

2-26-2020

## MATHEMATICAL MODELING OF CHANGES IN THE AIR TEMPERATURE UNDER THE VENTILATION CHANNEL IN UNDERGROUND FERTILIZER STORAGE

G. N. Uzakov  
*Karshi Engineering Economics Institute*

Sh. K. Yakhshiboev  
*Karshi Engineering Economics Institute*

A. A. Vardiyashvili  
*Karshi State University*

A. A. Mansurov  
*Karshi Engineering Economics Institute*

D. A. Mamedova  
*Karshi Engineering Economics Institute*

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi>

---

### Recommended Citation

Uzakov, G. N.; Yakhshiboev, Sh. K.; Vardiyashvili, A. A.; Mansurov, A. A.; and Mamedova, D. A. (2020) "MATHEMATICAL MODELING OF CHANGES IN THE AIR TEMPERATURE UNDER THE VENTILATION CHANNEL IN UNDERGROUND FERTILIZER STORAGE," *Scientific-technical journal*: Vol. 24 : Iss. 1 , Article 6.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi/vol24/iss1/6>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific-technical journal by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact [sh.erkinov@edu.uz](mailto:sh.erkinov@edu.uz).

**ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND  
INFORMATION TECHNOLOGIES**

---

УДК 621.427

**MATHEMATICAL MODELING OF CHANGES IN THE AIR TEMPERATURE  
UNDER THE VENTILATION CHANNEL IN UNDERGROUND FERTILIZER STORAGE**

<sup>1</sup>Uzakov G.N., <sup>1</sup>Yakhshiboev Sh.K., <sup>2</sup>Vardiyashvili A.A., <sup>1</sup>Mansurov A.A., <sup>1</sup>Mamedova D.N.

<sup>1</sup>Karshi Engineering Economics Institute,  
<sup>2</sup>Karshi State University

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ  
ВОЗДУХА ПО ВЕНТИЛЯЦИОННОМУ КАНАЛУ В ПОДЗЕМНЫХ  
ПЛОДООВОЩЕХРАНИЛИЩАХ**

<sup>1</sup>Узаков Г.Н., <sup>1</sup>Яхшибоев Ш.К., <sup>2</sup>Вардияшвили А.А., <sup>1</sup>Мансуров А.А., <sup>1</sup>Мамедова Д.Н.

<sup>1</sup>Каршинский инженерно-экономический институт,  
<sup>2</sup>Каршинский государственный университет

**ЕР ОСТИ МЕВА-САБЗАВОТ ОМБОРЛАРИНИНГ ВЕНТИЛЯЦИЯ КАНАЛИДА  
ҲАВО ҲАРОРАТИНИ ЎЗГАРИШИНИ МАТЕМАТИК МОДЕЛЛАШТИРИШ**

<sup>1</sup>Узаков Г.Н., <sup>1</sup>Яхшибоев Ш.К., <sup>2</sup>Вардияшвили А.А., <sup>1</sup>Мансуров А.А., <sup>1</sup>Мамедова Д.Н.

<sup>1</sup>Қарши муҳандислик-иқтисодий институти,  
<sup>2</sup>Қарши давлат университети

*The article deals with the issues of mathematical modeling of heat exchange processes and temperature changes during air movement through the ventilation channel in underground fruit and vegetable storage facilities.*

**Keywords:** mathematical modeling, air temperature, non-stationary heat exchange, ventilation duct, underground vegetable storehouse.

*В статье рассматриваются вопросы математического моделирования теплообменных процессов и изменения температуры при движении воздуха по вентиляционному каналу в подземных плод овощехранилищах.*

**Ключевые слова:** Математическое моделирование, температура воздуха, нестационарный теплообмен, вентиляционный канал, подземное овощехранилище.

*Мақолада ер ости мева-сабзавот омбордаги вентиляция каналда ҳавонинг ҳаракатланишида иссиқлик алмашилиш жараёнларининг математик моделлаштириши ва температура ўзгариши масаласи кўрилган.*

**Таянч сўзлар:** Математик моделлаштириш, ҳаво температураси, нобарқарор иссиқлик алмашилиш, вентиляцияланувчи канал, ер ости мева-сабзавот омбори.

**Введение.** Обеспечение населения необходимым количеством сельскохозяйственной продукции является одной из основных задач государства. В себестоимости производства и хранения сельхозпродукции значительная доля затрат приходится на энергетические затраты. Энергоемкость производства и хранения продукции позволяет определить перспективные потребности сельского хозяйства в топливе и электроэнергии. Согласно [1], энергоемкость – общая величина расхода всех видов энергии и топлива на производство единицы продукции в соответствии с действующими технологиями в сельском хозяйстве.

В Узбекистане ежегодно выращивается огромное количество сельскохозяйственной продукции. Из-за нехватки хранилищ значительная часть этих продуктов портится и становится непригодным к употреблению. Поэтому в республиках с жарким климатом для

---

**ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES**


---

хранения и переработки сельскохозяйственной продукции круглый год требуется достаточной электрической энергии для производства искусственного холода. Проведенный анализ показывает что, в теоретическом и экспериментальном плане достигнуты очень хорошие результаты по разработке новых способов хранения сельскохозяйственной продукции. На основании этих разработок построены различные камеры хранения, морозильные камеры в которых хранятся огромное количество продукции сельского хозяйства. Это дает возможность бесперебойного снабжения населения продовольствием круглогодично. Несмотря на достигнутые результаты в этой области, условия хранения требуют желать лучшего, особенно в сфере хранения овощей, фруктов, ягод и других.

В Узбекистане в связи с жарким климатом, температура воздуха весной и летом колеблется от 25<sup>0</sup> С до 45<sup>0</sup> С и выше. Достижения параметров воздуха для качественного хранения сельскохозяйственной продукции, даже при кратковременном хранении требует колоссальных затрат энергии. В итоге все расходы отражаются на стоимости сохраняемой продукции, и она повышается в несколько раз, а это нецелесообразно.

Одним из важных препятствий на пути развития отрасли сельского хозяйства является проблема сохранения сельхозпродукции. Она напрямую влияет на качество и себестоимость продукции. Одним из способов решения указанных проблем является создание хранилища сельскохозяйственной продукции непосредственно в местах ее производства.

Основные преимущества систем охлаждения использующей естественный холод перед традиционными холодильными системами, заключается [2]:

- в экономии электроэнергии, воды, расходных материалов и снижении капитальных и эксплуатационных затрат;
- в обеспечении высокой надежности охлаждающих систем вследствие наличия запаса холода в аккумуляторах, простоте обслуживания и ремонта;
- в низкой себестоимости холода за счет уменьшения капитальных затрат и эксплуатационных расходов;
- в улучшении экологической обстановки за счет уменьшения объемов использования фреона и фреоновых масел.

Задачей изучения процесса нестационарного теплообмена при движении воздуха в прямом цилиндрическом подземном канале, занимались ряд ученые мира. Ими были получены определенные решения данной задачи.

**Теоретическое исследование.** Анализ имеющихся решений изменения температуры приточного воздуха в подземных вентиляционных каналах показал, что для случая поступления в одиночный канал воздуха с переменной температурой уже имеются аналитические решения. Они получены К.Ван-Хеерденом [4] и Е.В.Стефановым [5] при условии гармонических колебаний температуры входящего в канал воздуха. Е.В.Стефановым было доказано, [5], что температура воздуха на выходе из канала без искажений воспроизводит изменения температуры воздуха на входе, но с некоторым запаздыванием во времени и изменением абсолютного значения. Поэтому оказалось целесообразным рассмотреть нестационарный теплообмен в одиночных подземных каналах при переменной температуре воздуха на входе с использованием теории систем автоматического регулирования, что позволило выявить параметры приточных подземных вентиляционных каналов как звена системы автоматического регулирования и получить решения в виде уравнения амплитудно - фазовой характеристики звена

$$W_{(i\omega)} = e^{\frac{-h \cdot x}{g}} \left[ M_{(\omega)} + iN_{(\omega)} \right] \quad (1)$$

где:  $M_{(\omega)}=f(\omega)$  - является вещественной частотной характеристикой  $N_{(\omega)}=f(\omega)$  - мнимая частотная характеристика.

**ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND  
INFORMATION TECHNOLOGIES**

Анализ решения (1), полученного на базе теории автоматического регулирования показывает, что его можно привести к виду, полученному Е.В.Стефановым. Для этого необходимо воспользоваться рекуррентными соотношениями для функций Томсона и в  $M(\omega)$  и  $N(\omega)$  перейти к определяющим процесс теплообмена критериям Био ( $Bi$ ) и Предводителя ( $Pd$ ), а передаточную функцию  $W(i\omega)$  рассматривать как отношение температуры воздуха на выходе из канала  $t(x, \tau)$  к температуре воздуха на входе в канал  $t(o, \tau)$ . Тогда общее решение, характеризующее степень изменения температуры воздуха на выходе из подземного канала при  $t(o, \tau) = A_i \cos \omega \tau$  будет иметь вид:

$$\frac{t(x, \tau)}{t(o, \tau)} = e^{\frac{-h \cdot x}{v} (M + iN)} \quad (2)$$

Так как сдвиг колебаний ( $iN$ ) температуры приточного воздуха, движущегося в подземном вентиляционном канале можно не учитывать [3], то степень изменения температуры воздуха на выходе из подземного канала выразится зависимостью

$$\frac{t(x, \tau)}{t(o, \tau)} = e^{\frac{-h \cdot x}{g} M} \quad \text{или} \quad \frac{t_{x, \tau - v_{zP}}}{t_{o, \tau - v_{zP}}} = e^{\frac{-h \cdot x}{g} \cdot M} \quad (3)$$

где:  $M$ , является функцией критериев  $\beta = \sqrt{Pd}$  и  $Bi$ , учитывает процесс распространения температур в окружающем канал массиве;

$$h = \frac{\alpha \cdot S \cdot g}{Q_{y0}}$$

$x$  - расстояние от начального до рассматриваемого сечения канала, м;  $g$  - скорость движения воздуха в канале, м/с;  $\alpha$  - коэффициент теплообмена движущегося воздуха и окружающего канал массива грунта, Вт/м<sup>2</sup>,<sup>0</sup>С;

Для процесса охлаждения движущегося в подземном канале воздуха, т.е. использование аккумулированного холода весной и летом

$$\alpha = 3,55 \cdot g^{0,8} \cdot d^{-0,2} \frac{Вт}{м^2 \cdot 0 \cdot C}, \quad \text{или} \quad \alpha = 3,05 \cdot g^{0,8} \cdot d^{-0,2} \frac{ккал}{м^2 \cdot ч \cdot 0 \cdot C},$$

Для процесса нагревания движущегося в подземном канале воздуха, т.е. аккумуляции холода зимой

$$\alpha = 4,16 \cdot g^{0,8} \cdot d^{-0,2} \cdot \left(\frac{x}{d}\right)^{-0,054} \frac{Вт}{м^2 \cdot 0 \cdot C},$$

или

$$\alpha = 3,58 \cdot g^{0,8} \cdot d^{-0,2} \cdot \left(\frac{x}{d}\right)^{-0,054} \frac{ккал}{м^2 \cdot ч \cdot 0 \cdot C};$$

Примечание: при скорости движения воздуха  $g \geq 10 \text{ м/с}$  разность эффективностей процессов охлаждения и нагревания воздуха становится не более 0,02 - 0,03, чему соответствует незначительное (не более 0,5<sup>0</sup>С) изменение температуры воздуха, чем можно пренебречь и значение  $\alpha$  для охлаждения и нагревания воздуха вычислять по одной зависимости (5).  $S$  - периметр воздуховода, м;  $Q_{y0}$  - удельное количество тепло, переносимое воздухом через поперечное сечение канала в единицу времени,

**ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND  
INFORMATION TECHNOLOGIES**

$$(Q_{y\partial} = C \cdot \rho \cdot g \cdot F)$$

$t_{ep}$  – температура окружающего канал грунта, °C;

Для построения номограммы по аналитическому выражению (3) приведем показатель экспоненциальной функции к окончательному виду

$$-\frac{h \cdot x}{g} \cdot M = -0,00377 \cdot M \cdot \frac{\alpha}{g} \cdot \frac{x}{d} \quad (4)$$

и определим пределы изменения входящих величин.

Исходя из общей оценки всех возможных случаев работы приточных подземных одиночных воздухопроводов, находящихся в неограниченном массиве,

можно принять следующие пределы величин  $\beta$ ,  $Bi$ ,  $\frac{\alpha}{g}$  и  $\frac{x}{d}$

$$\beta = \sqrt{Pd} = \sqrt{\frac{\omega}{a} \cdot r_o} = \sqrt{\frac{2\pi}{T \cdot a} \cdot r_o} = 0,05 \div 4,0$$

$$Bi = \frac{\alpha \cdot r_o}{\lambda} = 0,5 \div 40, \quad \frac{x}{d} = 25 \div 4000, \quad \frac{\alpha}{g} = 0,01 \div 5$$

где:  $T$  – период колебаний, ч;  $a$  – коэффициент температуропроводности окружающего канал массива, м<sup>2</sup>/ч;  $r_o$  – радиус канала, м;  $d$  – диаметр канала, м;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности окружающего канал грунта, Вт/м<sup>0</sup>С.

С целью выявления зависимости  $M = f(\beta)$  и  $M = f(Bi)$  были проделаны численные расчеты величины  $M$  при фиксированных  $Bi = (0,5 \div 40)$  и  $\beta = (0,05 \div 4,0)$ . Результаты показали, что эффективность процесса изменения температуры движущегося в канале воздуха во всех случаях будет определяться величиной температурного напора между обменивающимися теплом средами, временем теплового взаимодействия приточного

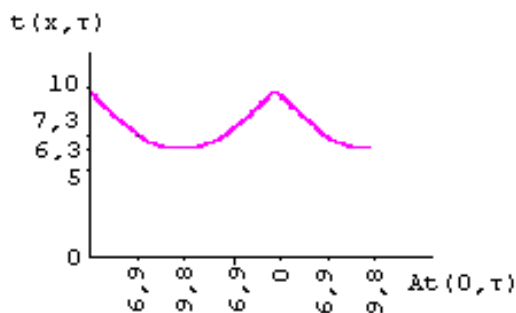


Рис.1 Зависимость  $t(x, \tau) = f(A_{H(0, \tau)})$ . при нагреве воздуха.

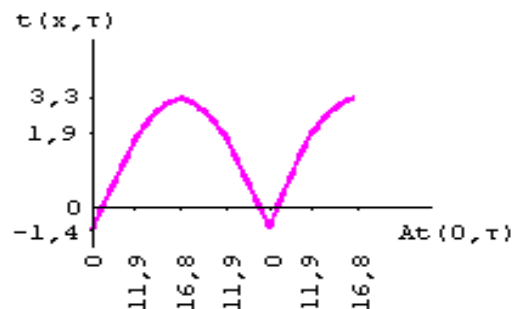


Рис.2 Зависимость  $t(x, \tau) = f(A_{H(0, \tau)})$ . при охлаждении воздуха.

воздуха с грунтом и величиной поверхности теплообмена.

Отношение амплитуд колебаний температур воздуха представлено следующей зависимостью:

$$\frac{A_{t_x}}{A_{t_0}} = \exp(-h/gkx) \quad (5)$$

**Результаты и обсуждение.** На основе выше приведенных математических уравнений была разработана компьютерная программа и в результате были получены графики. Графики которые показаны на рисунках дают наглядную картинку изменения температуры приточного воздуха при движении в вентиляционном канале по его длине.

**Заключение.** Исходя из выше изложенного, можно сделать следующие выводы: 1. Рассмотренный вариант решения изменения температуры приточного воздуха при движении в подземном канале при  $t_{0, \tau} = A_t \cdot \cos \omega \tau$  как звена системы автоматического

**ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND  
INFORMATION TECHNOLOGIES**

регулируемая согласуется и приводится к решению, полученному в [5], а само решение приведено к виду (3,4), удобному для построения номограммы;

2. Графики зависимостей  $A_{t(x,\tau)} = f(e^{-nx})$ ,  $t(x,\tau) = f(A_{t(0,\tau)})$  компьютерных моделей позволяет научно анализировать исследуемые физические процессы нагрева и охлаждения воздуха.

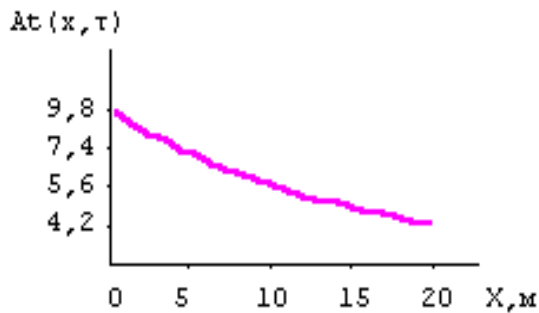


Рис.3 Зависимость  $A_{t(x,\tau)} = f(e^{-nx})$  при нагреве воздуха.

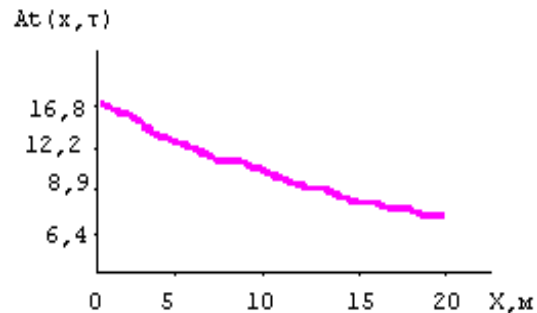


Рис.4 Зависимость  $A_{t(x,\tau)} = f(e^{-nx})$  при охлаждении воздуха.

3. Оптимизировать значения расчетных температур грунтового массива и тем самым добиться снижения установочной мощности оборудования систем холодоснабжения.

4. Выше приведенную математическую модель можно усовершенствовать с применением новых научных разработок и это дает еще более реальную возможность для представления изменения температуры воздуха по вентиляционному каналу.

**References:**

- [1]. Markelov Ye.K., Tixomirov A.V., Tuzova R.V. i dr. Prakticheskaya metodika opredeleniya energozatrat i energoemkosti proizvodstva produktsii, a takzhe potrebnostey v energoresursax. – M.: FGNU «Rosinformagrotex», 2001.- 56 s.
- [2]. Volkonovich L, Sirgi V. Energosberegayushie, ekologicheskie sistemi yestestvennogo holoda dlya xraneniya pishhevix produktov. Monografiya. – Kishinev, 2002, 334 s.
- [3]. SNiP 2.04.05-91\* «Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie vozduxa» M, 1996 g.
- [4]. K.Van-Xeerden «Zadacha o nestatsionarnom teplovom potoke v svyazi s vozдушnim oxlajdeniem ugolnix plastov». Sbornik «Voprosi teploobmena». Gosenergoizdat, 1959 g.
- [5]. Stefanov Ye.V. «Rezultati issledovaniya neizotermicheskogo techeniya nesjimaemoy jidkosti v podzemnix kanalax i trubax». Injenerno- fizicheskiy jurnal t.XI №4-1966 g.

**Список литературы**

- [1]. Маркелов Е.К., Тихомиров А.В., Тузова Р.В. и др. Практическая методика определения энергозатрат и энергоемкости производства продукции, а также потребностей в энергоресурсах. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2001.- 56 с.
- [2]. Волконович Л, Сырги В. Энергосберегающие, экологические системы естественного холода для хранения пищевых продуктов. Монография. – Кишинев, 2002, 334 с.
- [3]. СНиП 2.04.05-91\* «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» М, 1996 г.
- [4]. К.Ван-Хеерден «Задача о нестационарном тепловом потоке в связи с воздушным охлаждением угольных пластов». Сборник «Вопросы теплообмена». Госэнергоиздат, 1959 г.
- [5]. Стефанов Е.В. «Результаты исследования неизотермического течения несжимаемой жидкости в подземных каналах и трубах». Инженерно- физический журнал т.XI №4-1966 г.