

# DPIE SYSTEM TO IMPROVE COOLING CAPACITY OF A CANOLA OIL TO BE USED AS A QUENCHANT

A.A. DOLINSKY, L.N.GRABOV, A.A.MOSKALENKO, T.L. GRABOVA

## Introduction

In the Institute of Engineering Thermophysics of NASU of Ukraine was developed a method of discrete-pulse input of energy (DPIE) into different kinds of liquids which is used in many branches of industry, namely in a technology of reception of biodiesel fuel and its mixes [1]. In this paper a possibility of use of DPIE for improving cooling capacity of different kinds of quenchants is widely discussed. The method consists in local input of energy which is discrete with passing of time. The method creates local high pressure, cavitations effect, and agitation of liquid which is so vigorous that oil or another liquid penetrates into micro cavity of micro particles. This effect can be used for preparing magnetic liquids which is very expensive technology. DPIE method can significantly decrease the cost of magnetic liquids. In the paper the advantage of DPIE was fulfilled in disks cylindrical system of rotor type for processing of quenchants (see Fig. 1 and Fig. 2). The experiments showed the possibility of regulation of cooling capacity of quenchants.

The developed method will be used for global database elaboration of different kinds of oils processed by DPIE technique [1, 2].

## Main equations used for solving inverse heat conduction problem

The values of heat transfer coefficients (HTCs) were calculated by solving an inverse heat conduction problem (IP) using a nonlinear heat conductivity equation (1) with a boundary condition (2), initial condition (3) and symmetrical condition (4) in the case when experimental data are provided at the surface or near the surface [3, 4]:

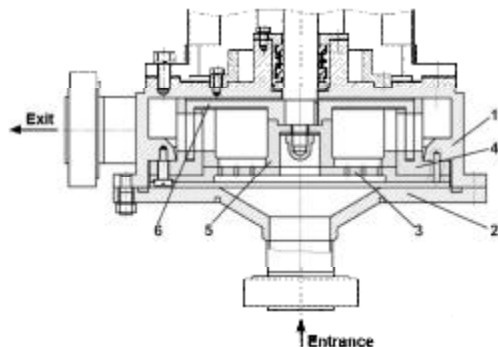
$$\frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\text{grad}T) \quad (1)$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} + \frac{a}{l} (T - T_m) \Big|_{r=R} = 0 \quad (2)$$

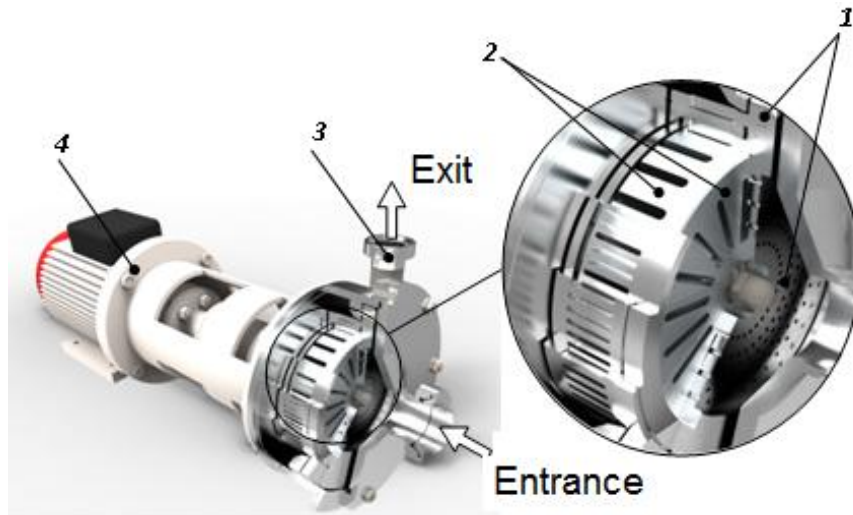
$$T(r,0) = T_o \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} = 0 \quad (4)$$

There are several methods for solving the inverse heat conduction problem, which are analyzed in Ref. [4]. For solving the inverse problem, thermal properties of AISI 304 steel and Inconel 600 were used as a function of temperature. (see Table 1).



**Fig. 1** Scheme of a new rotor - pulse system [1]: 1 – mounting frame; 2 – lid; 3 – stator of the disk's complex; 4 – stator of the cylindrical complex; 5 – rotor of the disk's complex with the wings; 6 – rotor of the cylindrical complex.



**Fig. 2** General assembly of DPIE system [2] for processing different kinds of quenchants: 1 – stator; 2- rotor; 3 – mounting frame; 4 – electric motor.

Table 1

**Thermal properties of AISI 304 steel and Inconel 600 material as a function of temperature.**

Properties	100°C	300	500	700	800°C
Steel 304 $\lambda, W/mK$	17.5	19.6	23	26.3	27.8
Inconel 600 $\lambda, W/mK$	14.2	17.8	21.7	25.9	28.3
Steel 304 $a \times 10^6, m^2/s$	4.55	4.7	5.3	5.8	6.2
Inconel 600 $a \times 10^6, m^2/s$	3.7	4.5	5.1	5.6	5.8

An average effective HTC can be obtained using a regular thermal condition theory [5] based on Eqs. (5), (6), and (7):

$$\frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\text{grad}T) \quad (5)$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\bar{a}}{l} (T - T_m) \frac{\partial \dot{u}}{\partial r} = 0 \quad (6)$$

$$T(r,0) = T_o \quad (7)$$

In this case, average values of thermal conductivity  $\bar{\lambda}$  (W/mK) and thermal diffusivity  $\bar{a}$  ( $m^2/s$ ) were used.

The regular thermal condition theory [6] provides simple Eq. (8) for evaluating an average HTC  $\bar{a}$  ( $W/m^2 K$ ):

$$\bar{a} = \frac{5.7831 Bi_V}{D} \quad (8)$$

### Choosing appropriate additives to canola oil to be processed by DPIE method

For investigation, several variants with several additives were chosen (see Table 2). Number 1 variant was just raw still canola oil at 20 °C. The number 2 variant was raw canola oil processed by DPIE technique. The number 3 variant was raw canola oil with small amount of aroeseel processed by DPIE. The number 4 variant was canola oil with small amount of chloride

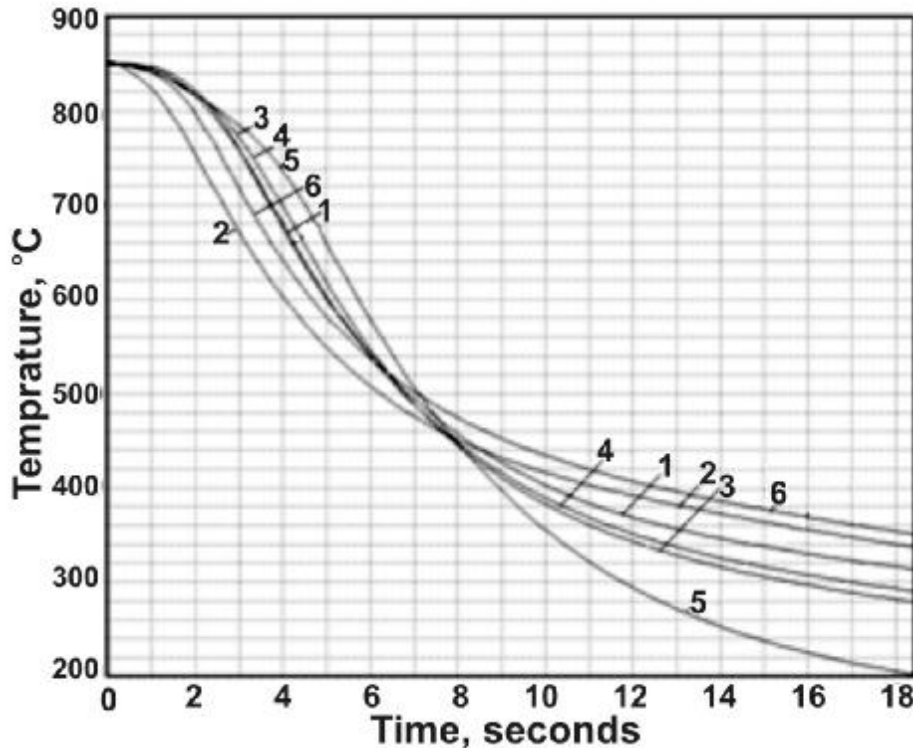
(MgCl<sub>2</sub>) processed by DPIE. This variant was chosen since in Ukraine many companies use two step quenching of tools. In the first step tool is quenched in water salt solution to accelerate cooling, and then tool is immersed into oil to decrease significantly cooling rate during martensite transformation. With a time oil changes its cooling properties due to accumulation salt in oil that can be connected with the possibility of crack formation. The authors want to see how DPIE process can change the cooling capacity of canola oil with small additives of salt. The 5<sup>th</sup> variant was canola oil with small amount of methyl – silicon acid hydrogel and processes by DPIE. The 6<sup>th</sup> variant was canola oil with methyl – silicon acid xerogel, and processed by DPIE technique [2].

Table 2

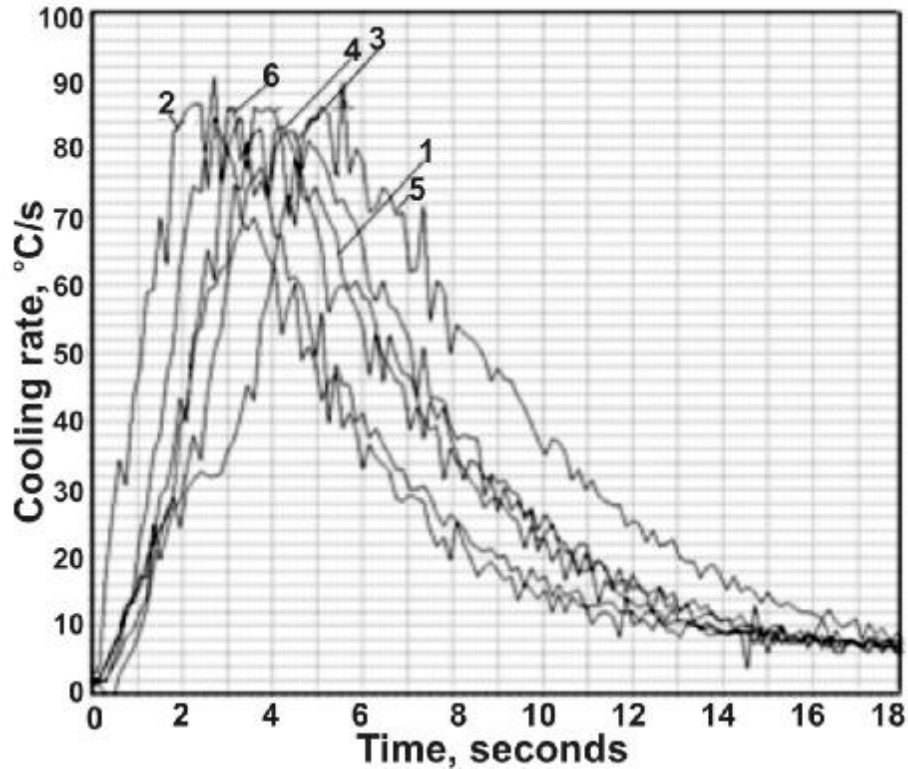
**Quenchants to be tested and testing condition**

Quenchant	Number	Quenchant	Number
Canola at 20 °C	1	Canola+MgCl <sub>2</sub> + DPIE	4
Canola+DPIE	2	Canola + MSAH +DPIE	5
Canola+aeroseel	3	Canola + MSAX +DPIE	6

**Notes:** DPIE – Discrete - Pulsate Input of Energy; MSAH – Methyl-Silicon Acid Hydrogel; MSAX – Methyl- Silicon Acid Xerogel



**Fig. 3** Cooling curves obtained for standard probe when quenching in different quenchants (see Table 2).



**Fig. 4** Cooling rate of core standard probe versus time for canola oils which were processed according to plan shown in Table 2.

### Results of experiments and their explanation

The quenchant after processing were tested by standard probe. Results of testing are presented in Fig. 3 and Fig. 4. Effective heat transfer coefficients at the temperature 700 °C and 450 °C are presented in Table 3.

Authors [3] tested a canola oil which was purchased at the local market in Sao Carlos , Brazil, using the same standard probe (12.5 mm diameter). The testing was made in non – agitated condition at temperature 60 °C. Authors [3] reported that film boiling was absent at all and HTC at 700 °C was 2455 W/m<sup>2</sup>·K and at 450°C was 1810 W/m<sup>2</sup>·K.

When testing canola oil in non – agitated condition, film boiling was observed. Tests were made at temperature 30 °C. We compare results of testing obtained for processed by DPIE technique. In our case HTC were significantly less at 450°C (see Table 4). DPIE processing decreases HTC at low temperatures. However, processing eliminates film boiling. In processed by DPIE technique, film boiling was absent.

### Discussion

In the paper a standard ASTM D6200 probe was used for investigation the cooling capacity of quenchant. However, the standard probe doesn't provide full thermal characteristics of a quenchant. It provides only with the average effective heat transfer coefficients which can be used for cooling time calculation at the core of steel parts. Another shortcoming of standard probe is use of an average value of thermal conductivity and thermal diffusivity (see equations (5), (6) and (7)). That is why in the future authors plan to use probes similar to probe of LISCIC-NANMAC which can provide with the accurate data and a full information connected with the thermal processes taking place at the surface of steel probe.

Table 3

**Heat transfer coefficients (HTCs) of canola oil with and without additives and processed by DPIE.**

#	Cooling rate, Max	Core temperature, °C	$a, W/m^2K$ Max	$a, W/m^2K$ , at 450 °C
1	83	660	2082	1150
2	86.3	740	1925	958
3	82.5	670	2057	1320
4	83	690	1925	1340
5	86	650	2198	2107
6	86	710	2045	650

Table 4

**Effective heat transfer coefficients (HTC, W/m<sup>2</sup>K) of non – processed and processed canola oil within the interval of temperature 350 °C – 200 °C**

Raw canola oil and its processing	Quenchant Number	HTC, W/m <sup>2</sup> ·K
Raw canola at 30°C	1	430
Canola+DPIE	2	302
Canola oil+ aeroxcel+ DPIE	3	305
Canola oil + MgCl <sub>2</sub> +DPIE	4	297
Canola+ MSAH +DPIE	5	988
Canola+ MSAX +DPIE	6	300

**Summary**

1. The best results concerning the cooling capacity of the vegetable canola oil were received after processing oil by DPIE technique. Similar results were received when special additives of small concentration were added.
2. It is established by authors that processed by DPIE canola oil has better cooling capacity at high temperature since film boiling after processing is absent.
3. Using DPIE system, it is possible to prepare different kinds of mixtures to be used as quenchants. Further investigations are needed to explain absence film boiling after DPIE processing.
4. Further results of investigations connected with the effect of DPIE and non – linear wave mechanics [1, 8-11] on cooling capacity of quenchants will be discussed at the WSEAS Conferences.

**REFERENCES:**

1. *Dolinsky, A.A., Grabov, L.N., Shmatok, A.I.*, Reception of biodiesel fuel and motor fuel mixes by the method of the directed discrete-pulse influence, *Industrial Heat Engineering*, V. 33, No 8, 2011, pp. 7–11.
2. *Dolinsky, A.A., Grabov, L.N., Grabova, T.L.*, DPIE method in innovative technologies and heat-mass exchange equipment, *Industrial Heat Engineering*, V. 34, No 3, 2012, pp. 18–30.
3. *Kobasko, N.I., Aronov, M.A., Powell, J.A., and Totten, G.E.*, Intensive Quenching Systems: Engineering and Design, ASTM International, West Conshohocken, 2010, 252 pages.
4. *Prabhu, K.N.*, Wetting Kinetics and Quench Severity of Selected Vegetable Oils for Heat Treatment, *Quenching Theory and Technology*, Second Edition, Bozidar Liscic, Hans, M.

- Tensi, Lauralice C.F. Canale and Geoge E. Totten (Eds), CRC Press, Boca Raton, 2010, pp. 205 – 228.
5. *Kondratjev, G.M., Thermal Measurement, (Teplovye Izmereniya, in Russian), Mashgiz, Moscow, 1957, 320 pages.*
  6. *Liscic, B., Filetin, T., Global Database of Cooling Intensities of Liquid Quenchants, Proceedings of the European Conference on Heat Treatment 2011 “Quality in Heat Treatment”, 23 -25 March, Wels, Austria, 2011, pp. 40 -49.*
  7. *Kobasko, N.I., Discussion of the Problem on Designing the Global Database for Different Kinds of Quenchants, Recent Advances in Fluid Mechanics, Heat & Mass Transfer, and Biology (A. Zemliak, N. Mastorakis, Eds.), WSEAS Press, Athens, 2011, pp. 117 – 125, ISSN: 1792-7757.*
  8. *Ganiev, R. F., Kobasko, N. I., Kulik, V. V., et al., Oscillation Phenomena in Multi-phase Media and Their Use in Technology, Tekhnika, Kyiv, 1980, 142 pages.*
  9. *Ganiev, R. F., and Ukrainsky, L.E., Non Linear Wave Mechanics & Technologies, R&C Dynamics, Moscow, 2008, 712 pages, ISBN 978-5-93972-677-1.*
  10. *Ganiev, R. F., Wave Machines & Technologies (Basics of Wave Technologies), R&C Dynamics, Moscow, 2008, 192 pages, ISBN 978-5-93972-676-4.*

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕПЛОФИЗИКИ**

**МИКРО-  
И НАНО-  
УРОВНЕВЫЕ  
ПРОЦЕССЫ  
В ТЕХНОЛОГИЯХ  
ДИВЭ**

**Тематический сборник статей**

**Под общей редакцией академика НАН Украины  
А.А. Долинского**

УДК 536.24

ББК 30.13

М59

**Рецензенты:**

академик НАН Украины А.В. КИРИЛЕНКО, директор Института электродинамики НАН Украины;

член-корреспондент НАН Украины Ю.Ф. СНЕЖКИН, заместитель директора ИТТФ НАН Украины

*Утверждено к печати Ученым советом Института технической теплофизики  
НАН Украины (протокол № 11 от 10.06.2014)*

Микро- и наноразмерные процессы в технологиях ДИВЭ : М 59 Тематический сборник статей / под общей ред. А.А. Долинско-го ; Институт технической теплофизики НАН Украины. — К. : Академперіодика, 2015. — 464 с, 24 с. ил.

ISBN 978-966-360-291-2

В сборнике научных статей представлены работы ученых Института технической теплофизики НАН Украины и их коллег, посвященные фундаментальным и прикладным исследованиям метода дискретно-импульсного ввода энергии в жидкие гетерогенные среды и его механизмов для интенсификации процессов теплообмена с целью разработки энергосберегающих технологий для различных отраслей промышленности. Представляет интерес для ученых, аспирантов, инженеров, специализирующихся в области теплообмена, гидродинамики, разработке технологий смешивания, гомогенизации, получения наноструктур, экстракции, ферментации, аэрации, дегазации, эмульгирования, измельчения, концентрирования и гранулирования, а также аппаратов для их осуществления.

ISBN 978-966-360-291-2

© Институт технической теплофизики

НАН Украины, 2015 © Академперіодика. оформление, 2015



Содержание

ПОСТАНОВЛЕН ИЕ ПРЕЗИДИУМА АН УССР от 01.12.1982 № 499 "Метод дискретно-импульсного ввода энергии в дисперсные среды и перспективы его использования в народном хозяйстве".....	3
<i>Долінський А.А.</i> Принцип дискретно-імпульсного вводу енергії та його використання у технологічних процесах.....	5
<i>Долинский А.А., Накорчевский А. И.</i> Системный анализ эволюции технических решений при реализации ДИВЭ.....	15
<i>Иваницкий Г.К.</i> Наномасштабные эффекты в процессах кавитации. I. Паровая кавитация .....	22
<i>Иваницкий Г. К.</i> Наномасштабные эффекты в процессах кавитации. II. Критерий разрушения кавитационных пузырьков .....	29
<i>Иваницкий Г. К., Корчинский А.А., Матюшкин М.В.</i> Математическое моделирование процессов в пульсационном диспергаторе ударного типа.....	38
<i>Басок Б.И., Чайка А.И., Новицкая М.П.</i> Гидродинамика и теплообмен в пульсирующей дисперсной среде.....	48
<i>Шаркова Н.Ю., Жукотський Е.К., Грищенко Г.В.</i> Особливості технології виробництва соєвих продуктів.....	56
<i>Долінський А.А., Шаркова Н.О., Авдеева Л.Ю., П'янкова О.В., Надточій Н.І.</i> Сучасна технологія виробництва функціональних напоїв на основі сої .....	60
<i>Басок Б.И., Давыденко Б.В.</i> Особенности гидродинамики, теплопереноса и процессов диспергирования в рабочих объемах цилиндрических роторно-пульсационных аппаратов.....	62
<i>Долинский А.А., Шаркова Н.А., Терлецкая Я. Т., Авдеева Л.Ю., Жукотский Э.К., Грищенко А.В., Горчев В.Ф.</i> Получение липосомных наносистем с использованием эффекта дискретно-импульсного ввода энергии.....	85
<i>Басок Б.И., Давыденко Б.В., Ободович А.Н., Пироженко И.А.</i> Диссипация энергии в активной зоне роторно-пульсационного аппарата.....	90
<i>Басок Б.И., Давыденко Б.В., Ободович А.Н.</i> Численное моделирование процесса перемешивания взаимнорастворимых жидкостей в роторно-пульсационном аппарате.....	98
<i>Долінський А.А., Шаркова Н.О., Авдеева Л.Ю., П'янкова О.В., Надточій Н.І., Зайцева Н. Є.</i> Розробка та впровадження нових технологій виробництва вітчизняних функціональних продуктів на соєвій основі .....	105
<i>Долінський А. А., Шаркова Н.О., Авдеева Л.Ю., Лопатін О.О., П'янкова О. В.</i> Особливості технології виробництва нового вітчизняного функціонального продукту харчування.....	111
<i>Долинский А.А., Шаркова Н.А., Авдеева Л.Ю.</i> Анализ и прогнозирование адаптивности липосомной системы при дискретно-импульсном вводе энергии.....	115
<i>Долинский А.А., Иваницкий Г. К., Ободович А.Н.</i> Использование механизмов ДИВЭ при роторно-пульсационной обработке гетерогенных сред.....	120

<i>Иваницкий Г.К.</i> Численное моделирование динамики кавитационного пузырька в акустическом поле.....	131
<i>Долинский А.А., Шурчкова Ю.Л., Иваницкий Г.К., Цель Б.Я.</i> Оптимизация теплообменных и гидродинамических процессов в технологии термовакуумной обработки молока.....	136
<i>Авдеева Л.Ю.</i> Оптимізація тепломасообмінних режимів. Одержання наноструктур.....	148
<i>Авдеева Л.Ю.</i> Метод інтенсифікації процесу отримання ліпосомних наноструктур при дискретно-імпульсному введенні енергії.....	153
<i>Авдеева Л.Ю., Иваницкий Г.К.</i> Применение гидродинамической кавитации в технологическом процессе получения фосфолипидных наноструктур.....	158
<i>Долинский А.А., Грабова Т.Л.</i> Применение метода дискретно-импульсного ввода энергии для получения структурированных спиртсодержащих систем.....	167
<i>Долинский А.А., Грабов Л.Н., Грабова Т.Л., Переяславцева Е.А.</i> Влияние гидродинамической обработки методом ДИВЭ на структуру и сорбционные свойства ксерогелей.....	174
<i>Иваницкий Г.К., Шурчкова Ю.Л., Радченко Н.Л.</i> Моделирование процесса экструзии в предматричной зоне и в матрице при обработке растительного сырья.....	183
<i>Долинский А.А., Шурчкова Ю.Л., Недбайло А.Е.</i> Влияние теплообменных и гидродинамических процессов на состояние молочных белков.....	192
<i>Шаркова Н.А., Авдеева Л.Ю., Жукотский Э.К., Козак Н.Н.</i> Повышение эффективности экстракции биологически активных веществ из коллагенсодержащего сырья.....	195
<i>Турчина Т.Я.</i> Теоретичний аналіз тепломасопереносу при сушінні крапель структурованих рослинних систем.....	200
<i>Авдеева Л.Ю.</i> Енергоефективна технологія отримання фосфоліпідних наноструктур.....	205
<i>Долинський А.А., Шаркова Н.О., Авдеева Л.Ю., Чуніхін О.Ю.</i> Дослідження властивостей фосфоліпідних наноструктур, отриманих з використанням ефекту дискретно-імпульсного введення енергії.....	210
<i>Иваницкий Г.К., Недбайло А.Е.</i> Аналитическое исследование кавитации в рабочем колесе центробежных насосов.....	215
<i>Долинский А.А., Грабов Л.Н., Грабова Т.Л.</i> Реализация метода ДИВЭ в теплотехнологиях и оборудовании фармацевтической промышленности.....	225
<i>Dolinsky A.A., Grabov L.N., Moskalenko A.A., Grabova T.L.</i> DPIE System to Improve Cooling Capacity of a Canola Oil to be Used as a Quenchant.....	241
<i>Иваницкий Г.К., Шурчкова Ю.А., Недбайло А.Е.</i> Использование гидродинамической кавитации для разрушения бактериальных клеток в технологии обработки молока.....	247
<i>Авдеева Л.Ю., Кравченко С.О.</i> Дослідження властивостей везикулярних фосфоліпідних наноструктур з біологічно активними речовинами.....	257
<i>Шаркова Н.А., Жукотский Э.К., Авдеева Л.Ю., Козак Н.Н.</i> Оптимизация условий проведения термовлажностной обработки коллагенсодержащего сырья за счет дискретно-импульсного ввода энергии.....	261

<i>Шаркова Н.О., Жукотський Е.К., Авдеева Л.Ю., Козак М.М., Костянець Л.О.</i> Оптимізація умов отримання водорозчинного екстракту із колагенвмісної сировини.....	264
<i>Долинский А.А., Грабов Л.Н., Москаленко А.А., Грабова Т.Л.</i> Применение метода ДИВЭ для получения новых мезо- и наножидкостей.....	270
<i>Dolinsky A.A., Grabov L.N., Moskalenko A.A., Grabova T.L.</i> The Research of Cooling Intensity of Micro- and Nanofluids Obtained by DPIE Method to be Used as a Quenchant for Hardening of Steel Parts and Tools.....	276
<i>Долинский А.А., Грабов Л.Н., Посунько Д.В., Шматок А.И.</i> Получение жидких биотопливных смесей методом дискретно-импульсного энергетического воздействия.....	284
<i>Долинский А.А., Шурчкова Ю.А.</i> Вода в условиях обработки ДИВЭ.....	292
<i>Чайка О.І., Гоженко Л.П., Іваницький Г.К., Корінчук Д.М.</i> Інтенсифікація процесу диспергування низинного торфу із застосуванням пульсаційного диспергатора.....	300
<i>Долінський А.А., Авраменко А.О., Іваницький Г.К.</i> Фізичні основи, математичні підходи та технологічні аспекти використання методу ДІВЕ для керування кінетикою протікання нанорівневих процесів в дисперсних та супрамолекулярних системах.....	308
<i>Ободович А.Н., Лымарь А.Ю.</i> Дискретно-импульсный ввод энергии (ДИВЭ) — интенсифицирующий метод гидролиза высокомолекулярных соединений.....	324
<i>Ободович А.Н., Сидоренко В.В., Лымарь А.Ю., Миронец И.Н.</i> Использование дискретноимпульсного метода ввода энергии (ДИВЭ) для интенсификации приготовления жидких кормов для сельскохозяйственных животных на основе барды.....	333
<i>Авдеева Л.Ю.</i> Дослідження масообмінних процесів при кавітаційній обробці рідких гетерогенних середовищ.....	339
<i>Долінський А.А., Шурикова Ю.О., Цельнь Б.Я.</i> Безреагентна нейтралізація кислого конденсату продуктів згорання природного газу та обладнання для її реалізації.....	343
<i>Долінський А.А., Турчина Т.Я., Жукотський Е.К.</i> Сучасні методи впливу на структуруючі властивості складних матеріалів як об'єктів розпилювального сушіння.....	351
<i>Долинский А.А., Авраменко А.А., Тыринов А.И., Грабова Т.Л.</i> Динамика структурообразования коллоидных агрегаций.....	358
<i>Ободович А.Н., Лымарь А.Ю.</i> Исследование гидравлических характеристик роторно-пульсационного аппарата при обработке водозерновой смеси.....	366
<i>Басок Б.И., Гоцуленко В.В., Авраменко А.А.</i> Применение ДИВЭ для управления неустойчивостью вскипающего потока и эффектов кавитации.....	371
<i>Басок Б. И., Давыденко Б.В.</i> Применение технологии ДИВЭ при производстве моногранулированных продуктов.....	404
<i>Долинский А.А., Басок Б.И.</i> Наномасштабные эффекты при дискретно импульсной трансформации энергии.....	422
<i>Басок Б.И., Рыжков С.С.</i> Применение эффектов дискретно-импульсного ввода энергии для улавливания жидких частиц потока аэрозоля.....	438
СПИСОК АВТОРОВ.....	459