>-3</sup>);

$O_{\text{раб}}$  и  $O_{\text{рав}}$  – рабочая и равновесная концентрация кислорода в культуральной среде, кг  $O_2$  м<sup>-3</sup>;

$F$  – поверхность контакта фаз, м<sup>2</sup>;

$\tau$  – время абсорбции, ч.

Предполагая, что распространение малых возмущений в газожидкостной смеси происходит баротропно, возьмём от обеих частей производную по  $P$ :

$$\frac{dp}{dp} = \alpha \frac{dp}{dp} + (1-\alpha) \frac{dp}{dp} + \frac{dp_{ж}}{dp} + (p_{г} - p_{ж}) \frac{dp}{dp}. \quad (2)$$

Тогда будем иметь:

$$\frac{1}{a^2} = \frac{\alpha}{a_{г}^2} + \frac{(1-\alpha)}{a_{ж}^2} - \frac{\alpha(1-\alpha)p_{г}}{P} + \frac{\alpha(1-\alpha)p_{г}}{P_{ж}d^2} + \frac{\alpha(1-\alpha)p_{ж}}{p} - \frac{\alpha(1-\alpha)}{a^2_{ж}}. \quad (3)$$

Принимая во внимание, что:

$$p_{г} \ll p_{ж}, a_{г} \ll a_{ж} \text{ и } p_{г}d_{г}^2 \ll P_{ж}d_{ж}^2, \quad (4)$$

получим следующую зависимость:

$$\frac{1}{a^2} = \frac{\alpha^2}{d^2} + \frac{(1-\alpha)^2}{d_{ж}^2} + \frac{\alpha \cdot (1-\alpha) \cdot p_{ж}}{P}. \quad (5)$$

На рис. 1 приведена структурно-логическая схема экспериментального исследования [2]. Производительность ферментатора рекомендуется рассчитывать учетом поправки по формуле:

$$Q = 0,244 \cdot 10^{-6} V_{пр} 10^6 (n_1^{0,07} \cdot r^{0,105} \rho^{0,58}), \text{ кг/с} \quad (6)$$

$$Q = 0,000878 \cdot V_{пр} (n_1^{0,07} \cdot r^{0,105} \rho^{0,58}), \text{ кг/ч} \quad (7)$$

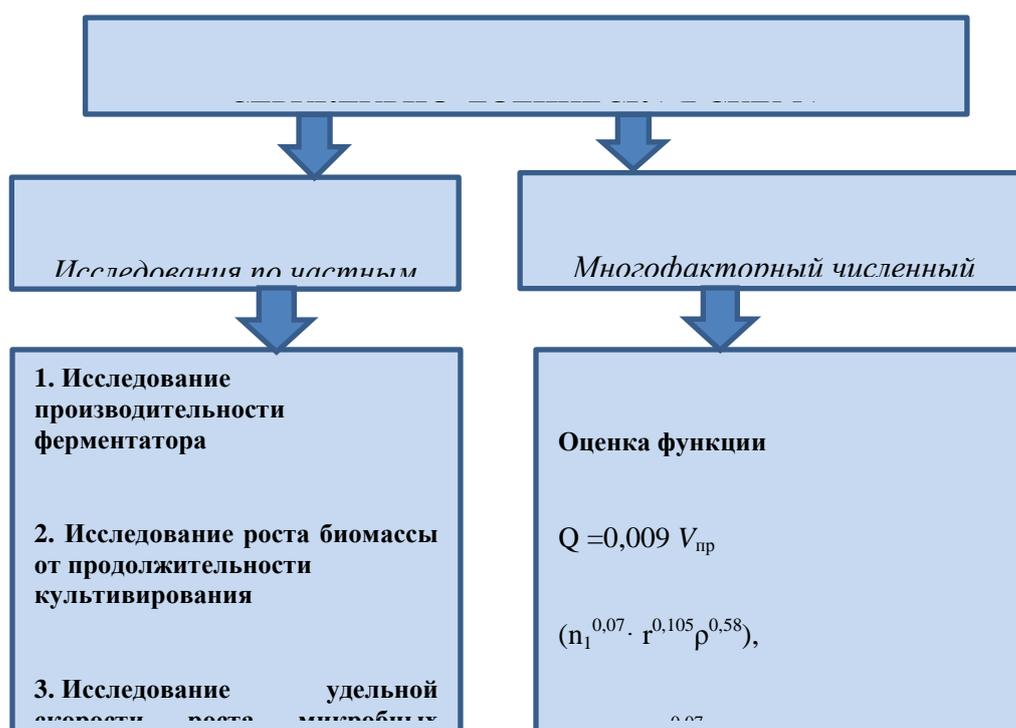


Рисунок 1 – Структурно-логическая схема экспериментального исследования

Многофакторный эксперимент проведен по программе «Статистика 6» по модулю «Фиксированные нелинейные модели». В результате получены следующие данные (Таблица 1):

Таблица 1 – Данные многофакторного эксперимента по модулю «Фиксированные нелинейные модели», программа «Статистика 6»

Model is:  $Var4 = b_0 + b_1Var1 + b_2Var2 + b_3Var3 + b_{11}Var1^2 + b_{22}Var2^2 + b_{33}$  (Spreadsheet1)

Dep. Var.:  $Var4 = b_{13}Var1 * Var3 + b_{23}Var2 * Var3$

Caution: Degenerated result, the values may not correct!!!

	оценка	стандарт	t-value	p-level	Lo. Conf	Up. Conf
<b>b0</b>	19,82	207478664	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>b1Var1</b>	-1158,13	141734916	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>b2Var2</b>	79,27	321424579	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>b3Var3</b>	-1158,13	0	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>b11Var1</b>	595,36	0	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>b22Var2</b>	598,94	0	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>b33Var3</b>	-61,07	70867458	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>b12Var1</b>	0,02	0	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>b13Var1</b>	0,06	5022259	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>b23Var2</b>	0,06	5022259	0,00	0,00	0,00	0,00

Уравнение регрессии в кодовом варианте:

$$Var4 = 19,82 - 1158,13Var1 + 79,27Var2 - 1158,13Var3 + 595,36Var1^2 + 598,94Var2^2 - 61,07Var3^2 + 0,06Var1 * Var3 + 0,06Var2 * Var3 \quad (8)$$

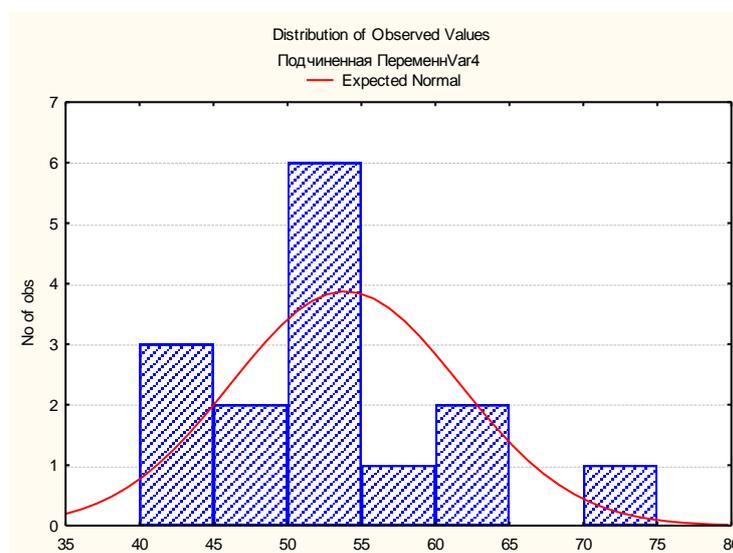


Рисунок 2 – Гистограмма измеренных данных



Рисунок 3 – Гистограмма остатков

**Вывод:** Приведена структурно-логическая схема экспериментальных исследований. Полученные графики показывают, что производительность имеет оптимум при нулевых значениях всех факторов, то есть в кодовом варианте оптимум составляет по числу, по удельному потреблению кислорода, по объемной массе субстрата [1; 3; 4].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кокиева Г.Е. Разработка методики экспериментального изучения масштабирования основных параметров ферментатора / Г.Е. Кокиева // Приволжский научный вестник. – 2014. – № 5. – С. 28-33.
2. Кокиева Г. Е. Эксплуатация ферментатора в сельском хозяйстве: монография / Г.Е. Кокиева-Барнаул, 2016. – 120 с.
3. Кокиева Г.Е. Система автоматизации регулирования работоспособности оборудования (аппарат для культивирования микроорганизмов): монография / Г.Е. Кокиева, И.Б. Шагдыров, Ю.А. Шапошников. – Барнаул, 2016. – 116 с.
4. Черноруцкий И.Г. Методы оптимизации в теории управления: Учебное пособие. – СПб.: Питер. – 2004. – 256 с.