

# **THE RESEARCH OF COOLING INTENSITY OF MICRO- AND NANOFUIDS OBTAINED BY DPIE METHOD TO BE USED AS A QUENCHANT FOR HARDENING OF STEEL PARTS AND TOOLS**

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

---

## **Introduction**

There are more than 2000 plants for heat treatment of metal products currently in Ukraine.

Improvement and efficiency of technological processes, equipment modernization are the first priority for the metallurgical industry. Petroleum oils and based on them compositions are used as the cooling media for quenching small and very large steel parts and tools in Ukrainian heat treating industry.

Alternative cooling media, such as vegetable oils, can be widely used because Ukraine has the appropriate raw material resources and possibility to produce vegetable oils. It is known that during quenching in the traditional liquid media high distortion of steel parts often appear due to high temperature gradients and local film boiling.

Actually, film boiling is not desirable during quenching because the surface is covered with a vapor blanket which decreases cooling rate and creates condition for non – smooth cooling. The most intensive and smooth cooling is achieved when nucleate boiling takes place. At nucleate boiling the liquid medium contacts metal surface forming numerous centers of vaporization of steam (bubbles). They significantly enhance the heat transfer in the boundary layer. Convective cooling is characterized by moderate cooling rates [1-3].

Thus, the intensity of the heat transfer from the heated surface is limited only during film boiling. With the aim to eliminate film boiling, discrete-pulsing input of energy (DPIE) method, developed by ITTF of NASU, was used for processing of micro- and nanofluids based on canola and soybean vegetable oils. Note that vegetable oils do not pollute the environment.

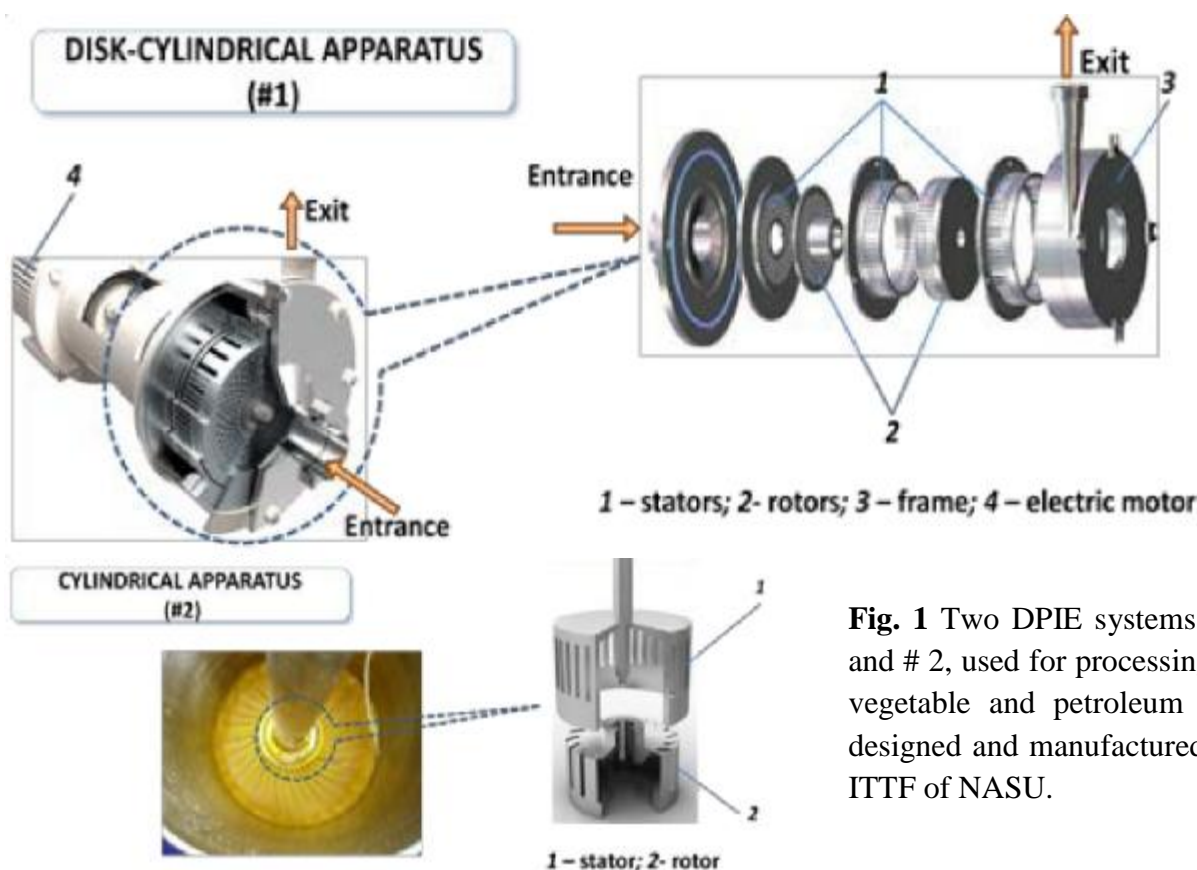
## **Quenchants, methods of testing and results**

The dispersed phases in vegetable oils were oxides of metals: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, TiO<sub>2</sub>, powder of Al, silicon-containing substance aerosil, methyl-silicon acid hydrogel (MSAH); methyl-silicon acid xerogel (MSAX) and salts containing magnesium and other poly-minerals ("Bischofite"). For checking the possibility of preparing the new quenchants on the basis of canola and soybean oils, it was used the method of discrete-pulsing input of energy (DPIE) method [4]. The DPIE process was produced by cylindrical disk flow type system (# 1) and cylindrical type system (# 2), see Fig. 1 [4, 5]. The two DPIE systems shown in Fig. 1 allow eliminating film boiling, especially local film boiling, during quenching of bearing rings, machine components and tools in oils that significantly decreases distortion which is very important parameter of quality mentioned above products after their quenching.

The cooling intensity of micro- and nanofluids were tested by traditional Inconel 600 standard cylindrical probe with a diameter of 12,5 mm. The probe was heated to the temperature of 850 °C and then immersed into the cooling media. The temperature readings during testing of standard probe were recorded with the interval 0.1 second [2, 6]. The results of investigations are presented in Fig. 2 and Fig. 3. The summarized data are provided by Table 2 and Table 3.

It has been established that after DPIE hydrodynamic processing physical and chemical properties of oils slightly have changed (Table 2).

More detailed information on testing microand nanofluids, based on vegetable oils, is provided in Table 3. Petroleum oil I-20 with and without DPIE processing also was investigated (see Fig. 3 and Table 3).



**Fig. 1** Two DPIE systems, #1 and # 2, used for processing of vegetable and petroleum oils designed and manufactured by ITTF of NASU.

Table 1

**Processing parameters used for investigated quenchants**

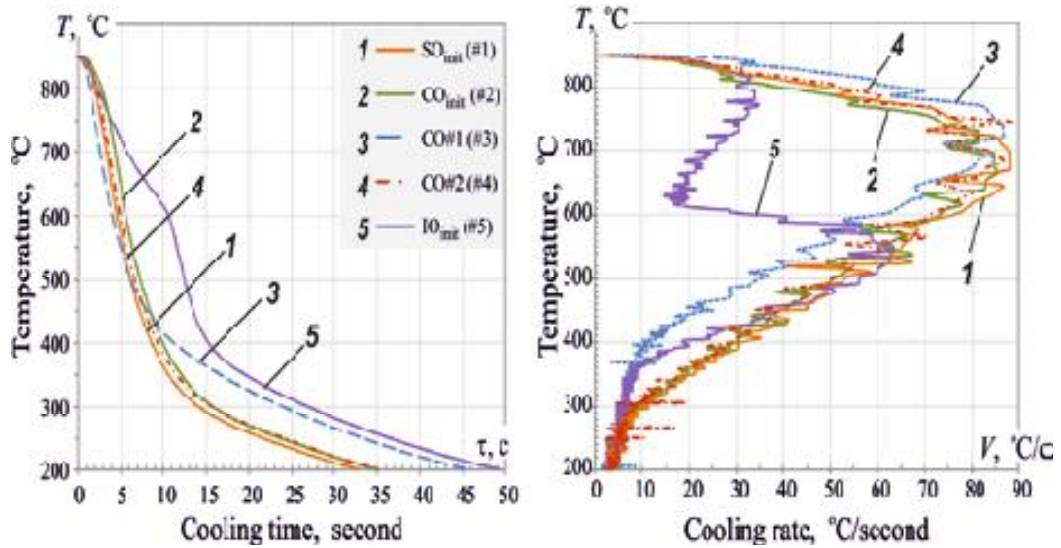
Apparatus	Number of stator-rotor pairs, un.	Pulsation frequency, kHz	Shear rate, c-1	Average peripheral speed, m/s	Initial temperature of the treated medium, °C	Specific treatment time, min./kg
Cylindrical-disk	4	3,5	$205 \cdot 10^3$	17,2	20	2
Cylindrical	1	1,7	$71 \cdot 10^3$	10,5	18-21	12

Table 2

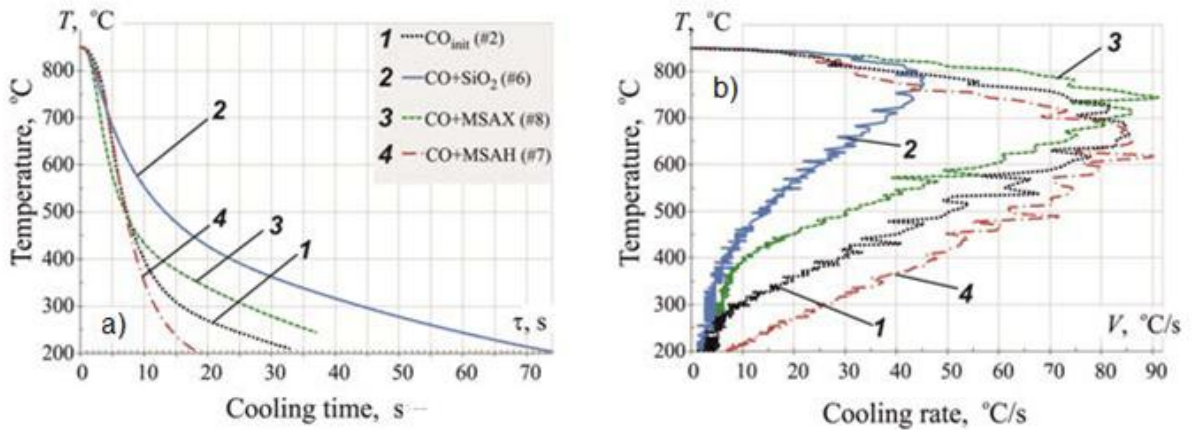
**Physical and chemical properties of base fluids.**

Data	Refraction coefficient, $n_d^{15}$	Surface tension $\sigma$ , N/m	Acid number (mgKOH/g)	Dynamic viscosity $\eta_d^{20}$ , cПз
Initial Canola Oil	1.4743	32.73	0.053	91.50
Canola Oil after processing in apparatus #1	1.4743	32.11	0.130	84.9

Hydrodynamic processing in the system # 1 provided reduction viscosity for 8% and surface tension only for 2% that is within the accuracy of measurements. As known, these properties are important parameters of fluids, determining growth and function of bubbles during quenching (see Eq.(1) [1-3]:



**Fig. 2** Cooling curves (a) and cooling rates (b) achieved by testing of vegetable and petroleum oils with standard Inconel 600 probe: 1 – initial SO (soybean oil); 2 – initial CO (canola oil) 3 – CO after processing in apparatus # 1, 4 – CO after processing in apparatus # 2, 5 – industrial oil I-20 (see Table 3).



**Fig. 3** Time-temperature curves (a) and differential curves (b) probe cooling in: 1 - COinit; 2 – CO with aerosil; 3 - CO with MSAX – Methyl- Silicon Acid Xerogel; 4 - CO with MSAH – Methyl-Silicon Acid Hydrogel (see Table 3).

$$R_{cr} \cong \frac{2\sigma T_s}{r^* \rho \Delta \xi} \quad (1)$$

The surface tension  $\sigma$  and small difference of  $S \Delta \xi = T_{sf} - T_s$  are responsible for bubble growth and its function, governed by Eq. (1). Cooling curves analysis (see Fig. 1) showed that

Table 3

Cooling intensity of base, micro- and nanofluids

Base fluid+ dispersed phase	Processing and obtaining	Mass conc. dispersed particles, C, %	Dispersed phase characteristic		Cooling time in the temperature range, °C			Maximum cooling rate, $w^{\max}$ , °C/s	Probe temperature at the maximum cooling rate, $T^{\max}$ , °C	Cooling rate at 300 °C, $w^{300}$ , °C/s
			Description	Structural element size, $d$ , nm	850-600	850-400	850-200			
Soybean oil	Initial		mixture of fatty acids triglycerides and their related compounds, $T_{\text{boil.}} = 250 \dots 300$ °C		4.6	8.6	33	88.0	678.6	10.7
Canola oil	Initial				5.6	10	35.2	85.3	663.1	9
Canola oil	#1				4.1	11.3	45.3	86.7	736.2	5.6
Canola oil	#2				5	9.4	35.1	88.7	745.5	6.8
I - 20	Initial				10.6	15.3	49.3	63.3	550.5	6.7
Canola oil + aerosil (SiO <sub>2</sub> )	#2	1	aggregates of non-porous nanoparticles up to 15 microns	10-40	7.9	23.5	75	45.3	773.6	2.67
Canola oil + MSAH	#2	0,5	globular threedimensional nanostructure up to 50 mm, pores with water W = 89-90 %	Globule – 7-15; pore – 2-800	4.7	9	18.8	90	617.7	24.67
Canola oil + MSAX	#2	0,5	globular threedimensional nanostructure up to 100 mm, pores with air	Globule – 7-15; pore – 1-200	5.7	12.6	49	90.67	741.5	5.33
Canola oil +Al (powder)	#2	0,5	Content of Al = 85-93 %, impurity Fe, Si, Cu, Mn. 1...40×0,25...0,5 μm		5	10.1	42.6	86	683.4	6.5
Canola oil + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	#2	0,5	2...35 μm		5.5	9.4	30.7	94.7	577.9	14.1
Canola oil + FeO	#2	0,5	2...10 μm		5.4	9.5	32.8	83.4	711.6	10.7
Canola oil + TiO <sub>2</sub>	#2	0,5	Up to 2 μm, aggregates up to 15 μm		5.8	10	33.1	90.1	625.8	11.5
Canola oil + Bischofite	#2	2	Concentrated salt solution, W = 42%		5.2	9.3	37.2	82.6	672	9

during quenching in canola and soybean oils no film boiling was observed. Moreover, the cooling rate of  $SO_{init}$  is higher in comparison with  $CO_{init}$ . There is a stable film boiling during quenching in industrial petroleum oil I-20 which becomes unstable and collapses at surface temperature  $T = 620$  °C.

For analyzing cooling intensity of fluids the temperature range of the probe was divided into three intervals: high temperature (850 ... 600 °C), medium temperature (600 ... 400 °C) and low temperature (400 ... 200 °C). The summarizing results of such approach are presented in Table 3.

Nano-particles and nano-structured siliconcontaining substances added to the canola oil (CO) are presented in Fig. 2 and Table 3. From Fig. 2 and Table 3, one can see that cooling intensity of vegetable oils can be changed within the wide range. This is very important for steel parts of complicated configuration to be quenched in oils without big distortion and possible crack formation and providing high mechanical properties of a material. As is known, for this purpose cooling capacity of quenchants should be regulated. Cooling capacity of quenchants include current and critical heat flux densities, heat transfer coefficients at film boiling, nucleate boiling and convections. Since film boiling in vegetable oils in many cases is absent, in this paper average effective heat transfer coefficients (HTCs) were evaluated on the basis of regular thermal condition theory of Kondratjev [7] and use of standard Inconel 600 probe. If film boiling is absent, the DPIE processing and micro – and nano – additives cannot change significantly cooling intensity of vegetable oils at high temperatures. However, these procedures have a great effect on medium temperatures and convective heat transfer coefficients (see Fig. 3).

Table 4

**HTCs of micro – and nanofluids processed by DPIE technique (system #2) when core temperature of probe approached 300°C**

Coolant	Cooling rate at 300°C, °C /s	HTCs, W/m <sup>2</sup> K
Petroleum I-20 oil without processing	6.7	310
Canola oil without processing	9	412
Pure canola oil+DPIE processing	6.8	315
Canola oil + SiO <sub>2</sub> +DPIE processing	2.67	124
Canola oil +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +DPIE processing	14.1	659
Canola oil + MSAX+DPIE processing	5.33	247
Canola oil + MSAH+DPIE processing	24.67	1153

After adding to canola oil of nanostructured porous particles of MSAH (Methyl-Silicon Acid Hydrogel), the pores of which are filled with water, cooling intensity significantly increases (see Fig. 3). After adding to canola oil of MSAX (Methyl- Silicon Acid Xerogel), pores of which are penetrated by air, is somewhat different from the canola oil (CO) with the MSAH. In this case, the maximum heat transfer rate is at high temperature and after reaching 690 °C the cooling rate decreases significantly (see Fig. 3 and Table 3).

**HTCs and intensity of cooling at 300°C**

For characterization intensity of cooling the HTCs were evaluated on the basis of regular thermal condition theory. The main equations (2 – 6) were used.

$$w = \frac{aKn}{K}(T - T_m) \quad (2)$$

$$K = \frac{1}{\frac{v_0^2}{R^2} + \frac{\pi^2}{Z^2}} \quad (3)$$

$$Kn = \frac{Bi_V}{(Bi_V^2 + 1.437Bi_V + 1)^{0.5}} \quad (4)$$

$$Bi_V = \frac{\alpha}{\lambda} K \frac{S}{V} \quad (5)$$

$$\alpha_{conv} = \frac{v_0^2 \lambda Bi_V}{D} \quad (6)$$

$$v_0^2 = 5.784$$

Here Kn is Kondratjev number [7]; K is Kondratjev form factor;  $Bi_V$  is generalized Biot number;  $\alpha$  is heat transfer coefficient (HTC);  $\lambda$  is thermal conductivity; S is surface; V is volume; D is diameter of test probe.

Thermal diffusivity of Inconel 600 at 300oC is  $a = 4.5 \times 10^{-6} \text{m}^2 / \text{s}$  and thermal conductivity is 17.8 W/mK.

Using experimental data from Table 3, heat transfer coefficients were calculated for all investigated mixture at 300oC (see Table 4).

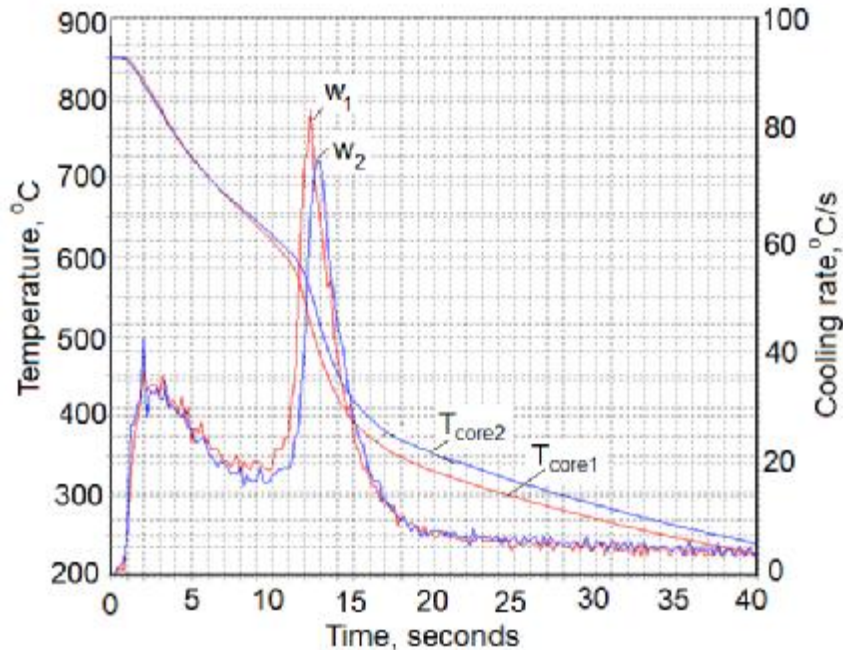
As one can see from Table 4, HTCs at low temperature differ almost ten times. In the same time average maximal cooling rate for all canola mixtures is equal approximately 85 °C/s when core temperature approaches 650°C. Average HTC for this condition is equal 2054W/m<sup>2</sup>K that coincide very well with other experimental data achieved by authors [2].

### Discussion

It is well known that film boiling during quenching in vegetable oils in many cases is absent. When quenching in petroleum oils film boiling is clearly seen. It has been established by authors that film boiling in vegetable oils can be eliminated additionally by DPIE processing if it takes place and cannot be eliminated in petroleum I-20 oil (see Fig. 4).

As one can see from Fig. 4, DPIE processing cannot eliminate film boiling during quenching in petroleum I – 20 oil. Effect of DPIE process exists, however it is insignificant (see Fig. 4). This data are very important for explanation phenomenon of elimination film boiling in vegetable oils.

The explanation of such phenomenon needs more accurate investigations based on solving inverse problem which uses testing probe with multithermocouples. Discovered phenomenon can be used to decrease distortion of steel parts during quenching in oils. The matter is that film boiling, especially local film boiling is a reason for big (double) distortion [8].



**Fig. 4** Cooling curves and cooling rates for Inconel 600 standard probe tested in industrial petroleum oil I-20 at 30°C: w1 is cooling rate for conventional I-20 oil; w2 is cooling rate for processed by DPIE system I-20 oil.

If oil is processed by DPIE technique, the distortion of steel parts after quenching will decrease because probability of local film boiling decreases. Along with the elimination of film boiling, the DPIE technique is an excellent tool for preparing different kinds of mixtures which can be used as a quenchant (see Table 3). Measuring distortion of bearing rings after quenching in oils, processed by DPIE technique, will be the next step of authors investigations to be discussed at the WSEAS Conferences. Also, special attention will be paid to measures of increasing service life of oils. This aspect will be investigated very accurately since vegetable oils are promising for Ukrainian heat treating industry. More information on methods of testing and investigation of vegetable oils can be found in Refs. [ 9 -13].

### Conclusions

1. It has been established by different authors that during quenching in vegetable oils at room temperature in many cases film boiling is absent. During quenching in petroleum oils film boiling, as a rule, is present. There are different hypothesis explaining this phenomenon.
2. The DPIE technique can be effectively used for preparing different kinds of quenchants to be used in heat treating industry and others branches of manufacturing.
3. Thermo- physical properties of vegetable oils combined with the micro- and nanoparticles were investigated by authors.
4. DPIE processing eliminates film boiling in hot vegetable oils during quenching where film boiling exists. This phenomenon needs more investigations and proper explanation.

5. When film boiling is absent in canola oil, DPIE processing cannot effect cooling intensity at high temperatures. Only micro – and nanoparticles have a great effect on cooling intensity at medium and low temperatures.
6. For understanding and explanation the absence of film boiling during quenching in vegetable oils, the probes with multi – thermocouple, noise control system and video will be used by authors in their future investigations.

DPIE = Discrete-pulsing input of energy method  
CO = Canola oil  
SO = Soybean oil  
CR = Cooling rate  
MSAH = Methyl-silicon acid hydrogel  
MSAX = Methyl-silicon acid xerogel  
HTC = Heat transfer coefficient

#### REFERENCES:

1. *Petrash, L.V.*, Quenching Media, Mashgiz, Moscow, 1959, 112 p.
2. *Kobasko, N.I., Souza, E.C., Canale, L.C.F., Totten, G.E.*, Vegetable Oil Quenchants: Calculation and Comparison of the Cooling Properties of a Series of Vegetable Oils, Journal of Mechanical Engineering, V. 56, No 2, 2010, pp. 131 – 142.
3. *Ramest G., Prabhu N.K.*, Review of thermophysical properties, wetting and heat transfer characteristics of nanofluids and their applicability in industrial quench heat treatment, Nanoscale Review Letters, 6(1), 2011, pp. 334-349.
4. *Dolinsky, A.A., Grabov, L.N., Grabova, T.L.*, DPIE method in innovative technologies and heatmass exchange equipment, Industrial Heat Engineering , V. 34, No 3, 2012, pp. 18–30.
5. *Dolinsky, A.A., Grabova, T.L., Moskalenko, A.A., Logvinenko, P.N., Kobasko, N.I.*, Cooling Intensity of Micro- and Nano-fluids to be Used as a Quenchant for Hardening of Steel Parts and Tools, Proceedings of the 4 th International Conference on Fluid Mechanics and Heat & Mass Transfer, Dubrovnik, Croatia, June 25-27, 2013, pp. 88-93.
6. *Moskalenko A.A., Kobasko N.I. Protsenko L.N., Logvinenko P.N. e. al.*, Development of methods and equipment to determine the cooling capacity of the quenching media // The tenth anniversary of the International Industrial Conference "Efficiency of research, resources and industrial potential in modern conditions" Slavsk, 18-22 Feb. ,2010, pp. 209 – 212.
7. *Kondratjev, G.M.*, Thermal Measurements, Mashgiz, Moscow, 1957, 240 pages.
8. *Kobasko, N.I., Aronov, M.A., Ferguson, B.L., Li, Z.*, “Local Film Boiling and Its Impact on Distortion of Spur Gears During Batch Quenching”, Materials Performance and Characterization, Vol. 1, Issue 1, 2012, pp. 1 – 15, doi: 10.1520/MPC104533. ISSN 2165 – 3992.
9. *Rajesh, E., Prabhu, K.N.*, Enhancement of heat transfer characteristics of transformer oil by addition of aluminum nanoparticles, Film and Nucleate Boiling Processes, STP 1534, K.N.Prabhu, N. Kobasko (Eds.), ASTM International, West Conshohocken, 2012, pp. 45 – 60.



**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 спиртосодержащих 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