

Таблица 1 – Изменение сопротивления мембраны в зависимости от плотности тока и времени испытания

Тип мембраны,	Плотность тока, А/м <sup>2</sup>	Время испытания, ч					Изменение сопротивления, Ом/м	Скорость старения, Ом/(м <sup>2</sup> ·ч)
		0	3	6	9	12		
		Сопротивление мембраны, Ом						
Бельтинговая ткань	0	100	100	100	100	100	0	0
	440	100	105	110	116	117	4,56	0,38
	730	100	108	114	117	118	4,80	0,40
	1020	100	110	115	119	120	5,04	0,42
МК-40	0	165	165	165	165	165	0	0
	440	150	165	180	195	196	12,00	1,00
	730	150	170	187	200	201	13,20	1,10
	1020	150	175	194	204	205	13,44	1,12
МА-40	0	165	165	165	165	165	0	0
	440	165	185	205	219	220	15,60	1,30
	730	165	190	213	225	225	16,20	1,35
	1020	165	195	218	228	230	17,16	1,43

**Зяц Е.М., д.т.н., профессор, Янко М.В.**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь*

### **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СКОРОСТИ РОСТА ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ДРОЖЖЕЙ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE***

На скорость роста аэробных микроорганизмов влияет множество факторов. В частности, скорость роста хлебопекарных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* зависит от концентрации кислорода в среде, концентрации питательных веществ, состава питательного раствора, температуры среды и диффузии ионов питательных веществ через поры мембраны клетки, [1].

В соответствии с законом Фика скорость изменения концентрации веществ внутри клетки с учетом влияния  $Eh$  среды можно представить в виде:

$$\frac{dS_1}{d\tau} = \frac{D_\phi}{h} \pi R_c^2 \frac{4x}{3\pi R_c^3} (S - S_1) = \frac{4 D_\phi x}{3 h R_c} (S - S_1), \quad (1)$$

где  $S_1$  – концентрация вещества в клетке, кг/м<sup>3</sup>;  $\tau$  – время, с;  $D_\phi$  – скорость диффузии ионов питательных веществ через поры мембраны клетки;  $h$  – толщина диффузионного слоя, м;  $\pi R_c^2$  – площадь поверхности

клетки,  $m^2$ ;  $x$  – объем клеточной массы в единице объема среды  $m^3/m^3$ ;  
 $\frac{3}{4}\pi R_c^3$  – объем одной клетки  $m^3$ ;  $S$  – концентрация вещества в среде,  
 $\kappa z/m^3$ ;  $\frac{3}{4}\frac{x}{\pi R_c^3}\frac{D_\phi}{h}(S - S_1)\pi R_c^2$  – коэффициент массопередачи,  $l/c$ .

Система дифференциальных уравнений, описывающих процессы биосинтеза в процессе выращивания хлебопекарных дрожжей с учетом (1) имеет вид [2]:

$$\begin{cases} \frac{dx}{d\tau} = \mu_m \frac{xS_1}{S_1 + K_S}, \\ \frac{dS_1}{d\tau} = \frac{4}{3}\frac{D_\phi x}{hR_c}(S - S_1) - \alpha\mu_m \frac{xS_1}{S_1 + K_S}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $K_S$  – субстратная константа,  $\kappa z/m^3$ ;  $\mu_m$  – удельная скорость роста хлебопекарных дрожжей,  $l/c$ ;  $\alpha$  – коэффициент диссоциации основных и кислотных группы в водном растворе,

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_\alpha K_\beta}{K_w}}, \quad (3)$$

где  $K_\alpha, K_\beta, K_w$  – константы диссоциации кислотной, основной групп и воды, соответственно.

Из стационарного решения следует, что

$$(S - S_1)(S_1 + K_S) - \frac{3\alpha\mu_m hR_c S_1}{4D_\phi} = 0, \quad (4)$$

$$K_S S + \left( S - K_S - \frac{3\alpha\mu_m hR_c}{4D_\phi} \right) S_1 - S_1^2 = 0, \quad (5)$$

откуда

$$S_1 = \frac{A}{2} + \sqrt{\frac{A^2}{4} + K_S S}, \quad (6)$$

где

$$A = S - K_S - \frac{3\alpha\mu_m hR_c}{4D_\phi}. \quad (7)$$

Скорости диффузии ионов питательных веществ через поры мембраны дрожевой [1]:

$$D_{\phi} = D_0 \cdot e^{\left(\frac{eF\phi_n}{RT}\right)}, \quad (8)$$

где  $D_0$  – коэффициент диффузии питательного вещества через мембрану клетки и в среде,  $m^2 / c$ ;  $e$  – эмпирический коэффициент;  $\phi_n$  – потенциал на входе в пору мембраны клетки,  $B$ ;  $F$  – число Фарадея,  $Kл / моль$ ;  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $Дж / (моль \cdot K)$ ;  $T$  – температура,  $K$ .

Подставив (8) в (7) получим:

$$A = S - K_s - \frac{\mu_m}{K_0 \cdot e^{\left(\frac{eF\phi_n}{RT}\right)}}, \quad (9)$$

$$\text{где } K_0 = \frac{4D_0}{3\alpha h R_c}.$$

Подставив (6) в первое уравнение системы (2) получим уравнение скорости роста хлебопекарных дрожжей, учитывающее влияние Eh среды:

$$\frac{dx}{d\tau} = \mu_m \frac{x \left( \frac{A}{2} + \sqrt{\frac{A^2}{4} + K_s S} \right)}{K_s + \frac{A}{2} + \sqrt{\frac{A^2}{4} + K_s S}}. \quad (10)$$

Предложенная математическая модель определяет зависимость скорости роста хлебопекарных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* от концентрации ионов в среде и скорости диффузии ионов питательных веществ через пору мембраны клетки.

Список использованных источников

1. Янко, М.В. Аэрионная активация некоторых микробиологических процессов / М.В. Янко, Е.М. Заяц // Агропанорама. – 2019. – № 1 (131) – С. 28-29.
2. Перт, С. Дж. Основы культивирования микроорганизмов и клеток / С.Дж. Перт; перев. с англ. Т.А. Петрова, И.Н. Позмогова; под ред. И.Л. Работновой – Москва : Издательство «Мира», 1978. – 334 с.

**Иванов В.П., д.т.н., профессор; Дронченко В.А.**

*Полоцкий государственный университет*

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС УТИЛИЗАЦИИ  
НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Ключевые слова:** нефтесодержащие отходы, эмульсия, утилизация, сжигание