

V. P. Kochetov, E. N. Tomchyk

**THE FEATURES OF HEAT TRANSFER PROCESSES BETWEEN THE PACKAGED PRODUCT AND ENVIRONMENT DURING OF PERIODIC FLUCTUATIONS IN TEMPERATURE**

The mathematical model of heat transfer between the product and the environment (including the storage of fruits and vegetables) at the ambient temperature changes due to the periodic law is described. The results of calculations on the model and their comparison with the results of investigations of apples storage in the packages with liquid (water) interlayers with high thermal stability were presented. Comparison of calculated and experimental data showed that the proposed mathematical model can be used for the describing changing character and denoting the amplitude of temperature fluctuations in the bulk product packages in the periodic fluctuations in ambient temperature, depending on the configuration of packages.

УДК 635.21/24:624.8

*В статье приведены результаты экспериментальных исследований по изучению физико-механических свойств топинамбура в зависимости от условий хранения клубней, для установления оптимальной технологии очистки его поверхности.*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ТОПИНАМБУРА**

РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь

*З. В. Ловкис, заслуженный деятель науки Республики Беларусь,  
член-корр. НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор,  
генеральный директор;*

*С. А. Арнаут, кандидат технических наук,  
и. о. начальника отдела новых технологий и техники;  
Е. К. Буталевиц, аспирант*

Являющийся близким родственником подсолнечника, топинамбур представляет собой многолетнее клубненозное растение семейства сложноцветных, обладающее мощной корневой системой и достигающее в высоту до 3 — 4 м. Особенно широкой популярностью в кулинарии и народной медицине разных стран мира издавна и традиционно пользуются клубни топинамбура, обладающие причудливой формой, приятным сладковатым вкусом, высокой пищевой и диетологической ценностью, а также широким набором целебных свойств [1, с. 6].

В настоящее время топинамбур в промышленных масштабах возделывается как в Республике Беларусь, так и Российской Федерации. Это ценная кормовая, техническая и продовольственная культура (причем по урожайности существенно превосходит сахарную свеклу, кукурузу и картофель, а по пищевой ценности клубни топинамбура лидируют среди большинства выращиваемых в странах СНГ овощей). Топинамбур в севообороте высаживают для повышения плодородия сельскохозяйственных угодий и защиты посевов от ветров.

Содержащие в своем составе большое количество пектинов, клубни топинамбура используются в производстве мармелада, желе, варенья и джемов для диетического и детского питания. Кроме того, топинамбур уже на протяжении многих лет находит применение в хлебобулочной, мясной, молочной и консервной промышленности, используется в производстве алкогольных и безалкогольных напитков, в производстве разнообразных биологически активных добавок (в

этой сфере фармацевтической промышленности клубни топинамбура используются в основном в качестве источника инулина) [1, с. 42].

Во многих странах мира клубням топинамбура находят разнообразное применение (эти высокопитательные корнеплоды используют как самостоятельно, так и в составе различных блюд, подвергая их предварительно варке, жарению, тушению, солению, маринованию, квашению, консервированию, сушке). Стоит отметить, что и при таких разнообразных видах кулинарной обработки корнеплоды топинамбура не только сохраняют в значительной степени свою пищевую ценность и массу целебных свойств, а также приобретают более насыщенный вкус и аромат по сравнению со свежими клубнями этого растения [2, с. 8].

В состав топинамбура входят: пектины, сахара, минеральные соли (кремния, калия, железа и цинка), белки, аминокислоты и, разумеется, множество витаминов.

В топинамбуре содержится инулин, вещество столь необходимое тем, кто страдает сахарным диабетом. Доказано, что регулярное употребление топинамбура длительный промежуток времени снижает уровень сахара в крови. Эти свойства делают его крайне необходимым как тем, кто уже болен сахарным диабетом, так и тем, кто подвержен этому заболеванию и имеет риск заболеть [3, с. 27].

Помимо пользы для диабетиков, полезные свойства топинамбура оказывают положительное влияние на пищеварительную систему человека.

Топинамбур рекомендуется регулярно употреблять людям, которые живут в городах с плохой экологической средой, так как он выводит из организма соли тяжелых металлов [3, с. 35].

В настоящее время овощи и фрукты в виде полуфабрикатов овощей на столе потребителей должны находиться на протяжении всего года, а не сезонно. Одним из всевозможных способов подготовки натуральных полуфабрикатов является вакуумирование. Перед пищевой промышленностью стоит задача бесперебойной поставки таких полуфабрикатов в торговую сеть в вакуумной упаковке.

Целью наших экспериментальных исследований являлось изучение физико-механических свойств характеристик топинамбура в зависимости от условий хранения клубней. От свойства сырья зависит технология очистки поверхности, производительность и эффективность работы технологического оборудования, потери, качество готовой продукции.

В качестве объектов исследования использовали клубни топинамбура с обработкой поверхности (двухступенчатой мойки и подсушивания) с целью снижения исходной микробиологической обсемененности. На хранение были заложены отсортированные образцы (товарно качественные).

Исследуемые образцы хранили при следующих температурных режимах:

- ♦ группа А —  $(0 \pm 1) ^\circ\text{C}$ ;
- ♦ группа В —  $(11 \pm 1) ^\circ\text{C}$ ;
- ♦ группа С —  $(22 \pm 1) ^\circ\text{C}$ .

Топинамбур хранили в мягкой таре с ограниченным доступом воздуха — герметично упакованным в пакеты из полиэтиленовой пленки.

В клубнях определяли:

- ♦ массовую долю сухих веществ;
- ♦ коэффициент объемного смятия;
- ♦ твердость;
- ♦ силу резания.

Для испытаний качества клубней топинамбура использовались следующие методики:

#### *1. Определение содержания сухих веществ.*

Определение массовой доли сухих веществ в клубнях осуществляли методом высушивания до достижения заданного времени сушки при заданной температуре. Металлические бюксы с навеской образца массой 5 г высушивали в сушильном электрическом шкафу при температуре  $130 ^\circ\text{C}$  в течение 50 мин охлаждали в эксикаторе в течение 20 мин и взвешивали.

Массовую долю сухих веществ в клубнях топинамбура, СВ, %, рассчитывали по формуле:

$$CB = \frac{m_1 - m_2}{m_3} \cdot 100, \quad (1)$$

где  $m_1$  — масса бюксы с навеской образца после высушивания, г;  $m_2$  — масса бюксы, г;  $m_3$  — масса навески образца, г.

Результат округляли до первого десятичного знака.

За окончательный результат принимали среднее арифметическое результатов двух параллельных определений, абсолютное расхождение между которыми не должно превышать 1,0 % (при одновременной сушке проб в шкафу).

### 2. Определение силы резания клубней.

Определение силы резания клубней топинамбура осуществляли на текстурном анализаторе «Brookfield CT3-10000» (Brookfield, США) представленном на рис. 1А.

Образец устанавливали на столик прибора с прорезью и с помощью функциональных кнопок приближали вплотную к нему измерительный инструмент, в качестве которого выступал стальной нож толщиной 3 мм, с односторонней заточкой под углом 30°. Вводили параметры испытания: усилие касания  $F_k = 5$  г, скорость перемещения ножа  $V = 1$  мм/с, глубина погружения ножа  $H = 40$  мм, наличие реверсионного движения с аналогичными характеристиками.

Силу резания клубней,  $R$ ,  $H$ , вычисляли по формуле:

$$R = \frac{F_{\max} \cdot 9,81}{1000}, \quad (2)$$

где  $F_{\max}$  — максимальное усилие при прохождении ножа через образец, г; 9,81 — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

На рис. 2А представлена диаграмма определения усилия резания.

### 3. Определение твердости клубней.

Определение твердости клубней топинамбура осуществляли на текстурном анализаторе «Brookfield CT3-10000» (Brookfield, США) представленном на рис. 1Б.

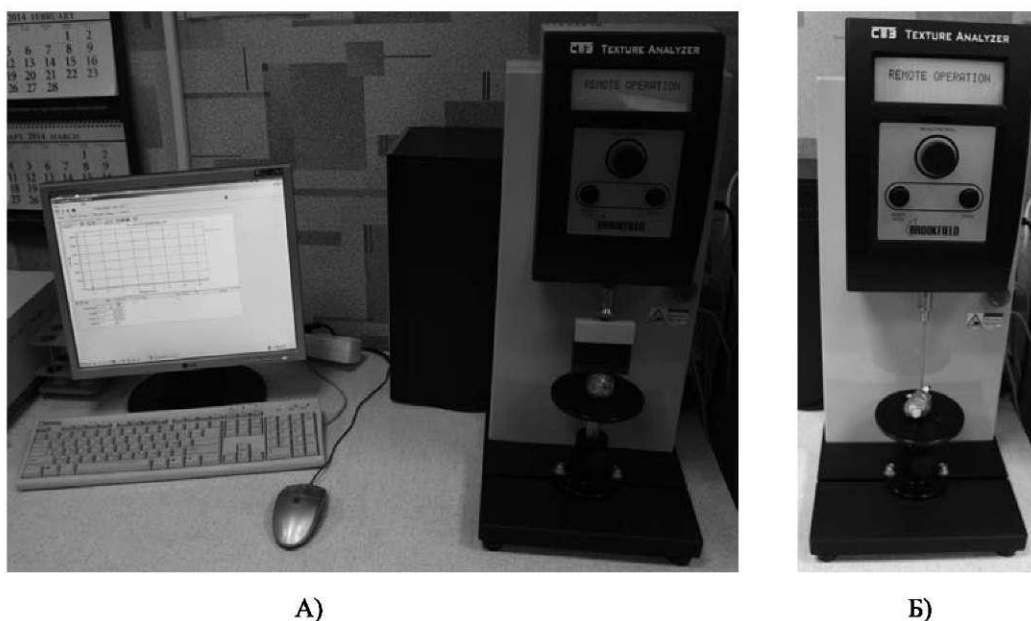


Рис. 1. Текстурный анализатор «Brookfield CT3-10000» (Brookfield, США)  
 А) — Определение силы резания клубней; Б) — Определение твердости клубней

Образец устанавливали на столик прибора и с помощью функциональных кнопок приближали вплотную к нему измерительный инструмент, в качестве которого выступал стальной цилиндр диаметром 4 мм. Вводили параметры испытания: усилие касания  $F_k = 5$  г, скорость

перемещения цилиндра  $V=1$  мм/с, глубина погружения цилиндра  $H=25$  мм, наличие реверсионного движения с аналогичными характеристиками.

Твердость клубней,  $P_R$ , Па, вычисляли по формуле:

$$P_R = \frac{F_{\max} \cdot 9,81}{1000 \cdot \pi \cdot r^2}, \quad (3)$$

где  $F_{\max}$  — максимальное усилие достигнутое на момент разрушения поверхности клубня, г; 9,81 — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $r$  — радиус цилиндра, м.

На рис. 2Б представлена диаграмма определения твердости.

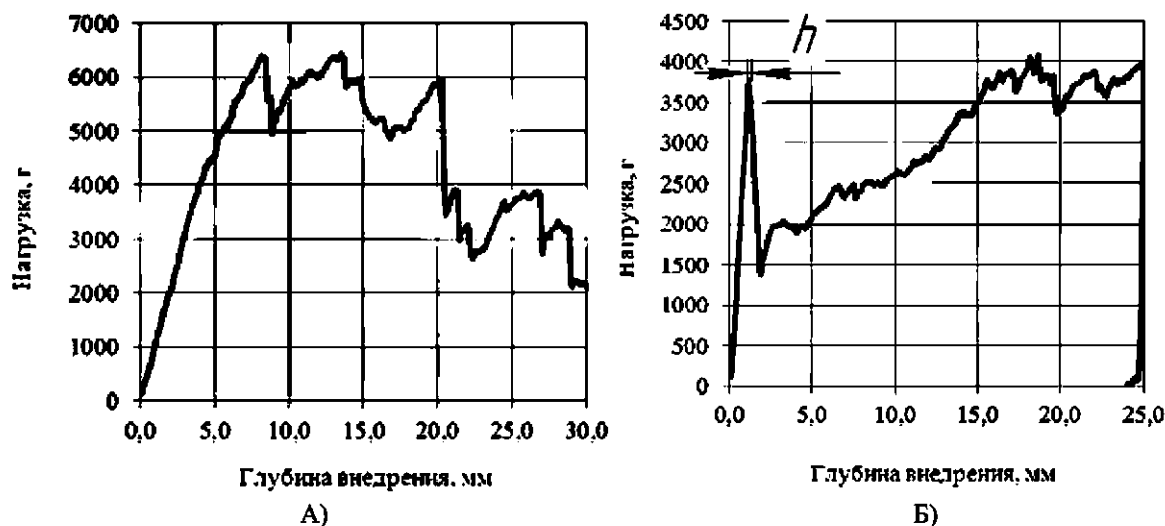


Рис. 2. Диаграммы определения усилия резания (А) и твердости (Б)

#### 4. Определение коэффициента объемного смятия.

Коэффициента объемного смятия,  $k$ , Н/м<sup>3</sup>, вычисляли по формуле:

$$k = \frac{F \cdot 9,81}{1000 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h}, \quad (4)$$

где  $F$  — максимальное усилие, достигнутое на момент разрушения поверхности клубня, г; 9,81 — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $h$  — расстояние пройденное цилиндром до разрушения поверхности образца, м (рис. 2Б);  $r$  — радиус цилиндра, м.

Математическая обработка полученных данных позволила определить средние параметры твердости, коэффициента объемного смятия, силы резания, значение которых в дальнейшем будут использоваться для производства технических средств очистки поверхности топинамбура. Динамика физико-механических характеристик клубней топинамбура в процессе хранения представлена на рис. 1 — 3.

Для большей наглядности на рисунках отражена также динамика содержания сухих веществ в клубнях как определяющего фактора, влияющего на исследуемые показатели.

Полученные данные по изучению физико-механических свойств клубней топинамбура группы А в процессе их хранения при температуре  $(0 \pm 1) ^\circ\text{C}$  позволили установить схожий характер динамики коэффициента объемного смятия клубней и силы резания. Резкое снижение величины данных показателей на 5 сутки хранения обусловлено намоканием поверхности клубней и снижением их прочностных свойств.

Величина твердости клубней топинамбура группы В за исследуемый период не изменилась и составила 3,0 МПа на уровне исходного значения. Твердость клубней топинамбура группы А уменьшилась в 1,2 раза (с 3,4 до 2,9 МПа). Наибольшая потеря твердости клубня (в 1,3 раза) отмечена в образцах топинамбура группы С (с 3,2 до 2,4 МПа).

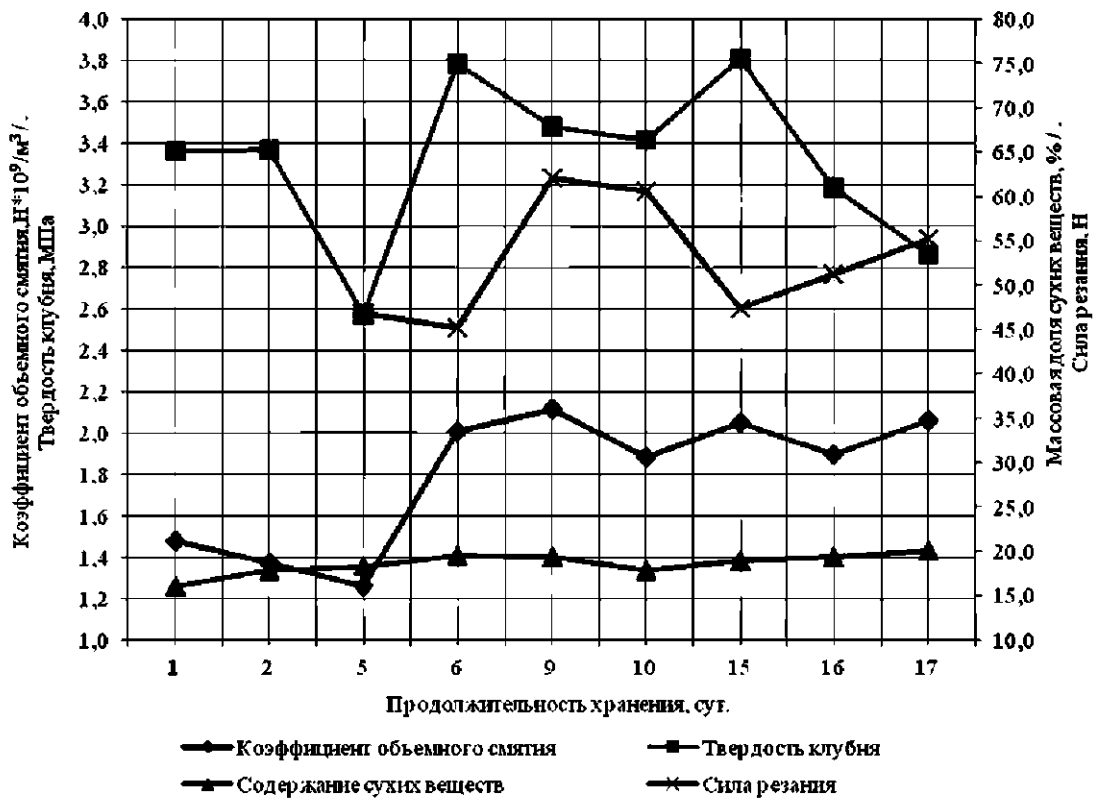


Рис. 3. Динамика физико-механических характеристик клубней топинамбура группы А в процессе хранения

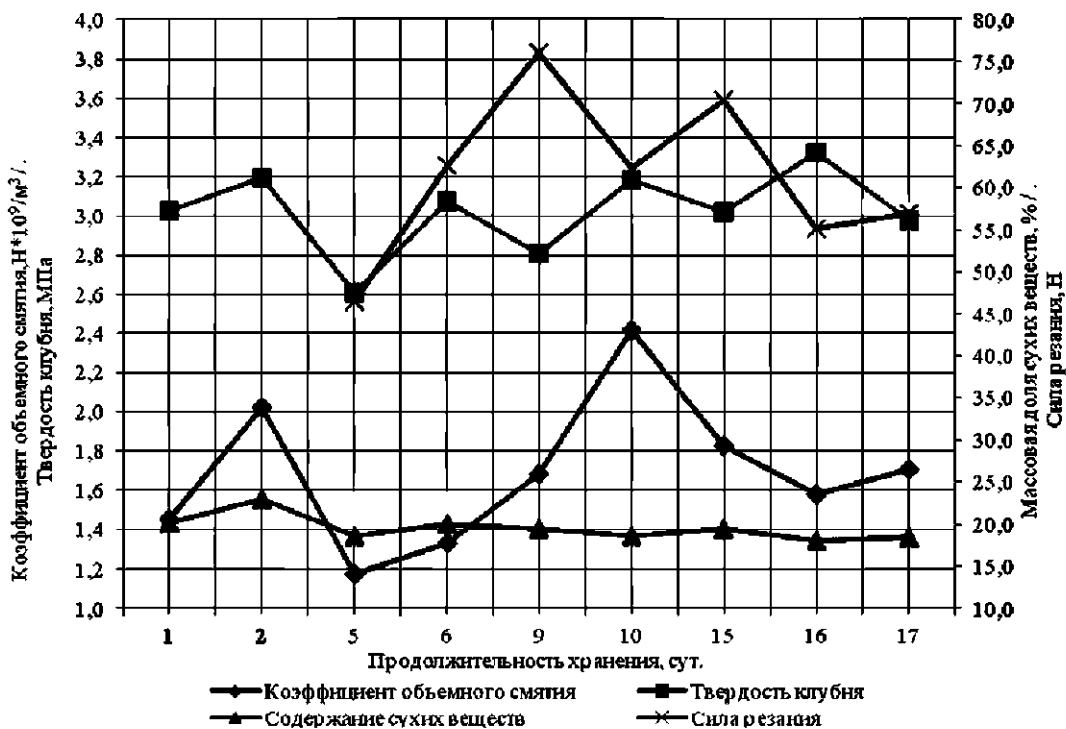


Рис. 4. Динамика физико-механических характеристик клубней топинамбура группы В в процессе хранения

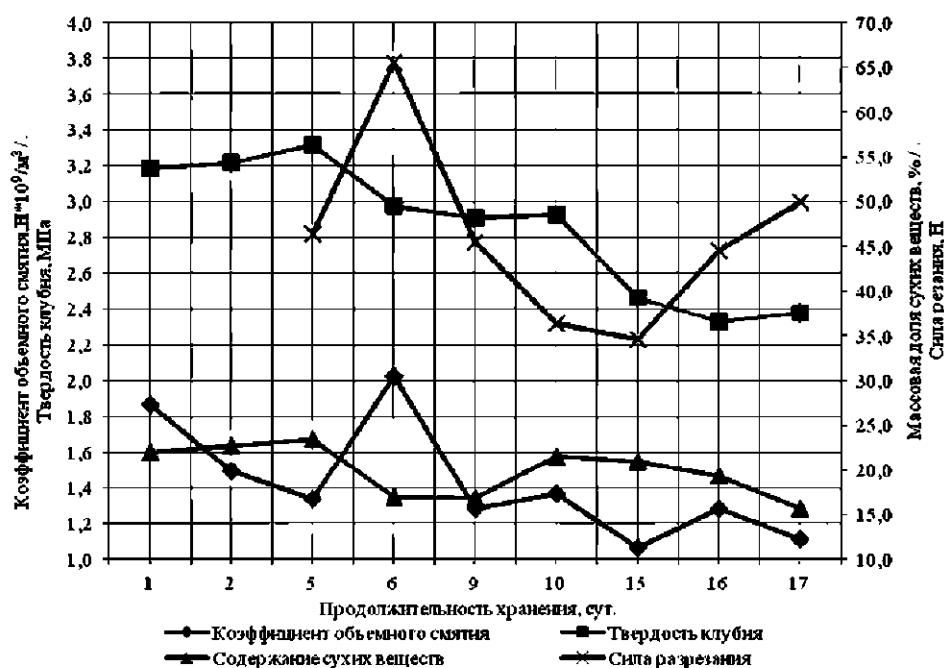


Рис. 5. Динамика физико-механических характеристик клубней топинамбура группы С в процессе хранения

Динамика силы резания клубней всех групп имеет характер, обратный динамике их твердости. За 17 суток хранения величина силы резания клубней топинамбура групп А и В возросла в 1,2 раза (с 46,5-46,8 до 55,2-56,9 Н), группы С — в 1,1 раза (с 46,4 до 49,9 Н). Вероятно, это обусловлено снижением упругих (хрупких) и повышением пластичных свойств основных структурных составляющих клубней в результате гидролитического расщепления пектина, крахмала, инулина.

Изменение физико-механических свойств клубней топинамбура в процессе хранения отражено изменением характера кривых, характеризующих процесс разрезания клубней. Кривые групп А — В имеют участки с резким скачкообразным снижением усилия нагружения, что обусловлено волокнистой структурой образцов и их склонностью к растрескиванию. В образцах группы С через 10 суток хранения кривая имеет более плавный характер и отражает большую пластичность клубней.

Таким образом, предварительные данные о динамике показателей физико-механических свойств позволяют сделать вывод о необходимости выбора режимов очистки в зависимости от сроков и условий хранения клубней топинамбура до операций очистки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Катренко, Л.В. Топинамбур. Источник целебной фруктозы / Л.В. Катренко. — М.: Дия, 2011. — 144 с.
2. Скоблина, В.И. Топинамбур / В.И. Скоблина. — М.: Армада-пресс, 2001. — 36 с.
3. Новиков, А.В. Чудо-целитель цивилизации инков. Топинамбур. Лучший помощник при диабете / А.В. Новиков. — М.: АСТ, 2011. — 160 с.

Рукопись статьи поступила в редакцию 21.02.2014

Z. V. Lovkis, S. A. Arnaut, Y. K. Butalevich

## RESEARCH OF PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES OF THE GIRASOL

In article are provided results of pilot studies on studying of physicomеchanical properties of a girasol are given in article depending on storage conditions of tubers, for establishment of optimum technology of cleaning of its surface.