

CZU 664.84/.85.037.1(478)

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ХРАНЕНИЯ ФРУКТОВ И ОВОЩЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЕСТЕСТВЕННОГО ХОЛОДА НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА

*Викторин СЛИПЕНКИ**Государственный Аграрный Университет Молдовы*

Abstract. In this paper the parameters of the process of fruits and vegetables storage using the natural cold were determined and evaluated. These parameters: atmospheric air temperature and speed, the duration of cold and warm seasons and design parameters of cold units were determined experimentally in the north, center and south of the Republic of Moldova. The sum of temperatures inside and outside of the ice store are practically identical within 24 hours. Because of this, for the calculation of natural cold units parameters the exterior air temperature may be taken as equal to the inside temperature. Within the same climatic zone the duration of warm season and the sum of exterior air temperatures also depend on the site relief (altitude) and slope angle and vary within the limits of 10-13%. These parameters must be taken into account for more exact calculations of the length of use of natural cold units. Air speed inside of the ice store is approximately 2-2,5 times lower than the exterior air speed for different climatic zones of the Republic of Moldova and varies from 1,2 to 2,0 m/s.

Key words: Cold storage; Fruits; Vegetables; Air temperature; Cold season; Warm season; Operational processes; Parameters.

Реферат. В данной работе определены и оценены параметры процесса хранения фруктов и овощей с применением естественного холода. Эти параметры: температура и скорость атмосферного воздуха, продолжительность холодного и теплого периодов года, конструктивно-технические параметры установок определены экспериментальным путем на севере, центре и юге Республики Молдова. Установлено, что сумма температур внутри и вне льдохранилища в течение суток практически одинаковы. Поэтому в расчетах параметров установок естественного холода температуру наружного воздуха можно принять равной температуре воздуха внутри льдохранилища. Для одной и той же климатической зоны продолжительность теплого периода года и сумма температур наружного воздуха зависят и от рельефа (высоты) местности и угла склона и колеблются в пределах 10-13%. Для более точных расчетов продолжительности использования установок естественного холода необходимо учитывать данные параметры. Скорость воздуха внутри льдохранилища ориентировочно в 2-2,5 раза меньше скорости наружного воздуха для различных климатических зон Республики Молдова и колеблется от 1,2 до 2,0 м/с.

Ключевые слова: Хранение; Фрукты; Овощи; Температура воздуха; Холодный сезон; Теплый сезон; Технологические процессы; Параметры.

ВВЕДЕНИЕ

Методология применения естественного холода для хранения фруктов и овощей разработана в работах зарубежных и наших ученых - профессора, доктора технических наук Мусина А.М. (Россия), профессора, доктора технических наук Цой Ю.А. (Россия), профессора, доктора хабилитата технических наук Волконовича Л.Ф. (Республика Молдова).

В этих работах не ставится проблема оптимизации параметров установки естественного холода УЕХ (аккумулятора с водой) для хранения фруктов и овощей, что обеспечило бы минимизацию объема аккумулятора с водой, затрат материала на их изготовление, а также увеличения продолжительности применения УЕХ сезонного действия.

Усовершенствованные УЕХ сезонного действия для хранения фруктов и овощей являются экологически чистыми, энергосберегающими установками, которые используют минимизированные затраты материала на их изготовление.

К комплексу проблем требующих обязательное решение в связи с получением экологически чистых продуктов относится и разработка экологических технологий хранения пищевых продуктов с применением естественного холода. Это особенно важно для Республики Молдова, которая импортирует более 90% энергоресурсов. Поэтому, определение параметров влияющих на эффективное функционирование установок естественного холода для хранения фруктов и овощей является весьма актуальной задачей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Основные параметры, влияющие на эффективное функционирование установок естественного холода (аккумуляторов с водой и льдохранилищ) это:

- температура и скорость атмосферного воздуха;
- продолжительность холодного и теплого периодов года;
- конструктивно-технические параметры установок.

Указанные параметры определены экспериментальным путем на севере, центре и юге Республики Молдова. Была использована методика обоснования конструктивно-технологических параметров установок естественного холода (аккумуляторов с водой и льдохранилищ) приводится в (Волконович, Л., Сырги, К. 2002).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Когда рассматриваем такие параметры как температура и скорость атмосферного (наружного) воздуха необходимо определить, если можем принять в расчетах температуру и скорость атмосферного (наружного) воздуха равными температурой и скорости воздуха внутри льдохранилища.

Экспериментально определяли температуру и скорость воздуха внутри и вне льдохранилища в с. Цауль, Дондюшанского района, Республики Молдова.

Было установлено, что сумма температур внутри и вне льдохранилища в течение одних суток практически одинаковы (рис. 1).

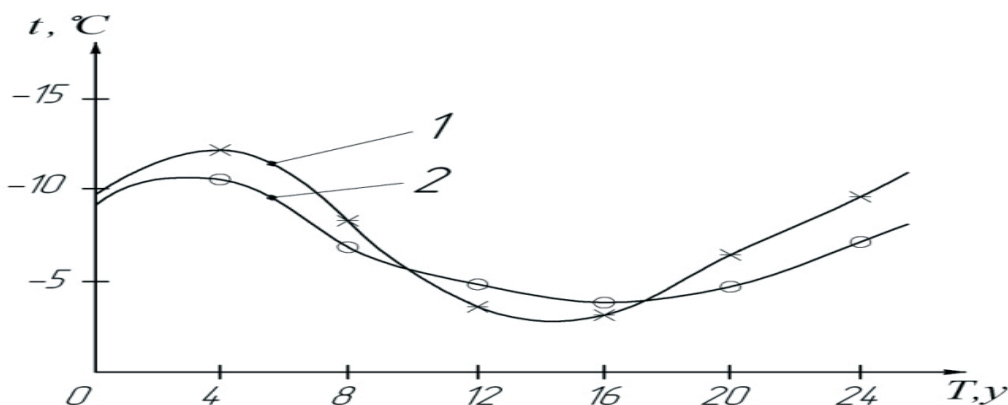


Рисунок 1. Динамика изменения температур воздуха вне (1) и внутри (2) льдохранилища

Поэтому в расчетах параметров установок естественного холода температуру наружного воздуха можем принять равной температуре воздуха внутри льдохранилища.

В расчетах естественного холода обычно применяется средняя температура наружного воздуха, которая определяется из аналитических выражений закона распределения 1, 2 и 3 (Волконович, Л., Сырги, К. 2002).

$$\begin{cases} F(t_H) = 0,32 + 0,027 \cdot t_H + 0,0006 \cdot t_H^2 & (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} F(t_H) = 0,3 + 0,026 \cdot t_H + 0,0006 \cdot t_H^2 & (2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} F(t_H) = 0,28 + 0,025 \cdot t_H + 0,0006 \cdot t_H^2 & (3) \end{cases}$$

Для большого удобства, чтобы отсчет аргумента производился от нуля, а не от -30°C , как показано на рис. 4.5 [1], введем новую переменную: $Z = t_H + 30$

В этом случае выражения 1, 2 и 3 примут вид:

$$F(Z) = 0,32 + 0,027 \cdot (Z - 30) + 0,0006 \cdot (Z - 30)^2; \quad (4)$$

$$F(Z) = 0,3 + 0,026 \cdot (Z - 30) + 0,0006 \cdot (Z - 30)^2; \quad (5)$$

$$F(Z) = 0,28 + 0,025 \cdot (Z - 30) + 0,0006 \cdot (Z - 30)^2; \quad (6)$$

Для определения среднего значения наружной температуры воздуха требуется определить плотность вероятностей t_n , которая как известно равна:

$$f(t_i) = \frac{\partial F(t_i)}{\partial(t_i)} \tag{7}$$

или в новых переменных

$$f(Z) = \frac{\partial F(t_i)}{\partial(t_i)} = (0,05 - 0,009 \cdot Z + 0,0006 \cdot Z^2)' = -0,009 + 0,0012 \cdot Z \tag{8}$$

- для севера Р.М.

$$f(Z) = \frac{\partial F(t_i)}{\partial(t_i)} = (0,06 - 0,01 \cdot Z + 0,0006 \cdot Z^2)' = -0,01 + 0,0012 \cdot Z \tag{9}$$

- для центра Р.М.

$$f(Z) = \frac{\partial F(t_i)}{\partial(t_i)} = (0,07 - 0,011 \cdot Z + 0,0006 \cdot Z^2)' = -0,011 + 0,0012 \cdot Z \tag{10}$$

- для юга Р.М.

Это уравнения прямой линии, вида:

$$f(Z) = a + b \cdot Z \tag{11}$$

Для такой линейной плотности вероятностей среднее значение определения элементарно просто из условия:

$$Z_{\bar{n}\delta} \cdot \int_0^{Z_m} f(Z) dZ = \int_0^{Z_m} Z \cdot f(Z) dZ$$

$$\text{или } Z_{\bar{n}\delta} = \frac{\int_0^{Z_m} Z \cdot f(Z) dZ}{\int_0^{Z_m} f(Z) dZ} \tag{12}$$

Подставляя $f(Z) = a + b \cdot Z$, беря интервалы и подставляя пределы, получаем:

$$Z_{\bar{n}\delta} = \frac{\int_0^{Z_m} Z \cdot (a + b \cdot Z) dZ}{\int_0^{Z_m} (a + b \cdot Z) dZ} = \frac{\int_0^{Z_m} a \cdot Z dZ + \int_0^{Z_m} b \cdot Z^2 dZ}{\int_0^{Z_m} a dZ + \int_0^{Z_m} b \cdot Z dZ} =$$

$$= \frac{\frac{aZ^2}{2} \Big|_0^{Z_m} + \frac{bZ^3}{3} \Big|_0^{Z_m}}{aZ \Big|_0^{Z_m} + \frac{bZ^2}{2} \Big|_0^{Z_m}} = \frac{\frac{a \cdot Z_m^2}{2} + \frac{b \cdot Z_m^3}{3}}{a \cdot Z_m + \frac{bZ_m^2}{2}} = \frac{\frac{a \cdot Z_m}{2} + \frac{b \cdot Z_m^2}{3}}{a + \frac{bZ_m}{2}}$$

Подставляя значения “a” и “b” из уравнений 8, 9 и 10 в уравнение 13, а также учитывая, что $Z_m = t_n + 30 = 0 + 30 = 30^\circ\text{C}$ получаем t_{xp} соответственно для севера, центра и юга Республики Молдова равными 25; 26,3 и 27,9°C или $t_{n,ср.}$ на уровне - 5°C; - 3,7°C и -2,1°C.

Таким образом определили средние температуры наружного воздуха $t_{n,ср.}$ в интервале от - 30°C до 0°C на территории Республики Молдова.

Следует отметить, что даже в апреле месяце в Республике Молдова есть возможность частично использовать естественный холод для хранения фруктов, овощей и охлаждения молока.

Учитывая, что минимальные и максимальные значения температур наружного воздуха колеблются в отличие от среднемесячной температуры наружного воздуха, (табл. 1) в одну и в другую сторону на 5 и 6°C, то в этом случае возможно хранения картофеля ($t_{xp} = 2...4^\circ\text{C}$), охлаждение молока до +6°C, а также хранение маточного лука. Для этого необходимо использовать естественный холод, накапливаемый в ночное время, когда температура наружного воздуха принимает минимальные значения.

Таблица 1. Средняя температура воздуха в апреле месяце в Республики Молдова

Климатический район	Год											
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Север	9,7	9,4	10,2	9,3	9,9	11,1	10,3	9,6	11,7	11,2	10,2	9,3
Центр	10,8	10,4	10,9	10,6	11	12,2	11	10,2	13,3	12,5	11,6	10,2
Юг	11,3	10,2	11,1	10,9	11,7	11,8	11,6	10,1	13,7	12,9	11,5	10,9
Среднее	10,6	10,0	10,7	10,3	10,9	11,7	11,0	10,0	12,9	12,2	11,1	10,1

Также, экспериментально установили (рис. 2), что скорость воздуха внутри льдохранилища ориентировочно в 2...2,5 раза меньше скорости наружного воздуха.

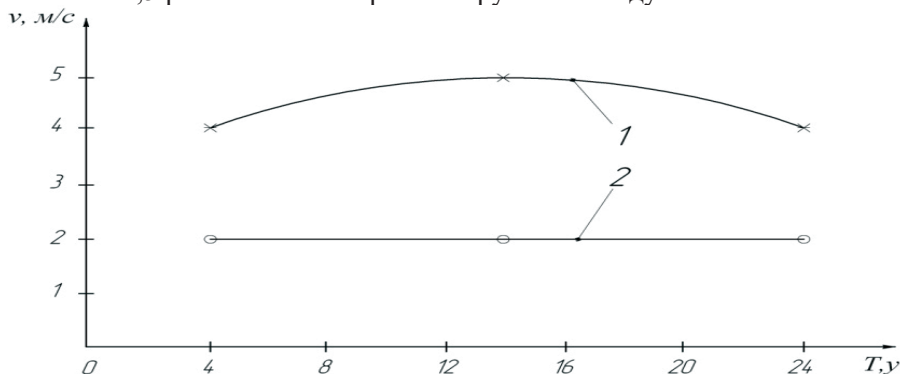


Рисунок 2. Динамика изменения скорости воздуха вне (1) и внутри (2) льдохранилища

В этом случае для ориентировочных расчетов можем принять скорость воздуха внутри льдохранилища в 2,5 раза меньше скорости наружного воздуха для различных климатических зон Республики Молдова. Таким образом, скорость воздуха внутри льдохранилища на территории Республики Молдова колеблется от 1,2 до 2,0 м/с.

С учетом, что скорость намораживания льда δ [2] определяется по формуле:

$$\delta = -\frac{t}{3} \left(1 + \frac{v}{2} \right) \tag{14}$$

где t и v - температура и скорость воздуха.

С учетом данных из табл. 2 определили среднюю скорость намораживания льда на территории Республики Молдова, которая, ориентировочно, может быть определена по формуле:

$$\delta = 0,6 \cdot t \tag{15}$$

Таблица 2. Средняя скорость воздуха вне и внутри льдохранилища

№ п/п	Месторасположение станции, Республика Молдова	Средняя скорость наружного воздуха v_n , м/с	Средняя скорость воздуха внутри льдохранилища, v_b , м/с
1	Бричаны	3,2	1,2
2	Сороки	5,1	2,0
3	Каменка	4,5	1,8
4	Воронково	5,0	2,0
5	Корпачь	3,3	1,3
6	Бельцы	3,5	1,4
7	Корнешть	4,4	1,8
8	Кэрпинены	2,3	1,2
9	Кишинэу	3,4	1,4
10	Тирасполь	3,4	1,4
11	Олэнешть	5,0	2,0
12	Комрат	3,6	1,5
13	Леова	3,4	1,4
14	Кагул	3,9	1,6

В ранее проведенных исследованиях была определена продолжительность холодного и теплого периодов года для севера, центра и юга Республики Молдова (Кушнир, М. 2015) . Это позволило определить продолжительность использования аккумуляторов с водой и льдохранилищ на территории Республики Молдова (Кушнир, М., Волконович, Л. 2018).

Следует отметить, что продолжительность использования установок естественного холода зависит не только от климатической зоны, но и от рельефа (высоты) местности и угла склона (Волконович, Л.Ф., Волконович, А.Л. и др. 2017). В табл. 2 показано, что для одной и той же климатической зоны продолжительность теплого периода года и сумма температур наружного воздуха зависят от указанных параметров. Они колеблются в пределах 10 - 13%. Поэтому для более точных расчетов продолжительности использования установок естественного холода необходимо учитывать такие параметры как рельеф (высота) местности и угол склона.

В частности, установили соотношение горизонтальной поверхности испарения воды $S_{e\bar{n}}$ в аккумуляторе с водой к его объему V для яблок, винограда и капусты, а также для маточного лука:

$$\text{для яблок } \frac{S_{e\bar{n}}}{V} \geq 0,3 \quad (16)$$

$$\text{для винограда и капусты: } \frac{S_{e\bar{n}}}{V} \geq 0,15 \quad (17)$$

$$\text{для маточного лука } \frac{S_{e\bar{n}}}{V} \geq 1,2 \quad (18)$$

Таблица 3. Сумма температур $\sum t$ наружного воздуха $> 0^\circ\text{C}$ и количество дней T с температурой воздуха 0°C , $\sum t / T$

№	Климатические ресурсы	Плато, м.			С, м.			Ю, м			З, м		В, м	
		300	200	100	2-6	6-10	>10	2-6	6-10	>10	2-6	2-6		
1.		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
1.	Подзоны Северомолдавского плато	3080	3240	3400	2970	2850	<2780	3240	3370	>3430	3110	3110		
		257	264	271	248	236	<230	270	280	>285	258	258		
2.	Подзоны Приднестровской возвышенности	3140	3340	3540	2990	3890	<2850	3330	3450	>3540	3210	3210		
		260	267	274	251	240	<234	273	282	>288	261	261		
3.	Бэлцкой степной равнины	—	3350	3510	3230	3070	<3000	3500	3630	>3700	3370	3370		
		—	264	271	254	242	<236	275	286	>291	265	265		
4.	Подзона Северного Припрутья	—	—	3630	3510	3340	<3260	3800	3940	>4010	3660	3660		
		—	—	274	264	251	<245	285	296	>301	275	275		
5.	Центральные Кодры	3270	3430	3590	3170	3030	<2960	3420	3560	>3640	3300	3300		
		264	271	278	255	243	<237	275	285	>292	265	265		
6.	Подзоны периферии Центральных Кодр	3250	3510	3670	3330	3180	<3110	3620	3760	>3820	3470	3470		
		267	274	280	261	249	<244	283	295	>300	272	272		
7.	Подзона Юго-Восточной окраины Центральных Кодр	—	3630	3790	3590	3370	<3280	3810	3950	>4020	3680	3680		
		—	281	289	272	259	<252	293	304	>309	283	283		
8.	Подзона Южно-бессарабской степной равнины	—	—	3850	3750	3650	—	4050	4120	—	3910	3910		
		—	—	290	281	274	—	303	309	—	293	293		
9.	Подзоны степного района Приднестровья	—	—	3660	3500	<3410	—	3800	>3870	—	3660	3660		
		—	—	279	267	<260	—	290	>290	—	279	279		
10.	Подзоны возвышенной равнины Восточной зоны	—	—	3630	3430	3360	—	3710	3780	—	3580	3580		
		—	—	265	265	259	—	282	292	—	276	276		

Примечание: Здесь, в табл. 3: С, Ю, З, В - склоны соответственно северный, южный, западный и восточный; 2-6, 6-10, и >10 – угол склона.

Оптимальные конструктивные параметры аккумуляторов с водой, имеющие форму параллелепипеда и цилиндра определены в [2]. Критерием оценки оптимальных конструктивных параметров являются минимальные приведенные затраты.

$$\begin{cases} h = \sqrt[3]{\frac{V}{4}} \\ S = \sqrt[3]{4V^2} \end{cases} \Rightarrow \text{для аккумуляторов имеющих форму параллелепипеда} \quad (19)$$

$$\begin{cases} h = \sqrt[3]{\frac{V}{4}} \\ S = \sqrt[3]{\pi V^2} \end{cases} \Rightarrow \text{для цилиндрической формы аккумулятора} \quad (20)$$

где: V , S и h — соответственно объем, горизонтальная площадь и высота аккумуляторов с водой.

Также установили, что затраты материалов на изготовление аккумулятора с водой имеющего форму полусферы на 14% и 20% меньше аккумулятора соответственного имеющего форму цилиндра и параллелепипеда.

Основные параметры процесса хранения фруктов и овощей это температура и влажность воздуха в хранилище.

Температуру воздуха внутри фрукто- или овощехранилище необходимо поддерживать на минимально допустимом уровне, а влажность воздуха на максимально допустимом уровне (Волкович, Л., Кушнир, М., Кирияк, И. 2013).

Например, известно, что увеличение температуры хранения яблок с $0...1^{\circ}\text{C}$ до 4°C приводит к увеличению потерь продукции в 1,5...1,6 раза, а повышение потерь влаги на 1% приводит к увеличению потерь веса яблок на 0,6%. Поэтому особое внимание необходимо уделить при выборе точности технических средств контроля за температурой и влажностью воздуха в хранилищах.

Экспериментально установили, что сумма температур внутри и вне льдохранилища в течение суток практически одинаковы, рис. 1.

Поэтому в расчетах параметров установок естественного холода температуру наружного воздуха можем принять равной температуре воздуха внутри льдохранилища.

В расчетах естественного холода обычно применяется средняя температура наружного воздуха, которая определяется из аналитических выражений закона распределения и находится на уровне -5°C ; $-3,7^{\circ}\text{C}$ и $-2,1^{\circ}\text{C}$ соответственно для севера, центра и юга Республики Молдова

Скорость воздуха внутри льдохранилища ориентировочно в 2...2,5 раза меньше скорости наружного воздуха для различных климатических зон Республики Молдова и колеблется от 1,2 до 2,0 м/с.

Следует отметить, что продолжительность использования установок естественного холода зависит не только от климатической зоны, но и от рельефа (высоты) местности и угла склона. Показано, что для одной и той же климатической зоны продолжительность теплого периода года и сумма температур наружного воздуха зависят от указанных параметров и колеблются в пределах 10-13%. Поэтому для более точных расчетов продолжительности использования установок естественного холода необходимо учитывать такие параметры как рельеф (высота) местности и угол склона.

Также, следует отметить, что даже в апреле месяце в Республике Молдова есть возможность частично использовать естественный холод для хранения фруктов и овощей.

ВЫВОДЫ

Основные параметры, влияющие на эффективное функционирование установок естественного холода (аккумуляторов с водой и льдохранилищ) это:

- температура и скорость атмосферного воздуха;
- продолжительность холодного и теплого периодов года;
- конструктивно-технические параметры установок.

Указанные параметры определены экспериментальным путем на севере, центре и юге Республики Молдова.

Следует отметить, что продолжительность использования установок естественного холода за-

висит не только от климатической зоны, но и от рельефа (высоты) местности и угла склона. Для одной и той же климатической зоны продолжительность теплого периода года и сумма температур наружного воздуха зависят от указанных параметров. Они колеблются в пределах 10 - 13%. Поэтому для более точных расчетов продолжительности использования установок естественного холода необходимо учитывать такие параметры как рельеф (высота) местности и угол склона.

Экспериментально установили, что сумма температур внутри и вне льдохранилища в течение суток практически одинаковы. Поэтому в расчетах параметров установок естественного холода температуру наружного воздуха можем принять равной температуре воздуха внутри льдохранилища.

Скорость воздуха внутри льдохранилища ориентировочно в 2...2,5 раза меньше скорости наружного воздуха для различных климатических зон Республики Молдова и колеблется от 1,2 до 2,0 м/с.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ВОЛКОНОВИЧ, Л., СЫРГИ, К. (2002). Энергосберегающие, экологические системы естественного холода для хранения пищевых продуктов. Кишинев. 334 с. ISBN 9975-62-078-7.
2. КУШНИР, М. (2015). Выбор и обоснование оптимальных параметров и режимов работы, автоматизированных энергосберегающих технологических систем охлаждения молока. In: *Lucrări științifice, UASM, vol. 45: Inginerie agrară și transport auto*, p. 437- 440. ISBN 978-9975-64-276-7.
3. КУШНИР, М., ВОЛКОНОВИЧ, Л., ВОЛКОНОВИЧ, А., КУШНИР, Н., СЛИПЕНКИ, В., ДАЙКУ, А., ВОЛКОНОВИЧ, О., ПОПА, А. (2018). Методика определения оптимальных сроков хранения фруктов и овощей с применением естественного и искусственного холода. In: *Materialele Simpozionului Științific Internațional „Realizări și perspective în ingineria agrară și transport auto”, dedicat aniversării a 85 de ani de la fondarea Universității Agrare de Stat din Moldova, Vol. 51: Inginerie Agrară și Transport Auto. Chișinău: UASM, pp. 382-386. ISBN 978-9975-64-300-9.*
4. ВОЛКОНОВИЧ, Л. Ф., ВОЛКОНОВИЧ, А. Л., КУШНИР, М.Г., ПОПА, А.Г., СЛИПЕНКИ, В. Е., ДАЙКУ, А.С., ВОЛКОНОВИЧ, О. Л., КИРИЯК, И. И. (2017). Определение продолжительности использования энергосберегающих установок естественного и искусственного холода для хранения фруктов и овощей на территории Республики Молдова. В: *Инновации в сельском хозяйстве, № 1, с. 58-64. ISSN 2304-4926.*
5. ВОЛКОНОВИЧ, Л., КУШНИР, М., КИРИЯК, И. (2013). Температурное поле камер хранения фруктов и овощей при смешанном охлаждении. В: *Доклады итоговой научной конференции инженерно-технического института за 2013 г. Тирасполь, pp. 163-165.*

Data prezentării articolului: 03.04.2019

Data acceptării articolului: 06.05.2019