

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

АЛМАТЫ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
АЛМАТИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ALMATY TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ТОҢАЗЫТУ АКАДЕМИЯСЫ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА
INTERNATIONAL ACADEMY OF REFRIGERATION



**VI ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ҚАЗАҚСТАН-ТОҢАЗЫТУ 2016»
VI МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«КАЗАХСТАН-ХОЛОД 2016»
VI INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE
«KAZAKHSTAN-REFRIGERATION 2016»**

Конференция баяндамаларының жинағы

1-2 наурыз, 2016 ж.

Сборник докладов конференции

1-2 марта 2016 г.

Proceedings of the Conference

March 1-2, 2016

Алматы, 2016

УДК 621.56/59(063)
ББК 31.392
К14

Сборник докладов подготовлен под редакцией доктора технических наук,
академика **Кулажанова Т.К.**

Редакционная коллегия:

Цой А.П., Бараненко А.В., Кантарбаев Р.А.,
Шлейкин А.Г., Андреева В.И. (ответ. секретарь)

К14 Казахстан-Холод 2016: Сбор. докл. межд. науч.-техн. конф. (1-2 марта 2016 г.) – Алматы: АТУ, 2016. – 163 с.

ISBN 978-601-263-344-3

В докладах представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований ученых и специалистов Казахстана, Германии, России, Израиля, Голландии, Японии и Украины по направлениям: теплохладоснабжение, пищевая технология, кондиционирование и экология.

Сборник рассчитан на специалистов и ученых, работающих в областях индустрии холода, пищевой, химической, нефтеперерабатывающей промышленности, а также гостиничном бизнесе и спортивных комплексах.

УДК 621.56/59(063)
ББК 31.392

ISBN 978-601-263-344-3

© АТУ, 2016

significant advantages in efficiency and (or) safety before known in world medical practice drugs. As life shows, almost all the leading and successful in the pharmaceutical business, the foreign firms get major profits at the expense of the original and patent-protected medicines. Large revenues from the sale of original products allow firms not only to maintain high scientific and technical level of production, but also to fund research conducted in firms and in universities, in the search of new drugs. Of course, the strategic course for the creation of original drugs will be expensive. The need to invest heavily in our search themes is due to the fact that the process of creating original and patent-protected drugs is very complicated, very long and financially expensive respectively. [6] For example, on the development of the original pioneer drug substances in the Russian Federation requires from 5 to 10 years and 250-300 million. But other way for the rise of national pharmacy no. However, according to many famous scientists, having embarked on the development of the domestic pharmaceutical industry, should not be discarded completely and the reproduction of the most valuable drugs used in medical practices around the world.

While not too extensive experience of biotechnology development still contains many unusual and promising for possible optimization of human activity. Sharply standing problem of self-preservation forces him to feverish search for possible variants of strategy of their life. This attraction of nature, and it is the world of micro-organisms, and marked the beginning of a new biotechnology. It is possible, apparently, to say that biotechnology in conjunction with other scientific areas opens a new era of human interaction with the environment and, especially, with the living substance of the biosphere.

Appearing a direct result of scientific developments, biotechnology is the direct unity of science and production, another step towards the unity of knowledge and action, another step closer to overcoming external and internal to the comprehension of expediency". And yet it is only a small step. Because, as noted by Shaw, science is always wrong. She never solves any problem without creating ten new ones.

Biotechnology itself is just a large industry, the connection of technical and biological elements and, of course, inherits the negative characteristics of the existing industrial complex. Overcoming them is valid and the solution of the problem of man involve the exit of humanity to new, more advanced stage of socio-cultural development, based on new methods of cognition and action. Therefore very significant is the problem of choice of strategy of interaction between man and nature: this is presumptuous or control nature or a conscious and purposeful adaptation of the whole vital activity, to an existing biotic cycle of the biosphere.

REFERENCES

1. Egorova, T.A. fundamentals of biotechnology / T. A. Egorova, S. M. Klenova, E. A. Ginogina. – M.: Academy, 2006. – 208 p.
2. Technology of milk and dairy products : Proc. for stud. universities/ G. N. Crush [and others]; Ed. A. M. Shalygina. - M.: Colossus, 20 c.
3. Rogov I. A. Food biotechnology / I. A. Rogov, L. V. Antipov, G. P. Shuvaeva KN.1: Fundamentals of food biotechnology. -2004.
4. G. A. Ermolaeva, etc. Technology and equipment for production of beer and soft drinks / G. A. Yermolayeva, A. R. Kalcheva. – M.: IRPO, Academy, 2000. – 414 p.
5. Mrs. Z. P. commodity food products / Z. P., Matyukhin, E. P. wheat. - M.: Prefabricat, 20 c.
6. Elinov N. P. fundamentals of biotechnology. SPb.: Science, 2010, 600 p.
7. Varfolomeev S. D., S. V. Kadurin Biotechnology, kinetic bases of microbiological processes. M.: Higher school, 2009.
8. Golubev V. N., I. N. Zhiganov. Food biotechnology. Moscow: deli print, 2009.

УДК 532.516

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ СКОРОСТИ ОКОЛОКРИТИЧЕСКИХ ФЛЮИДОВ ПРИ ЛАМИНАРНОМ ДВИЖЕНИИ В КАПИЛЛЯРЕ

*Лукьянова А.С., Одесса, Украина,
Дайтерс У.К., д-р., Германия, Бошкова И.Л., д.т.н., г. Одесса, Украина,
E-mail: albireo@ukr.net, ulrich.deiters@uni-koeln.de, ira@boshkova@mail.ru*

Необходимость описания процессов переноса в условиях аномального роста сжимаемости связана с развитием новых технологий, в частности, технологий повышения вторичной нефтеотдачи пластов при вытеснении ее углекислотой. Технология сверхкритического CO₂-вытеснения также является одним из перспективных методов освоения месторождений трудноизвлекаемых запасов

нефти. Преимущества применения CO_2 в сравнении с другими методами описаны в работах [1,2] и связаны они с более высокой вязкостью, сжимаемостью и растворимостью углекислоты в сверхкритическом состоянии [2]. Согласно экспериментальным исследованиям, применение этой технологии позволяет получить коэффициент извлечения нефти на уровне 40-60 % [1,3], тогда как коэффициент извлечения нефти традиционными методами на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами редко превышает 30 %, а на месторождениях высоковязких нефтей он еще меньше. Пример математического моделирования фильтрации многокомпонентной системы при вытеснении нефти сверхкритическим углекислым газом представлен в работе [4].

Математическое моделирование процессов вытеснения осложняется тем, что в области применения термодинамические параметры достигают значений, близких к термодинамической окрестности критической точки, где будут проявляться эффекты, которыми в других условиях можно было пренебречь. В первую очередь, это – ускорение потока и возрастающее влияние объемной вязкости. Значительное увеличение сжимаемости приводит к изменению плотности по длине капилляра, вызывая ускорение потока, что приводит к отклонению формы профиля скоростей от параболического распределения.

Математическая модель движения сжимаемой жидкости в порах и капиллярах, составляющих структуру пласта, составлена в предположении, что жидкость движется в канале круглого сечения постоянной величины. Рассматривается поток сжимаемой жидкости, движущейся в капилляре при отсутствии внешних источников тепла. Задача нахождения зависимости для определения профиля скоростей решалась при следующих условиях и допущениях:

- жидкость движется в капилляре в термодинамическом состоянии, близком к критической точке жидкость-пар;
- течение является стационарным и изотермическим;
- давление в канале зависит только от продольной координаты Z и принимается постоянным по сечению;

- радиус капилляра мал по сравнению с его длиной. Поток обладает осевой симметрией: $\frac{\partial w}{\partial \varphi} = 0$;

- рассматривается ламинарный режим течения;
- стратификация потока и флуктуационные явления не учитываются.

Последнее допущение имеет существенное значение. Известно, что при приближении к критической точке (КТ) гравитационные эффекты проявляются в виде стратификации жидкости, что было заметно при проведении экспериментов даже с малыми объемами критических жидкостей. Так, при исследовании вязкости ксенона [5] на высоте столба жидкости 0.7 мм неомогенность плотности достигала 7%. Кроме того, движение способствует увеличению спонтанных флуктуаций, после возникновения которых в связи с особыми свойствами критического состояния релаксационные процессы в флюиде длятся часы и даже дни, т.е. время установления равновесия заметно превышает время проведения эксперимента. В предлагаемой задаче учитывается только влияние сжимаемости и, соответственно, изменение плотности (удельного объема) по длине капилляра из-за потерь давления по потоку.

С учетом принятых условий уравнение движения в дифференциальной форме в цилиндрической системе координат принимает вид, аналогичный уравнению движения, полученному авторами [6]:

$$\rho w \frac{\partial w}{\partial z} - \eta \left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} \right) = - \frac{dp}{dz} + \eta \left(\frac{4}{3} + \frac{\eta'}{\eta} \right) \frac{\partial^2 w}{\partial z^2}, \quad (1)$$

где: η - коэффициент динамической сдвиговой вязкости, η' - коэффициент объемной вязкости. Производную $\frac{\partial w}{\partial z}$ можно получить из условия постоянства массового расхода:

$G = \rho \bar{w} A = \text{const}$, где \bar{w} - средняя по сечению капилляра скорость, A - площадь поперечного сечения капилляра, G - массовый расход. При принятии допущения, что плотность и давление постоянны в пределах сечения капилляра, т.е. $\frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = \frac{\partial w}{\partial z}$, зависимости для первой и второй производной продольной компоненты скорости принимают вид:

$$\frac{\partial w}{\partial z} = \frac{G}{A} \left(\frac{\partial v}{\partial p} \right)_T \frac{dp}{dz} \quad \text{и} \quad \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} = \frac{G}{A} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial p^2} \right)_T \frac{dp}{dz} + \frac{G}{A} \left(\frac{\partial v}{\partial p} \right)_T \frac{d^2 p}{dz^2}.$$

Для решения дифференциального уравнения (1) необходимо привлечь уравнение состояния жидкости, связывающее удельный объем, давление и температуру $v = v(p, T)$, что позволит определить производную $\left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)_T$. Для жидкости в термодинамическом состоянии, далеком от критической точки, эта производная пренебрежимо мала, однако резко возрастает при приближении к КТ, что соответствует росту изотермической сжимаемости $\beta = -\frac{1}{v}\left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)_T$. Незначительные потери давления по длине канала вызовут в рассматриваемых условиях существенное изменение плотности (удельного объема).

В общем виде решение уравнения (1) было получено с помощью средств MAPLE V, и имеет вид:

$$w(r) = \frac{M - N}{k^2} - C1 \cdot I_0(kr) + C2 \cdot K_0(kr) \quad (2),$$

здесь: $M = \left(\frac{4}{3} + \frac{\eta'}{\eta}\right) \frac{\partial^2 w}{\partial z^2}$, $N = \frac{1}{\eta} \frac{dp}{dz}$, $k^2 = \frac{G}{vA} \left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)_T \frac{dp}{dz}$, I_0 и K_0 - функции Бесселя мнимого

аргумента, v - коэффициент кинематической вязкости.

Для вычисления постоянных интегрирования $C1$ и $C2$ используются граничные условия: скорость потока равна нулю на стенке канала и максимальна в его центре. После подстановки выражений $C1$ и $C2$ в уравнение (2), окончательный вид зависимости для расчета профиля скоростей при движении сжимаемой жидкости принимает вид:

$$w(r) = \frac{M - N}{k^2} \left(1 - \frac{I_0(kr)}{I_0(kR)}\right) \quad (3)$$

здесь: R - радиус поперечного сечения капилляра, r - текущий радиус.

В работе исследовалось околоскритическое течение углекислого газа, для определения его термодинамических характеристик применялась программа ThermoC, разработанная проф. У.К. Дайтерсом [7], основанная на методе [8]. Результаты расчета производных термодинамических величин, значения которых необходимы для получения данных по зависимости (3), приведены в табл. 1.

По результатам расчета производных $(dp/dv)_T$ и $(d^2 p/dv^2)_T$ получено значение $(dv/dp)_T$ и $(d^2 v/dp^2)_T$, причем вторая производная в соответствии с приведенным ниже

выводом равна: $-\frac{1}{(\partial p/\partial v)^3} \frac{\partial^2 p}{\partial v^2}$:

$$\left(\frac{\partial^2 v}{\partial p^2}\right) = \frac{\partial}{\partial p} \frac{\partial v}{\partial p} = \frac{\partial}{\partial p} \frac{1}{\frac{\partial v}{\partial p}} = -\frac{1}{\left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)^2} \frac{\partial}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial v} = -\frac{1}{\left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)^2} \left(\frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial}{\partial v}\right) \frac{\partial p}{\partial v} = -\frac{1}{\left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)^3} \frac{\partial^2 p}{\partial v^2}.$$

Таблица 1 – Результаты расчета термодинамических параметров в окрестности критической точки. $T = 304,128\text{К}$.

№	v , м ³ /кг	$(dp/dv)_T$, Па·кг/м ³	$(d^2 p/dv^2)_T$, Па ² ·кг ² /м ³	$(dv/dp)_T$, м ³ /(Па·кг)	$(d^2 v/dp^2)_T$, м ³ /(Па ² ·кг ²)
1	$2,045 \cdot 10^{-3}$	$-6,191 \cdot 10^5$	$2,569 \cdot 10^{16}$	$-1,615 \cdot 10^{-6}$	-0,108
2	$2,068 \cdot 10^{-3}$	$-2,173 \cdot 10^5$	$1,115 \cdot 10^{16}$	$-4,602 \cdot 10^{-6}$	-1,087
3	$2,091 \cdot 10^{-3}$	$-5,68 \cdot 10^4$	$3,906 \cdot 10^{15}$	$-1,76 \cdot 10^{-5}$	-21,311
4	$2,114 \cdot 10^{-3}$	$-8,183 \cdot 10^3$	$8,733 \cdot 10^{14}$	$-1,222 \cdot 10^{-4}$	$-1,594 \cdot 10^3$
5	$2,125 \cdot 10^{-3}$	$-1,758 \cdot 10^3$	$3,166 \cdot 10^{14}$	$-5,688 \cdot 10^{-4}$	$-5,826 \cdot 10^4$
6	$2,132 \cdot 10^{-3}$	-384,098	$1,128 \cdot 10^{14}$	$-2,604 \cdot 10^{-3}$	$-1,991 \cdot 10^6$
7	$2,139 \cdot 10^{-3}$	-0,522	$-1,9134 \cdot 10^{13}$	-1,916	$1,346 \cdot 10^{14}$
8	$2,145 \cdot 10^{-3}$	-404,048	$-1,427 \cdot 10^{14}$	$-2,457 \cdot 10^{-3}$	$2,164 \cdot 10^6$
9	$2,159 \cdot 10^{-3}$	$-7,239 \cdot 10^3$	$-9,754 \cdot 10^{14}$	$-1,371 \cdot 10^{-4}$	$2,515 \cdot 10^3$
10	$2,182 \cdot 10^{-3}$	$-6,013 \cdot 10^3$	$-4 \cdot 10^{15}$	$-1,663 \cdot 10^{-5}$	18,394

Результаты расчета профиля скоростей по сечению канала радиусом $r = 4$ мм представлены на рис.1. Расход $G = 2,1843 \cdot 10^{-6}$ кг/с, режим движения – ламинарный. Анализ полученных данных показывает, что при приближении к КТ наблюдается отклонение формы профиля от профиля Пуазейля, характерного для ламинарных режимов, что объясняется эффектами сжимаемости жидкости. При значении удельного объема $\upsilon = 2,139 \cdot 10^{-3}$ м³/кг м³/кг (линия 3), которое практически соответствовало КТ, скорости выравниваются, профиль принимает форму, соответствующую осредненной при турбулентном режиме.

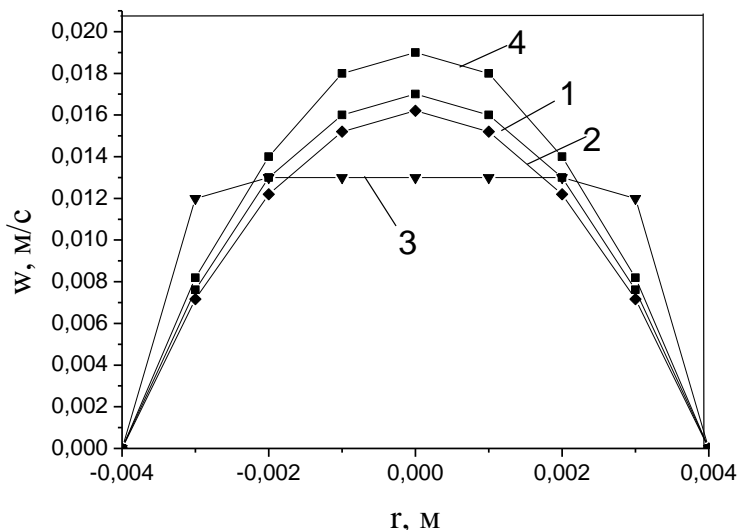


Рисунок 1 – Профили скоростей флюида (CO₂) в окрестности КТ

1 - $\upsilon = 2,125 \cdot 10^{-3}$ м³/кг, 2 - $\upsilon = 2,132 \cdot 10^{-3}$ м³/кг, 3 - $\upsilon = 2,139 \cdot 10^{-3}$ м³/кг, 4 - $\upsilon = 2,159 \cdot 10^{-3}$ м³/кг.

На рис. 2 представлены профили, полученные для различных радиусов канала при фиксированном значении удельного объема $\upsilon = 2,159 \cdot 10^{-3}$ м³/кг.

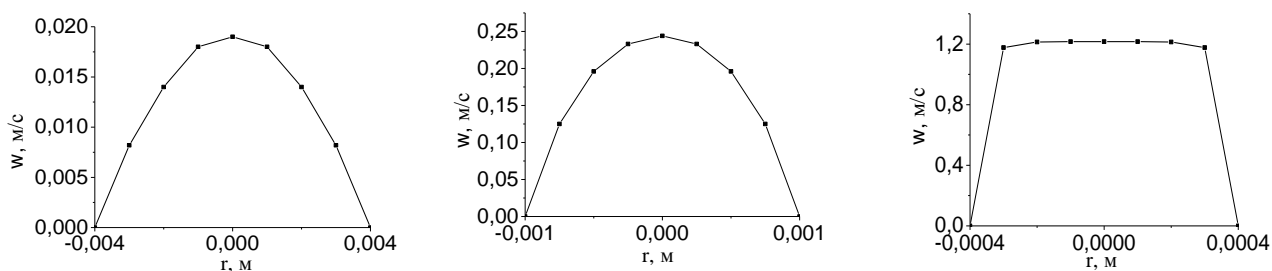


Рисунок 2 – Профили скоростей флюида в окрестности КТ при различных значениях радиуса канала. Расход $G = 2,1843 \cdot 10^{-6}$ кг/с.

Результаты расчетов показывают, что уменьшение радиуса приводит к увеличению отклонения от профиля Пуазейля. Это важно учитывать при моделировании процессов нефтеотдачи для проведения математических операций усреднения диффузионных процессов. Полученная аналитическая зависимость учитывает влияние сжимаемости флюидов при стабилизированном течении в капилляре и позволяет определить профиль скоростей сжимаемых потоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филенко Д.Г. Исследования влияния термобарических условий на вытеснение нефти диоксидом углерода в сверхкритическом состоянии / Д.Г. Филенко, М.Н. Дадашев, В.А. Винокуров // Вести газовой науки, 2012. - №3 (11). – С. 371-382.
2. Гумеров Ф.М. Перспективы применения диоксида углерода для увеличения нефтеотдачи пластов // Вести газовой науки, 2011. - №2 (7). – С. 93-109.
3. Радаев А.В. Экспериментальное исследование процесса вытеснения высоковязкой нефти сверхкритическим диоксидом углерода в широком диапазоне термобарических условий/ А.В. Радаев, Н.Р. Батраков, И.А. Кондратьев, А.А. Мухамадиев, А.Н. Сабирзянов// Георесурсы, 2010. - № 2(34). – С. 16-17.
4. Батраков Н.Р. Исследование процесса вытеснения нефти из обводненного пласта сверхкритическим диоксидом углерода / Н.Р. Батраков, Р.Ш. Абсалямов, Р.Р.Галимзянов, И.Д.Закиев, А.В. Радаев, А.Н. Сабирзянов, А.А. Мухамадиев //Вестник Казанского технологического университета, 2013. - Т.16. - №10. - С.245-248.
5. Berg R.F., Moldover M.R. Critical exponent for viscosity of carbon dioxide and xenon // J. Chem. Phys.- 1990.- № 93.- P. 1926-1938.
6. Van den Berg H.R., ten Seldam C.A., van der Gulic P.S. Compressible laminar flow in capillary // J. Fluid Mech.- 1993.- Vol. 246.- P. 1-20.
7. U. K. Deiters. A modular program system for the calculation of thermodynamic properties of fluids. Chem. Eng. Technol., 2000, 23.- P. 581–584.
8. U. K. Deiters and T. Kraska, High-Pressure Fluid Phase Equilibria - Phenomenology and Computation, volume 2 of Supercritical Fluid Science and Technology. Elsevier, Amsterdam, 2012 – 370 p.

УДК 641.528.6

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПРИ ЗАМОРАЖИВАНИИ КОЛЛОИДНЫХ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Потапов В.А., д.т.н., Янчева М.А., к.т.н., Мольский А.С.,
Харьковский государственный университет титания и торговли, г. Харьков, Украина
E-mail: potapov@bigmir.net*

Замораживание – наиболее распространенный способ консервирования, который обеспечивает длительное хранение пищевых продуктов благодаря предотвращению развития микробиологических процессов и резкому уменьшению скорости ферментативных и физико-химических процессов. Конечной целью холодильной обработки является максимальное сохранение пищевой и биологической ценности продукта, однако в процессе замораживания-размораживания продукта происходят необратимые изменения, связанные с фазовым переходом воды в лед и повышением концентрации растворенных в жидкой фазе веществ. Основные изменения при замораживании пищевых продуктов происходят в области максимальной скорости кристаллизации, которая лежит в диапазоне $-1 \dots 10^{\circ}\text{C}$ [1]. Существующая классическая модель описывает процесс кристаллизации при замораживании пищевых продуктов, рассматривая процесс замерзания истинного раствора сравнительно небольшой молекулярной концентрации, содержащий соли, белки и др. компоненты. На основании этих представлений используется уравнение Рауля для расчета доли вымороженной влаги и удельной теплоемкости продукта в процессе замораживания-размораживания. Однако такая модель пищевого продукта далека от реальных процессов, которые происходят при замораживании, поскольку по существующей классификации пищевые продукты относятся к коллоидным капиллярно-пористым телам, для которых характерно наличие межмолекулярных взаимодействий, приводящих к процессам связывания влаги, в том числе, в процессе замораживания.

Целью статьи является поиск уравнения, описывающего процесс кристаллизации влаги при замораживании, в коллоидных капиллярно-пористых материалах, к которым относятся пищевые продукты.

Объектом исследования является процесс кристаллизации при замораживании пищевых продуктов. В тоже время математическое описание такого процесса гораздо сложнее, чем соответствующий эксперимент. Профессором Онищенко В.П. [2] показано, что при математическом моделировании процессов холодильной обработки следует отказаться от использования известного граничного условия Стефана, которое включает наличие источника теплоты на подвижной границе контакта двух температурных полей для охлажденного и замороженного слоя продукта, поскольку реально такой границы при замораживании продуктов не существует. Не существует и значений истинной теплоемкости продуктов, в которых бы еще раз не учитывалась теплота фазового перехода.