

УДК 537.568; 663.11

<https://doi.org/10.56619/2078-7138-2025-169-3-34-39>

АЭРОИОННАЯ АКТИВАЦИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ДРОЖЖЕЙ

М.В. Янко,

ст. преподаватель каф. практической подготовки студентов БГАТУ

*В статье представлены теоретические и экспериментальные исследования, выполненные при создании аэроионной активации продуктивности хлебопекарных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Описана экспериментальная проверка математической модели аэроионной активации. Приведены результаты производственных испытаний технологии и оборудования аэроионной активации продуктивности хлебопекарных дрожжей.*

Ключевые слова: количество электричества, аэроион, обработка, хлебопекарные дрожжи, продуктивность, производственные испытания.

*The article presents theoretical and experimental studies carried out to create aeroionic activation of *Saccharomyces cerevisiae* baker's yeast productivity. The mathematical model of aeroionic activation is described and experimentally verified. The production tests results of the technology and equipment for aeroionic activation of baker's yeast productivity are presented.*

Key words: amount of electricity, aeroion, processing, baker's yeast, productivity, production tests.

Введение

Производство хлебопекарных дрожжей в Беларуси составляет более 30 тысяч тонн в год. Дрожжи выращивают на культуральной среде, состоящей из воды, мелассы (побочного продукта свеклосахарного производства), микроэлементов и аминокислот. Проблема производства хлебопекарных дрожжей состоит в неполном использовании потенциала дрожжей и культуральной среды. Дрожжевой гриб *Saccharomyces cerevisiae* при ферментации использует до 80 % потенциала культуральной среды, при этом его штамм «200» обеспечивает выход биомассы до 95 г/л и продуктивность около 350 %, а более производительный штамм «Y-5142» – выход биомассы до 110 г/л и продуктивность около 500 %.

Исследователями ФГАОУ ВО «НИУ ИТМО» под руководством Т.В. Мелединой установлено, что на электрический заряд поверхности дрожжевой клетки влияют строение мембраны клетки, химический состав культуральной среды, время выращивания, кислотность и аэрация среды. Ученые Даляньского технологического и Шанхайского университетов Chen-Guang Liu, Chuang Xue, Yen-Han Lin, Feng-Wu Bai приводят результаты изменения концентрации ионов в культуральной среде электрическим током, пропущенным через среду с микроорганизмами. Научными сотрудниками университетов Сокён и Мён Джун Na Byung-Kwan, Hwang Tae-Sik, Lee Sung-Hun, Ahn Dae-Hee, Park Doo-Hyun описано изменение биологической активности различных микроорганизмов, в том числе дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, электрическим током, пропущенным через среду с микроорганизмами.

Наши исследования показали, что повысить эффективность использования потенциала культуральной

среды и продуктивность дрожжей можно аэроионной активацией.

Аэроионная активация – обработка культуральной среды и микроорганизмов ионами воздуха для увеличения количественных и качественных показателей.

Анализ публикаций подтверждает отсутствие соответствующих теоретических и практических разработок по увеличению продуктивности дрожжей аэроионной обработкой культуральной среды с микроорганизмами [1].

Цель работы – провести теоретические, экспериментальные исследования и производственные испытания технологии и оборудования аэроионной активации продуктивности хлебопекарных дрожжей.

Основная часть

Аэроионы изменяют концентрацию электрических зарядов в культуральной среде и на поверхности дрожжевой клетки, плотность поверхностного заряда клетки [2-4]. Поверхностный заряд клетки определяет потенциал ее поверхности и коэффициент диффузии питательных веществ из культуральной среды в клетку [3].

Согласно источникам [5, 6], клетка дрожжей обменивается ионами с культуральной средой путем диффузии через поры в своей мембране. Диффузия ионов культуральной среды через поры мембраны внутрь клетки зависит от потенциала поверхности клетки [7].

Математическое описание активации роста дрожжей аэроионами изложено в работе [8] и имеет следующий вид:

Концентрация ионов в среде, моль/м³

$$\text{положительных } C_{i^+}(\tau) = C_{0i^+} + \frac{Q_V(\tau)n_{i^+}}{F}; \quad (1)$$

$$\text{отрицательных } C_{i^-}(\tau) = C_{0i^-} + \frac{Q_V(\tau)n_{i^-}}{F}, \quad (2)$$

где C_{0i^+} , C_{0i^-} – начальная концентрация положительных и отрицательных ионов в среде моль/м³;
 τ – время обработки, с;

$Q_V(\tau)$ – удельное количество электричества, протекающего через среду, Кл/м³;

n_{i^+} , n_{i^-} – числа переноса положительных и отрицательных ионов;

$F = 96485$ Кл/моль – число Фарадея;

$$n_{i^+} = \frac{C_{0i^+}\lambda_{i^+}}{C_{0i^+}\lambda_{i^+} + C_{0i^-}\lambda_{i^-}}; \quad (3)$$

$$n_{i^-} = \frac{C_{0i^-}\lambda_{i^-}}{C_{0i^+}\lambda_{i^+} + C_{0i^-}\lambda_{i^-}}, \quad (4)$$

где λ_{i^+} и λ_{i^-} – подвижность положительных и отрицательных ионов, м²/(с·В).

Плотность поверхностного заряда дрожжевой клетки [8], Кл/м²:

$$\rho_{\Pi} = \alpha_b \rho_b - \alpha_a \rho_a, \quad (5)$$

где ρ_a , ρ_b – поверхностная плотность заряда кислотных и основных групп соответственно, Кл/м²;

α_a , α_b – степень диссоциации кислотных и основных групп соответственно.

Поверхностная плотность заряда групп, Кл/м²:

$$\text{кислотных } \rho_a = e\theta_a N_{Sa}; \quad (6)$$

$$\text{основных } \rho_b = e\theta_b N_{Sb}, \quad (7)$$

где e – элементарный заряд, $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл;

θ_a , θ_b – доля диссоциированных кислотных и основных групп;

N_{Sa} , N_{Sb} – общее число групп на единицу площади, 1/м².

Доля диссоциированных групп:

$$\text{кислотных } \theta_a = \frac{C_a}{C_{H^+} + C_{i^-}(\tau)}; \quad (8)$$

$$\text{основных } \theta_b = \frac{C_b}{C_{OH^-} + C_{i^+}(\tau)}, \quad (9)$$

где C_{H^+} , C_{OH^-} – концентрация ионов водорода и гидроксида соответственно, моль/м³;

C_a , C_b – концентрация кислоты и щелочи в среде, моль/м³.

Общее число групп на единицу площади:

$$\text{кислотных } N_{Sa} = \frac{C_{H^+} + C_{i^-}(\tau)}{\pi R_K^2} N_A V_C; \quad (10)$$

$$\text{основных } N_{Sb} = \frac{C_{OH^-} + C_{i^+}(\tau)}{\pi R_K^2} N_A V_C, \quad (11)$$

где R_K – радиус дрожжевой клетки, м;

N_A – число Авогадро, $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ 1/моль;

V_C – расчетный объем культуральной среды, $V_C = 1$ м³.

В соответствии с законом разбавления Оствальда степень диссоциации:

$$\alpha_a = \frac{-K_a + \sqrt{K_a^2 + 4C_a K_a}}{2C_a}, \quad (12)$$

$$\alpha_b = \frac{-K_b + \sqrt{K_b^2 + 4C_b K_b}}{2C_b}, \quad (13)$$

где K_a , K_b – константы диссоциации кислотной и основной групп, моль/м³

$$K_a = \frac{C_{H^+} C_{i^-}(\tau)}{C_a}; \quad (14)$$

$$K_b = \frac{C_{OH^-} C_{i^+}(\tau)}{C_b}. \quad (15)$$

Потенциал на входе в пору клетки [8], В:

$$\varphi_{\Pi}(\tau) = \frac{R_{\Pi} \rho_{\Pi}(\tau)}{2\varepsilon_0 \varepsilon_C} \ln \left(\frac{h + \sqrt{R_{\Pi}^2 + h^2}}{R_{\Pi}} \right), \quad (16)$$

где R_{Π} – радиус поры мембраны клетки, м;

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная;

ε_C – относительная диэлектрическая проницаемость среды;

h – толщина мембраны клетки (диффузионного слоя), м.

Диффузия ионов в клетку через пору ее мембраны, м²/с:

$$D_{\phi} = D_o \exp \left(- \frac{nF |\varphi_{\Pi}(\tau)|}{RT} \right), \quad (17)$$

где D_o – коэффициент диффузии вещества в среде, м²/с;

n – эмпирический коэффициент;

$\varphi_{\Pi}(\tau)$ – потенциал поверхности клетки, В;

$R = 8,31$ Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная;

T – абсолютная температура, К.

Скорость роста массы микроорганизмов (диффузии вещества внутрь клетки) при их ферментации с начальными условиями при времени $\tau = 0$, $M = M_0$:

$$\frac{dM}{d\tau} = \frac{M_0 \left(A + \sqrt{A^2 + 4K_C M_C} \right)}{K_C + A + \sqrt{A^2 + 4K_C M_C}}, \quad (18)$$

где M_0 – концентрация клеток в единице объема среды при $\tau = 0$, кг/м³;

K_C – субстратная константа, кг/м³;

M_C – концентрация вещества в среде, кг/м³;

A – коэффициент упрощения, кг/м³;

$$A = M_C - K_C - \frac{3\alpha\mu h R_K M_0}{4XD_\phi}, \quad (19)$$

где α – коэффициент химической активности культуральной среды;

μ – удельная скорость роста дрожжей, кг/с·м³;

X – удельный объем клеток в среде, м³/м³.

Прирост биомассы за время τ :

$$\Delta M = M_0 \tau \frac{A + \sqrt{A^2 + 4K_C M_C}}{K_C + A + \sqrt{A^2 + 4K_C M_C}}. \quad (20)$$

Система уравнений (1)–(20) представляет собой математическую модель аэроионной активации продуктивности хлебопекарных дрожжей. Результаты расчетов по уравнениям (1)–(20) представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Математическое моделирование показывает увеличение прироста биомассы дрожжей до 15,4 кг/м³ при обработке количеством электричества 420...430 Кл/м³.

Проверка адекватности теоретических и экспериментальных исследований выполнена по средним значениям отклика прироста биомассы дрожжей при заданных значениях удельного количества электричества. Расхождение значений не превышает 5 % ($\Delta = 0,75$ кг/м³) (рис. 1).

Воздействие аэроионами на хлебопекарные дрожжи (штамм «200») при количестве электричества от 420 до 450 Кл/м³ культуральной среды увеличивает в ней концентрацию кислорода на 35–37 %, свободных электронов – в 1,9–3,3 раза, формольное число (концентрацию свободного азота) – на 25–50 %, изменяет pH и Eh – на 11–12 % [10]. Все это, в конечном счете, стимулирует рост дрожжей и их качественные показатели увеличивают продуктивность на 15...20 %, концентрацию на 13...16 %, подъемную силу и коэффициент подъема теста на 48...59 % по сравнению с хлебопекарными дрожжами, выращенными без аэроионной обработки [9].

Методами статистической обработки установлены оптимальные технологические параметры аэроионной активации продуктивности дрожжей:

– удельное количество электричества – 425...455 Кл/м³;

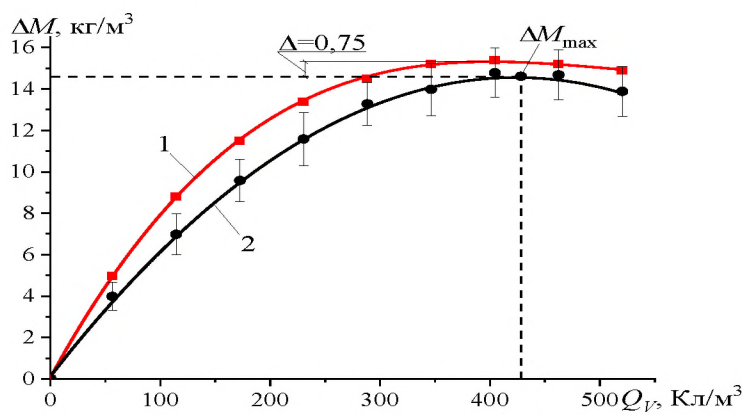


Рисунок 1. Зависимость прироста биомассы хлебопекарных дрожжей от удельного количества электричества аэроионной обработки: 1 – теоретическая; 2 – экспериментальная

Таблица 1. Результаты расчета параметров аэроионной активации дрожжей

τ , с	0	5895	12000	18105	24211	30316	3641	42526	48632	54737
Q_{V_i} , Кл/м ³	0	56	114	172	230	288	346	404	462	520
$C_i^- \cdot 10^{11}$, моль/м ³	0,009	0,536	1,08	1,63	2,18	2,72	3,27	3,81	4,36	4,91
$C_i^+ \cdot 10^{12}$, моль/м ³	0,02	0,753	1,51	2,27	3,03	3,79	4,55	5,31	6,06	6,82
$\theta_a \cdot 10^8$	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
$\theta_b \cdot 10^6$	8,03	8,03	8,03	8,03	8,03	8,03	8,03	8,03	8,03	8,03
$N_{Sa} \cdot 10^{-22}$, 1/м ²	0,069	4,12	8,31	12,5	16,7	20,9	25,1	29,3	33,5	37,6
$N_{Sb} \cdot 10^{-21}$, 1/м ²	0,153	5,77	11,6	17,4	23,2	29,1	34,9	40,7	46,5	52,3
$K_a \cdot 10^5$, моль/м ³	0,18	10,7	21,7	32,6	43,5	54,5	65,4	76,3	87,3	98,2
$K_b \cdot 10^8$, моль/м ³	0,249	9,37	18,8	28,3	37,7	47,2	56,6	66	75,5	84,9
$\rho_a \cdot 10^5$, Кл/м ²	0,553	32,9	66,5	100	134	167	201	234	268	302
$\rho_b \cdot 10^3$, Кл/м ²	0,197	7,43	14,9	22,4	29,9	37,4	44,9	52,4	59,9	67,3
α_a	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
α_b	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ρ_{Π} , мКл/м ²	0,192	7,10	14,3	21,4	28,6	35,7	42,9	50	57,2	64,3
Φ_{Π} , мВ	1,11	41,2	82,7	124	166	207	249	290	332	373
$D_{\Phi} \cdot 10^{10}$, м ² /с	9,96	8,68	7,53	6,53	5,66	4,91	4,26	3,69	3,20	2,77
α_a	1,000	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999
A	-18,6	-21,4	-24,6	-28,4	-32,8	-37,8	-43,6	-50,3	-58	-66,9
$dM \cdot 10^3/d\tau$, кг/(с·м ³)	97	84,6	73,5	63,7	55,3	48	41,6	36,1	31,3	27,2
ΔM , кг/м ³	0	4,99	8,82	11,5	13,4	14,5	15,2	15,4	15,2	14,9

- напряженность электрического поля между коронирующим и осадительным электродами – 41...44 кВ/м;
- время нахождения дрожжей в поле коронного разряда – 5,5...6,0 с;
- цикличность обработок – 2,35...2,57 1/ч;
- продолжительность обработки – 11,5...12,5 ч [9].

По результатам экспериментальных исследований сформулированы технологические требования на разработку аэроионного активатора, определено его место в технологическом процессе выращивания дрожжей, состав оборудования (рис. 2).

Аэроионный активатор продуктивности дрожжей должен работать совместно с ферментером, в котором выращивают дрожжи (рис. 2). Принципиальная конструктивная схема одного из вариантов активатора представлена на рисунке 3. Данная схема защищена патентом Республики Беларусь на изобретение BY23635C1 [11].

Культуральную среду вместе с дрожжами (далее среда) отбирают из ферментера 2, перекачивают насосом 10 через ионоактиватор 1 и возвращают назад в ферментер 2 (рис. 2). В аэроионный активатор среда поступает по трубопроводу 2 на решетку-распылитель 5, после которой капли среды попадают в «объем» аэроионов зарядной камеры 6, получают отрицательный заряд и возвращаются обратно в ферментер через патрубков 8 (рис. 3).

Поток воздуха насосом 13 (рис. 2) подают в зону коронного разряда вокруг коронирующего электрода 11 (рис. 3). Молекулы воздуха получают отрицательный заряд и под действием сил электрического поля и движущегося воздуха перемещаются к осадительному электроду 7 (рис. 3), встречая на своем пути капли среды и клетки дрожжей, и отдают им свой электрический заряд. Обработанная культуральная среда перетекает в ферментер 2 (рис. 2).

Воздух, подаваемый в поле коронного разряда, должен быть очищен от пыли, капель влаги, сторонних микроорганизмов. Для этого его обеззараживают и фильтруют в ультрафиолетовом дезинфекторе 12, оснащенный фильтрами необходимой степени очистки (рис. 2).

На основании технического задания разработана документация и изготовлен лабораторный образец аэроионного активатора дрожжей (рис. 4).

Заводские испытания установки на ОАО «Дрожжевой комбинат» подтвердили эффективность и перспективность разработанной технологии и оборудования, определили вопросы для дальнейшей доработки. Испытания проводили с 18.02.2025 по 20.03.2025 по методике, изложенной в ТИ ВУ 100104781.033-2021

(Технологическая инструкция по производству дрожжей хлебопекарных прессованных «СТОЛИЧНЫЕ») и ТУ ВУ 100104781.020-2011 (Дрожжи прессованные «СТОЛИЧНЫЕ» (Технические условия) и инструкции по микробиологическому и технохимическому контролю дрожжевого производства.

Обработке подвергали хлебопекарные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*, штамм «У-5142», имеющий лучшие качественные показатели по сравнению с дрожжами штамма «200». Результаты испытаний приведены в таблице 2.

По результатам испытаний производственно-технологическая лаборатория ОАО «Дрожжевой комбинат» сделала заключения:

1. Дрожжи после аэроионной активации имеют следующие органолептические свойства: цвет равномерный, без пятен, с сероватым оттенком; консистенция плотная, однородная; запах – свойственный дрожжам, без запаха плесени и других посторонних запахов; вкус – свойственный дрожжам, без постороннего привкуса [ГОСТ 171-2015];

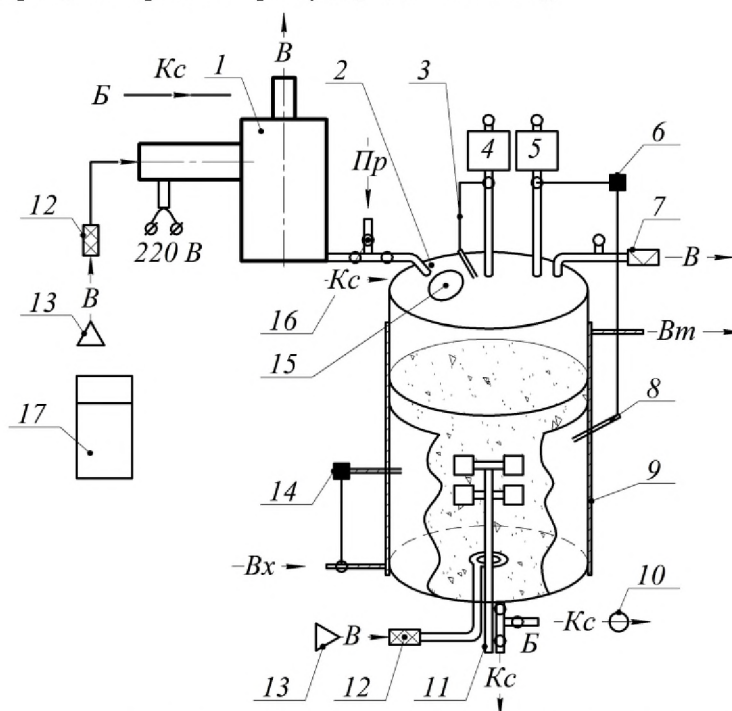


Рисунок 2. Принципиальная схема ферментера с аэроионным активатором: 1 – ионоактиватор; 2 – ферментер дрожжей; 3 – датчик пеногасителя; 4 – устройство пеногашения; 5 – устройство подачи аммиачной воды; 6 – регулятор Eh (pH); 7 – фильтр воздуха из ферментера; 8 – датчик Eh (pH); 9 – рубашка водяного охлаждения ферментера; 10 – насос подачи культуральной среды в аэроионный активатор; 11 – мешалка культуральной среды в ферментере; 12 – устройство фильтрации и дезинфекции воздуха; 13 – насосы подачи воздуха; 14 – регулятор температуры культуральной среды; 15 – смотровое окно; 16 – устройство подачи питательного раствора в ферментер; 17 – шкаф управления; В – трубопроводы подачи воздуха, Вт – теплая, Кс – культуральная среда, Вх – вода холодная, Б – устройство слива культуральной среды дрожжей; Пр – питательный раствор

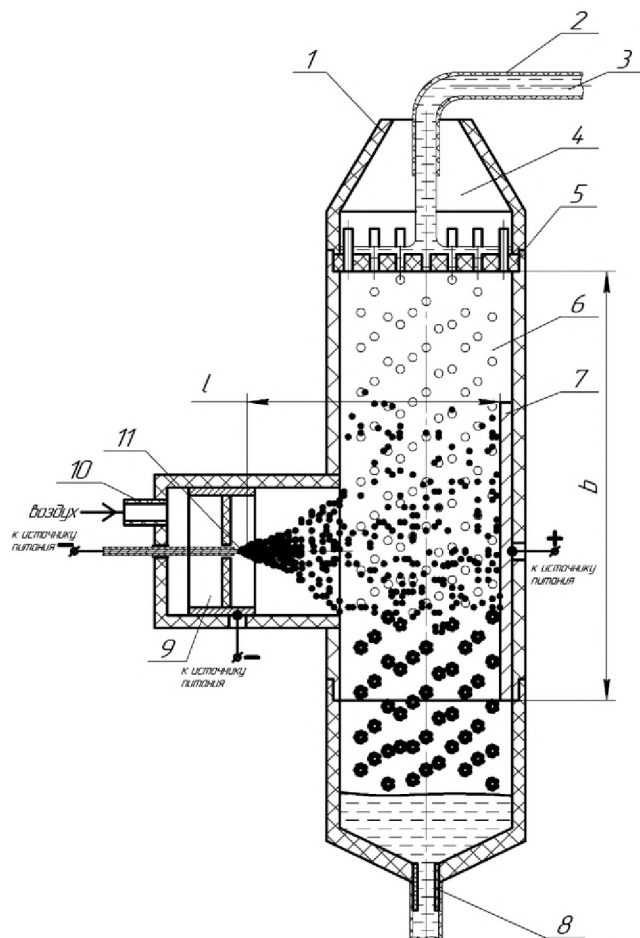


Рисунок 3. Принципиальная конструктивная схема ионоактиватора дрожжей:

1 – корпус; 2 – трубопровод культуральной среды с дрожжами; 3 – оросительное устройство; 4 – решетка; 5 – камера аэроионной активации; 7 – электрод осадительный; 8 – патрубок слива; 9 – концентратор отрицательных зарядов; 10 – патрубок подачи воздуха; 11 – коронирующий электрод; l – расстояние между коронирующим и осадительным электродами; b – высота осадительного электрода

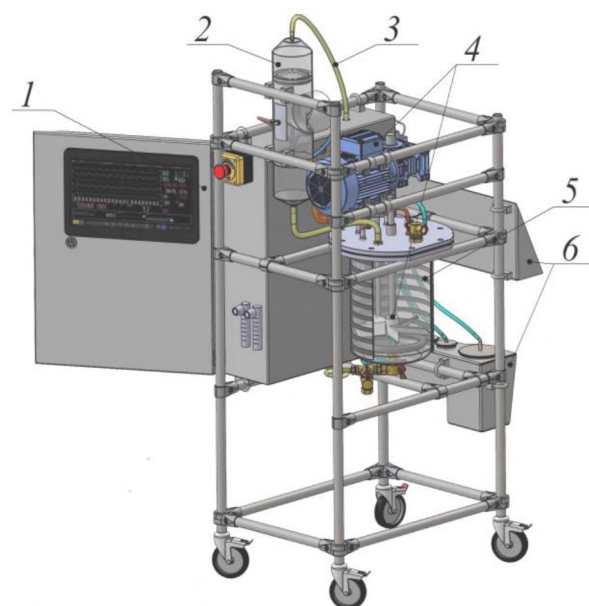


Рисунок 4. Установка аэроионного культивирования хлебопекарных дрожжей: 1 – шкаф управления; 2 – ионоактиватор; 3 – трубка для подачи обрабатываемой среды с дрожжами; 4 – мешалка с приводом; 5 – ферментер; 6 – отсек питательных растворов

2. Микробиологический контроль выращивания дрожжей при обработке аэроионами показал, что клетки более круглые и крупные, большее количество почкующихся клеток в момент времени роста по сравнению с дрожжами, культивированными в тот же день без активации. В культуральной среде не зафиксировано увеличение количества клеток посторонних дрожжевых грибов, бактерий, неправильно почкующихся клеток;

3. Образцы дрожжей штамма «У-5142», полученные после аэроионной активации, соответствуют требованиям ТУ ВУ 100104781.020-2011 и ГОСТ 171-2015 (для дрожжей высшего сорта). Обработка аэроионами увеличивает продуктивность на 7...15 %

Таблица 2. Результаты производственных испытаний

Номер и дата испытаний	Масса дрожжей, г		Продуктивность, %	Подъемная сила, мин	Кислотность, мг.		Массовая доля влаги, %
	нач.	кон.			до промывки	после промывки	
1. 18.02.2025	157,6	866,3	548,6	32	68	56	70
2. 20.02.2025	157,6	891	565,2	32	67	55	72
3. 25.02.2025	126,5	685,6	542	30,3	62	50	71,5
4. 27.02.2025	126	725,9	576,1	31	63	51	72
5. 04.03.2025	158	918,4	581,3	34	66	53	71
6. 06.03.2025	158	901,6	570,6	33	65	54	73
7. 11.03.2025	117,7	664,2	564,3	35	67	55	72,5
8. 13.03.2025	117	661,3	565,2	35	69	56	73
9. 18.03.2025	119,5	691,6	578,7	32	64	53	72
10. 20.03.2025	119,6	690,5	577,4	33	66	54	72
Средние значения после активации	135,75	769,64	566,94	32,73	65,7	53,7	71,9
Средние показатели по заводу	850 000	4 292 500	505	35	72	58	72,5

без ухудшения качественных показателей дрожжей и санитарных показателей культуральной среды.

Заключение

1. Сформулирована, теоретически обоснована и практически подтверждена научная идея аэроионной активации продуктивности хлебопекарных дрожжей.

2. Впервые разработана новая технология обработки культуральных сред и микроорганизмов аэроионами (патент BY23635C1) [11]. Обработка хлебопекарных дрожжей штамма «200» повышает продуктивность дрожжей на 15...20 %, прирост биомассы до 14,7...15,1 кг/м³, увеличивает подъемную силу и коэффициент подъема теста на 48...59 % в лабораторных условиях [9]. Обработка на ОАО «Дрожжевой комбинат» хлебопекарных дрожжей штамма «Y-5142» увеличивает продуктивность на 7...15 % без ухудшения качественных показателей дрожжей в заводских условиях.

3. Создан опытный образец активатора дрожжей, не имеющий аналогов, который прошел испытания в заводских условиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Янко, М.В. Анализ способов активации продуктивности хлебопекарных дрожжей. Обзор / М.В. Янко, Е.М. Заяц // Вестник Фонда фундаментальных исследований. – 2022. – № 2 (100) – С. 171-176.

2. Aguilar-Uscanga, B. A study of the yeast cell wall composition and structure in response to growth conditions and mode of cultivation / B. Aguilar-Uscanga, J.M. Francois // Letters in applied microbiology. – 2003. – Vol. 37. – № 3. – P. 268-274.

3. Факторы, влияющие на электрический заряд дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae* / Т.В. Меледина [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2020. – № 2. – С. 73-84.

4. Vu, D.L. The Effect of Various Potentials on the Attachment of *Saccharomyces Cerevisiae* and Staphylo-

coccus *Epidermidis* to Carbon Paste Electrodes / D.L. Vu, M. Sys, L. Cervenka // International Journal of Electrochemical Science. – 2011. – Vol. 6. – P. 5265-5274.

5. Ризниченко, Г.Ю. Математическое моделирование биологических процессов. Модели в биофизике и экологии: учеб. пособие для бакалавриата и магистратуры / Г.Ю. Ризниченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2019. – 181 с.

6. Мартинович, Г.Г. Окислительно-восстановительные процессы в клетках: монография / Г.Г. Мартинович, С.Н. Черенкевич. – Минск: БГУ, 2008. – С. 159.

7. Eide, D.J. Metal ion transport in eukaryotic microorganisms: insights from *Saccharomyces cerevisiae* / D.J. Eide // Advances in Microbial Physiology. – 2000. – Vol. 43. – P. 1-38.

8. Янко, М.В. Математическая модель влияния аэроионов на продуктивность дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* / М.В. Янко, Е.М. Заяц // Вестник Фонда фундаментальных исследований. – 2023. – № 3 (105) – С. 92-101.

9. Янко, М.В. Влияние аэроионной активации на продуктивность и качественные показатели дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* / М.В. Янко, А. Н. Кудинович, Е.М. Заяц // Агропанорама. – 2024. – № 3. – С. 21-27.

10. Заяц, Е.М. Влияние отрицательно заряженных аэроионов на среду выращивания *Saccharomyces cerevisiae* / Е.М. Заяц, М.В. Янко // Вестник Фонда фундаментальных исследований. – 2022. – № 3 (101) – С. 62-68.

11. Патент BY 23635, МПК C12N1/18 (2006.01), C12N13/00 (2006.01). Способ культивирования хлебопекарных дрожжей : № а 20190290 : заявлено 10.11.2019 : опубл. 28.02.2022/ Заяц Е. М., Янко М.В., Чорный А. Д. ; заявитель Белорус. гос. аграрный техн. ун-т. – URL: <https://search.ncip.by/database/?page=3&target=40562> (дата обращения: 12.05.2025).

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 26.05.2025