УДК 664.1

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ ИНУЛИНА ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

The Process Intensification of the Inulin Extraction
from Vegetable Raw Materials

Муцаев Р.В., Алексанян И.Ю., Поликарпова Н.Э.
Mutsaev R.V., Aleksanyan I.Yu., Policarpova N.E.

Реферат

Инулин – важный ингредиент, открывающий перед пищевой промышленностью новые возможности создания сбалансированных и вкусных пищевых продуктов. Технологическая схема производства инулина включает следующие стадии: прием и подготовка сырья; измельчение; экстракция; сгущение экстракта; осаждение инулина; очистка инулина; сушка инулина. Основным является процесс экстракции, от которого зависит эффективность всей технологии. В статье представлены результаты исследования статистики и кинетики процесса водной экстракции инулина из топинамбура с целью его интенсификации и оптимизации. Для изучения статистики процесса экстракции, т. е. равновесных состояний системы взаимодействующих веществ, была осуществлена серия опытов с последующей обработкой полученных данных. Эксперименты проводились при температурах 20; 45 и 70 °С до достижения равновесной концентрации, с использованием ультразвукового излучения и без его применения. Математическая обработка результатов исследований позволила получить коэффициент распределения φ (отношение равновесных концентраций экстрагируемого вещества в обеих фазах), характеризующий равновесие при экстракции. Построены зависимости коэффициента распределения от гидромодуля при различных температурах при использовании ультразвукового излучения и без него. Также были получены аппроксимирующие полиномиальные зависимости коэффициента распределения от гидромодуля и температуры. Представлена графическая интерпретация эволюций полей коэффициента распределения в зависимости от температуры и гидромодуля. Определены коэффициенты диффузии и массоотдачи в зависимости от воздействующих факторов. Для анализа механизма и скорости экстрагирования была изучена кинетика экстракции в зависимости от режимных параметров – температуры и ультразвукового излучения. В результате экспериментов получены данные, характеризующие зависимость содержания инулина в экстракте от температуры и продолжительности процесса. Приведены кинетические кривые экстракции для реальных диапазонов варьируемых параметров.

Ключевые слова:

интенсификация;
экстракция;
инулин;
ультразвук;
коэффициент
распределения

Abstract

Inulin is an important ingredient that opens up new opportunities for the food industry to create balanced and delicious foods. The technological scheme of inulin production consists of the following main stages: acceptance and preparation of raw materials; grinding; extraction; thickening of the extract; inulin precipitation; inulin purification; inulin drying. The main process in inulin obtaining is the extraction process that influences the effectiveness of the entire technology. The paper concerns the research results of the statics and kinetics of the aqueous inulin extraction process from topinambur for its

Keywords:

intensification;
extraction;
inulin;
ultrasound;
distribution
coefficient

intensification and optimization. A man run experiment series with later experimental data processing to study the extraction process statics, i.e. the equilibrium states of the interacting substances system. The experiment temperatures were 20, 45 and 70 °C until equilibrium concentration was attained, using ultrasonic radiation or without it. Mathematical processing of the research results made it possible to obtain the distribution coefficient φ (the ratio of the equilibrium concentrations of the extracted substance in both phases) characterized the equilibrium during extraction. Researchers revealed distribution coefficient dependences on the hydromodule at various temperatures, using ultrasonic radiation and without it. They obtained approximating polynomial hydromodule and temperature dependences on the distribution coefficient and presented a graphical interpretation of the distribution coefficient dependence on the temperature and hydromodule. Researchers determined diffusion and mass transfer coefficients depending on the influencing factors. They studied extraction kinetics depending on the regime parameters (temperature and ultrasonic radiation) to analyze the mechanism and the rate of extraction. As an experiments result, a man determined the inulin content in the extract characterizing the temperature and duration process dependences and stated kinetic extraction curves for real ranges of variable parameters.

Инулин – органическое вещество из группы полисахаридов, полимер D-фруктозы – легко усваивается организмом человека, в связи с чем применяется как заменитель крахмала и сахара и в медицине, и в производстве разнообразных пищевых продуктов для диетического и профилактического питания. Получают инулин из растений, преимущественно из корней цикория и клубней топинамбура (земляной груши) [1 –2; 6–7]. Обладает эмульгирующими и гелеобразующими свойствами благодаря водосвязывающей способности [10]. Обеспечивает стабилизацию эмульсий, взбитых продуктов, а также спредов.

Использование инулина позволяет одновременно решать технологические задачи и получать продукты, отвечающие требованиям концепции «здорового питания» как следствие функциональных свойств композиции – пребиотических и бифидогенных свойств, присутствия растворимых волокон (пектина и инулина), способности улучшать усвоение кальция [8].

Таким образом, инулин является важнейшим пищевым ингредиентом, открывающим перед пищевой промышленностью новые возможности создания сбалансированных по нутриентам и при этом вкусных пищевых продуктов.

Технологическая схема производства инулина состоит из следующих стадий (с учетом некоторых их различий):

- прием и подготовка сырья;
- измельчение (дробление);
- экстракция инулина;
- сгущение экстракта;
- осаждение инулина;
- очистка инулина;
- сушка инулина [4].

Основным является процесс экстракции; от него зависит эффективность технологии.

Данная работа посвящена изучению статистики и кинетики процесса водной экстракции инулина из топинамбура с целью его интенсификации и оптимизации.

Анализ технической и патентной литературы позволил выявить способы интенсификации процесса экстракции инулина, к которым можно отнести химические (экстрагирование с использованием ферментных препаратов), гидродинамические (повышение относительной скорости движения фаз, интенсивное перемешивание), физические (вибрации, пульсации, ультразвуковые колебания), тепловые (предварительная обработка сырья в СВЧ-поле для деструкции протоплазмы растительных клеток, повышение температуры экстрагента) [5].

Наиболее энергоемкими операциями в технологии получения инулина являются:

- извлечение инулина из растительной ткани (экстрагирование);
- очистка экстракта или выделение инулина в виде кристаллов или порошка из экстракта (ионный обмен с последующей сушкой, кристаллизация при низких температурах, осаждение органическими растворителями);
- сушка сконцентрированного экстракта [9].

Исследования проводились по полному, многоуровневому, многофакторному плану с помощью вероятностно-статистических методов планирования и обработки экспериментальных данных.

Экстракция – извлечение одного или нескольких веществ из растворов или твердых веществ с помощью растворителей. Экстракция в системе «твердое тело – жидкость», характеризующаяся

извлечением вещества из твердого тела с помощью растворителя, называется *выщелачиванием*, при этом вещество переходит из твердой в жидкую фазу, обладающую избирательной растворимостью компонентов.

В качестве растворителей используют:

- воду – для экстрагирования сахара из свеклы, чая и кофе;
- спирт – для экстрагирования БАВ, получения настоек трав и пр.;
- бензин, трихлорэтилен, дихлорэтан – для экстрагирования масел и эфиров [3].

Для интенсификации процесса экстракции традиционно используют процедуры разрушения клеток растительного сырья (нагрев, замораживание и пр.), а также операцию измельчения сырья. Кроме того, интенсификация эффективна в аппаратах с активной гидродинамической обстановкой или при использовании внешнего, в частности ультразвукового (у/з), воздействия на гидромодуль.

Для изучения статистики процесса экстракции, т. е. равновесных состояний системы взаимодействующих веществ, с целью определения равновесных концентраций при различных температурах, а также с использованием ультразвукового излучения, были проведены серия опытов и обработка экспериментальных данных.

Методика проведения экспериментов

Эксперименты проводились при температурах 20; 45 и 70 °С.

В качестве примера приведем описание одного из экспериментов. Вымытые и очищенные от кожуры клубни топинамбура натираем на мелкой терке. Смешиваем натертый топинамбур с водой и выливаем полученную суспензию в емкость. Масса топинамбура $m_T = 300$ г. Температура добавляемой воды $T = 20$ °С. Гидромодуль 3:1. Периодически фиксируем результаты: выключаем аппарат, отбираем из термоса достаточное количество раствора и помещаем его на стекло рефрактометра. Определяем содержание сухих веществ. Полученные данные записываем в табл. 1.

Таблица 1
Результаты эксперимента

t , мин	$T_{\text{смеси}}$, °С	$c_{(в-в)}$, %
5	23	2,0
20	24	2,8
40	23,2	3
60	23,3	3,2
80	23,1	3,2

Опыт проводится до достижения равновесной концентрации.

Обработка результатов испытаний

В первую очередь определяем площадь контактируемой поверхности (шара) по формуле

$$F = 4\pi r^2,$$

где r – эквивалентный радиус частицы.

Далее проводим расчет средней площади поверхности одной частицы. Было принято, что частица имеет форму шара, объем которого равен объему частицы и эквивалентен диаметру, тогда

$$F_q = 4\pi r_q^2,$$

где r_q – средний эквивалентный радиус одной частицы.

Отсюда $F = F_q n_q$, где n_q – количество частиц.

Количество частиц в 1 г измельченного топинамбура – 31 шт. Общая масса исследуемого образца $m = 0,3$ кг, т. е. $n_q = 9300$.

Объем исследуемой смеси:

$$V = \frac{m}{\rho} = 3,13 \times 10^{-4} \text{ м}^3,$$

где $\rho = 959$ кг/м³ – средняя плотность топинамбура.

Отсюда объем одной частицы:

$$V_q = \frac{V}{n_q} = 3,37 \times 10^{-8} \text{ м}^3.$$

Объем частицы шарообразной формы:

$$V_q = \frac{4\pi r_q^3}{3}.$$

Отсюда

$$r_q = \sqrt[3]{\frac{3V_q}{4\pi}} = 0,002 \text{ м}.$$

Площадь поверхности:

$$F = F_q n_q = 4\pi r_q^2 n_q = 0,47 \text{ м}^2.$$

Равновесие при экстракции характеризует коэффициент распределения φ (отношение равновесных концентраций экстрагируемого вещества в обеих фазах):

$$\varphi = \frac{x}{y},$$

где y – содержание инулина в рафинате (остаточном измельченном топинамбуре с пониженным содержанием исходного вещества); x – содержание инулина в экстракте.

Составляем систему уравнений материального баланса:

$$\begin{cases} m_B + m_T = m_p + m_3 \\ m_T c_{\text{ин}}^T = m_p y + m_3 x \end{cases},$$

где m_B – масса воды; m_T – масса топинамбура; m_p – масса рафината; m_3 – масса экстракта; $c_{\text{ин}}^T$ – содержание инулина в топинамбуре.

Масса экстракта:

$$m_3 = m_B + m_T - m_p; m_T c_{\text{ин}}^T = m_p y + (m_B + m_T - m_p)x.$$

Гидромодуль, задаваемый в процессе эксперимента: $V = \frac{m_B}{m_T}$, $m_3 = V m_T$.

$$\text{Отсюда } x = \frac{m_T c_{\text{ин}}^T}{m_B + m_T - m_P} - y \frac{m_P}{m_B + m_T - m_P};$$

$$x = \frac{m_T c_{\text{ин}}^T}{V m_T + m_T - m_P} - y \frac{m_P}{V m_T + m_T - m_P};$$

$$x = \frac{c_{\text{ин}}^T}{V + 1 - m_P/m_T} - y \frac{m_P/m_T}{V + 1 - m_P/m_T}.$$

Отношение $m_P/m_T = K = \text{const}$ при $T = \text{const}$.

$$\text{Тогда } x = \frac{K}{K - 1 - V} y - \frac{c_{\text{ин}}^T}{K - 1 - V}.$$

В эксперименте $K = 1,13$; $V = 3$; $x = -0,35y + 0,046$ – зависимость содержания инулина в экстракте от содержания инулина в рафинате.

Определение содержания инулина в рафинате и топинамбуре

Экспериментальным способом определены влажность (ω_P) и масса рафинат (m_P):

$$\omega_P = 93,5 \%; m_P = 338 \text{ г.}$$

Общая масса сухих веществ в рафинате:

$$m_{\text{с.в}}^P = c_{\text{с.в}}^P m_P$$

где $c_{\text{с.в}}^P = 6,5 \%$ – содержание сухих веществ в рафинате; $m_{\text{с.в}}^P = 21,97 \text{ г}$.

Экспериментальным способом определены:

а) влажность топинамбура: $\omega_P = 81 \%$;

б) общая масса сухих веществ в топинамбуре:

$$m_{\text{с.в}}^T = c_{\text{с.в}}^T m_T$$

где $c_{\text{с.в}}^T = 19 \%$ – содержание сухих веществ; $m_T = 300 \text{ г}$ – масса топинамбура; $m_{\text{с.в}}^T = 57 \text{ г}$;

в) масса инулина в топинамбуре:

$$m_{\text{ин}}^T = c_{\text{ин}}^T m_T$$

где $c_{\text{ин}}^T = 13,3 \%$ – содержание инулина в топинамбуре; $c_{\text{ин}}^T = 39,9 \text{ г}$;

г) масса сухих веществ в топинамбуре, нерастворимых в воде:

$$m_{\text{н.в}}^T = m_{\text{с.в}}^T - m_{\text{ин}}^T = 17,1 \text{ г.}$$

Так как масса нерастворимых в воде веществ в ходе эксперимента не меняется, то

$$m_{\text{н.в}}^T = m_{\text{н.в}}^P$$

где $m_{\text{н.в}}^P$ – масса в рафинате сухих веществ, нерастворимых в воде.

Масса инулина в рафинате:

$$m_{\text{ин}}^P = m_{\text{с.в}}^P - m_{\text{н.в}}^P = 4,87 \text{ г.}$$

Содержание инулина в рафинате:

$$y = \frac{m_{\text{ин}}^P}{m_P} = 0,014.$$

Содержание инулина в экстракте:

$$x = -0,35y + 0,046 = 0,0411.$$

Коэффициент распределения:

$$\varphi = \frac{x}{y} = 2,94.$$

Следовательно, $x = \frac{1,13}{0,13-V} y + 0,046$;

$$\varphi = \frac{1,13}{0,13-V} + 3,29.$$

Коэффициент диффузии:

$$D_1 = \frac{M_{\text{ин}}^{\text{экс}} \delta}{F \tau (y_1^{\text{нач}} - y_1^{\text{рав}})},$$

где $M_{\text{ин}}^{\text{экс}} = m_{\text{ин}}^T - m_{\text{ин}}^P$ – масса инулина в экстракте; $\delta \approx D^{1/3}$ – толщина пограничного слоя; F – площадь массообмена; τ – время, в течение которого образовалась $M_{\text{ин}}^{\text{экс}}$; $y_1^{\text{нач}}$ – начальное содержание инулина в топинамбуре; $y_1^{\text{рав}}$ – содержание инулина в рафинате при достижении равновесия:

$$M_{\text{ин}}^{\text{экс}} = 39,9 - 4,87 = 35,03 \text{ (г)};$$

$$y_1^{\text{нач}} = 0,133; y_1^{\text{рав}} = 0,014.$$

Таким образом, $D_1 = 2,78 \times 10^{-7}$.

Коэффициент массоотдачи:

$$\beta_1 = \frac{M_{\text{ин}}^{\text{экс}}}{F \tau (x_1^{\text{рав}} - x_1^{\text{нач}})},$$

где $x_{\text{рав}}$ – содержание инулина в экстракте при достижении равновесия; $x_{\text{нач}}$ – начальное содержание инулина в экстракте; $x_1^{\text{рав}} = 0,0411$; $x_1^{\text{нач}} = 0$.

Отсюда $\beta_1 = 0,5 \times 10^{-3}$.

График функции $\varphi = f(V)$ показан ниже (рис. 1).

Рис. 1. Зависимость коэффициента распределения от гидромодуля при $T = 20^\circ \text{C}$

При $T = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ без использования ультразвукового излучения по той же методике:

$$y = \frac{m_{\text{ин}}^p}{m_p} = 0,007;$$

$$x = -0,41y + 0,047 = 0,04413;$$

$$\varphi = \frac{x}{y} = 6,3.$$

Таким образом,

$$x = \frac{1,17}{0,17 - V} y + 0,047;$$

$$\varphi = \frac{1,17}{0,17 - V} + 6,71;$$

$$D_2 = 4,2 \times 10^{-7};$$

$$\beta_2 = 0,75 \times 10^{-3}.$$

При $T = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ без использования ультразвукового излучения:

$$x = -0,42y + 0,0473 = 0,0452;$$

$$\varphi = \frac{x}{y} = 9,04.$$

Тогда

$$D_3 = 4,21 \times 10^{-7};$$

$$\beta_3 = 0,71 \times 10^{-3};$$

$$x = \frac{1,19}{0,19 - V} y + 0,0473;$$

$$\varphi = \frac{1,19}{0,19 - V}.$$

Следующая серия – опыты при $T = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $T = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ с использованием ультразвукового технологического аппарата «Волна УЗТА-0,4/22-ОМ». Температура поддерживалась на определенном уровне вследствие действия ультразвука, например: $m_T = 300\text{ г}$; $T = 45\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Гидромодуль – 3:1. Через отверстие сверху вставляем рабочий орган ультразвукового аппарата. Мощность аппарата устанавливаем на 100 %. Частота у/з – 22 кГц. Через 5; 20; 40 и 60 мин после начала эксперимента фиксируем результаты; выключаем аппарат, отбираем из термоса достаточное

количество раствора и помещаем его на стекло рефрактометра. Определяем количество сухих веществ.

При $T = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$D_5 = 4,23 \times 10^{-7};$$

$$\beta_5 = 0,75 \times 10^{-3};$$

$$x = \frac{1,21}{0,21 - V} y + 0,0476;$$

$$\varphi = \frac{1,21}{0,21 - V} + 15,87.$$

Полученные результаты записываем в табл. 2.

Таблица 2
Результаты эксперимента

t , мин	$T_{\text{смеси}}, ^{\circ}\text{C}$	$c_{(\text{в-в})}, \%$
5	46	3,6
20	51,2	4,6
40	56,1	4,8

Тогда $\omega_p = 94,5\text{ } \%$; $m_p = 355\text{ г}$; $K = 1,18$; $V = 3$;

$$x = -0,42y + 0,0472; m_{\text{с.в}}^p = c_{\text{с.в}}^p m_p,$$

где $c_{\text{с.в}}^p = 5,5\text{ } \%$; $m_{\text{с.в}}^p = 19,525\text{ г}$; $\omega_p = 81\text{ } \%$; $m_{\text{с.в}}^T = c_{\text{с.в}}^T m_T$,

где $c_{\text{с.в}}^T = 19\text{ } \%$; $m_T = 300\text{ г}$; $m_{\text{с.в}}^T = 57\text{ г}$; $c_{\text{ин}}^T = 13,3\text{ } \%$;

$m_{\text{ин}}^T = 39,9\text{ г}$; $m_{\text{н.в}}^T = 17,1\text{ г}$; $m_{\text{ин}}^p = 2,425\text{ г}$; $y = 0,0068$;

$$x = -0,42y + 0,0473 = 0,0444; \varphi = 6,53.$$

Тогда

$$D_4 = 4,22 \times 10^{-7};$$

$$\beta_4 = 0,75 \times 10^{-3}.$$

$$x = \frac{1,18}{0,18 - V} y + 0,0472;$$

$$\varphi = \frac{1,18}{0,18 - V} + 6,94.$$

Математическая обработка результатов позволила получить аппроксимирующие полиномиальные зависимости коэффициента распределения от гидромодуля и температуры.

Рис. 2. Зависимость коэффициента распределения от гидромодуля при $T = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ с использованием ультразвукового воздействия.

Рис. 3. Эволюция полей коэффициента распределения в зависимости от температуры T и гидромодуля V

Общее уравнение:

- без использования ультразвука:

$$\varphi = \frac{-16 \times 10^{-6} T^2 + 2,64 \times 10^{-3} T + 1,0836}{-16 \times 10^{-6} T^2 + 2,64 \times 10^{-3} T - V + 0,0836} - 5,36 \times 10^{-4} T^2 + 0,17164 T + 0,0716;$$

Рис. 4. Эволюция полей коэффициента распределения в зависимости от температуры T и гидромодуля V при ультразвуковом воздействии

- с ультразвуком:

$$\varphi = \frac{0,0012 T + 1,126}{0,0012 T - V + 0,126} + 0,3572 T - 9,134.$$

Графическая интерпретация эволюций полей коэффициента распределения в зависимости от температуры T и гидромодуля V дана на рис. 3 и 4.

Рис. 5. Зависимость содержания инулина в экстракте от продолжительности процесса при различных температурах

Рис. 6. Зависимость содержания инулина в экстракте от продолжительности процесса при ультразвуковом воздействии и различных температурах

Для анализа механизма и скорости экстрагирования необходимо изучить кинетику экстракции в зависимости от режимных параметров (температура и ультразвуковое излучение), что позволит определить рациональные продолжительность экстрагирования и удельный выход переносимого компонента.

Исследование кинетики проводилось на том же лабораторном оборудовании, что и при получении кривых равновесия, с помощью которого определяли концентрацию переносимого компонента в экстракте в зависимости от времени и гидромодуля. Кинетические кривые экстракции для реальных диапазонов варьируемых параметров представлены на рис. 5 и 6.

Математическая обработка кинетических кривых экстракции методом точного попадания в узловые точки позволила получить аппроксимирующие полиномиальные зависимости содержания инулина в экстракте от температуры и продолжительности процесса:

• без ультразвуковой обработки:

$$y_1 = (-2,304 \times 10^{-6} T^2 + 2,05 \times 10^{-4} T - 4,39 \times 10^{-3}) \tau^2 + (1,34 \times 10^{-4} T^2 - 0,0117 T + 0,26464) \tau - 2,89 \times 10^{-4} T^2 + 0,0564 T + 0,59628;$$

• при ультразвуковой обработке:

$$y_2 = (2,28 \times 10^{-5} T - 1,026 \times 10^{-3}) \tau^2 + (34,95374 - 0,498972 T) \tau + 1,78628 T - 120,3826.$$

Полученные уравнения необходимы не только для определения продолжительности экстракции и ее рациональных режимных параметров, но и для математического моделирования процесса экстрагирования.

Выводы

Анализ результатов экспериментов показал, что ультразвуковая обработка при частоте излучения 20–22 кГц позволяет сократить продолжительность процесса экстрагирования и существенно увеличить удельный выход инулина.

Библиографический список

1. Гулюк Н.Г., Пучкова Т.С., Пихало Д.М. Перспектива производства и применения инулина в России // Научное обеспечение и тенденции развития производства пищевых добавок в России: докл. Междунар. конф. (Санкт-Петербург, 12–13 октября 2005 г.). СПб., 2005. С. 160–163.
2. Королева Ю.С. Удобрение топинамбура при многолетнем использовании плантаций: дис. ... канд. с./х. наук. Тверь, 2009. 294 с.
3. Лабораторный практикум по процессам и аппаратам химической и пищевой технологии: учеб. пособие / И.Ю. Алексанян и др. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2006. 284 с.
4. Леонова М.В., Климошкин Ю.Н. Экстракционные методы изготовления лекарственных средств из растительного сырья: учеб.-метод. пособие. Самара: Изд-во Самар. гос. техн. ун-та, 2012.
5. Муратов В.С., Морозова Е.А., Коновалова Д.М. Анализ процесса хранения как этапа технологического цикла товародвижения // Современные наукоемкие технологии. 2008. № 5. С. 74.
6. Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А. и др. Пищевая химия: учеб. для студентов вузов / под ред. А. П. Нечаева. СПб., 2003.
7. Николаев П.В. Продуктивность топинамбура при разных технологиях возделывания в условиях Верхневолжья: дис. ... канд. с./х. наук. Тверь, 2011. 201 с.
8. Роминский И.Р. Фруктоза и инулин. Киев: Изд-во АН УССР, 1959.
9. Чепурной И.П. Производство пищевого инулина и его производных. Ставрополь, 2007.
10. Яровой С.А., Савин П.Н., Полянский К.К. Влияние функциональных ингредиентов (молочная сыворотка, инулин, фруктозо-глюкозный сироп) на антиоксидантные свойства пищевых продуктов // Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию факультета технологии молочных продуктов Омского государственного аграрного университета. Омск, 2011.

Bibliography

1. Guljuk N.G., Puchkova T.S., Pihalo D.M. Perspektiva proizvodstva i primeneniya inulina v Rossii // Nauchnoe obespechenie i tendencii razvitiya proizvodstva pishhevyykh dobavok v Rossii: dokl. Mezhdunar. konf. (Sankt-Peterburg, 12–13 oktjabrja 2005 g.). SPb., 2005. S. 160–163.
2. Koroleva Ju.S. Udobrenie topinambura pri mnogoletnem ispol'zovanii plantacij: dis. ... kand. s./h. nauk. Tver', 2009. 294 s.
3. Laboratornyj praktikum po processam i apparatam himicheskoj i pishhevoj tehnologii: ucheb. posobie / I.Yu. Aleksanjan i dr. Astrahan': Izd-vo AGTU, 2006. 284 s.
4. Leonova M.V., Klimochkin Ju.N. Jekstrakcionnye metody izgotovleniya lekarstvennykh sredstv iz rastitel'nogo syr'ja: ucheb.-metod. posobie. Samara: Izd-vo Samar. gos. tehn. un-ta, 2012.
5. Muratov V.S., Morozova E.A., Konovalova D.M. Analiz processa hranenija kak jetapa tehnologicheskogo cikla tovarodvizhenija // Sovremennye naukoemkie tehnologii. 2008. № 5. S. 74.
6. Nechaev A.P., Traubenberg S.E., Kochetkova A.A. i dr. Pishhevaja himija: ucheb. dlja studentov vuzov / pod red. A. P. Nechaeva. SPb., 2003.
7. Nikolaev P.V. Produktivnost' topinambura pri raznykh tehnologijah vozdel'vanija v uslovijah Verhnevolzh'ja: dis. ... kand. s./h. nauk. Tver', 2011. 201 s.
8. Rominskij I.R. Fruktaza i inulin. Kiev: Izd-vo AN USSR, 1959.
9. Chepurnoj I.P. Proizvodstvo pishhevogo inulina i ego proizvodnyh. Stavropol', 2007.
10. Jarovoj S.A., Savin P.N., Poljanskij K.K. Vlijanie funkcional'nykh ingredientov (molochnaja syvorotka, inulin, fruktozo-gljukoznyj sirop) na antioksidantnye svojstva pishhevyykh produktov // Materialy IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvjashhennoj 80-letiju fakul'teta tehnologii molochnyykh produktov Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. Omsk, 2011.

**Муцаев
Роман Вахаевич**
Mutsaev
Roman Vahaevich
Тел./Phone: (8512) 61-41-91
E-mail: mr.shatoevskiy@mail.ru

*Аспирант
Астраханский государственный технический университет
414056, РФ, г. Астрахань, ул. Татищева, 16
Postgraduate of the Technological Machinery and Equipment Department
Astrakhan State Technical University
414056, Russia, Astrakhan, Tatishcheva St., 16*

**Алексанян
Игорь Юрьевич**
Aleksanyan
Igor Yurievich
Тел./Phone: (8512) 61-41-91
E-mail: ott@astu.org

*Доктор технических наук, профессор
Астраханский государственный технический университет
414056, РФ, г. Астрахань, ул. Татищева, 16
Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Technological Machinery and Equipment
Department
Astrakhan State Technical University
414056, Russia, Astrakhan, Tatishcheva St., 16*

**Поликарпова
Надежда Эдуардовна**
Policarpova
Nadezhda Eduardovna
Тел./Phone: (8512) 31-60-39
E-mail: mr.shatoevskiy@mail.ru

*Экономист 1-й категории
ОАО «Газпром Добыча Астрахань»
414000, РФ, Россия, г. Астрахань, ул. Ленина/Шаумяна, 30/46
First Category Economist
LLC "Gazprom Dobycha Astrakhan"
414000, Russia, Astrakhan, Lenina St./Schaumyana, 30/46*