

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ  
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

VI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ  
КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІННОВАЦІЙНІ  
ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ»**



**ОДЕСА**  
2017

Публікуються доповіді, представлені на VI Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні енерготехнології» (4 – 8 вересня 2017 р.) і присвячені актуальним проблемам підвищення енергоефективності в сфері АПК, харчових та хімічних виробництвах, розробки та впровадження ресурсо-та енергоефективних технологій та обладнання, альтернативних джерел енергії.

Редакційна колегія:

доктор техн. наук, професор

О.Г. Бурдо

Ю.О. Левтринська

Е.Ю. Ананійчук

О.В. Катасонов

## МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ОРГКОМІТЕТ

- Єгоров**  
*Богдан Вікторович* - голова, Одеська національна академія харчових технологій, ректор, д.т.н., професор
- Бурдо**  
*Олег Григорович* - вчений секретар, Одеська національна академія харчових технологій, д.т.н., професор
- Атаманюк**  
*Володимир Михайлович* – Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор
- Васильєв**  
*Леонард Леонідович* – Інститут тепло- і масообміну ім. А.В. Ликова, Республіка Білорусь, д.т.н, професор
- Гавва**  
*Олександр Миколайович* – Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
- Гумницький**  
*Ярослав Михайлович* – Національний університет „Львівська політехніка”, д.т.н., професор
- Долинський**  
*Анатолій Андрійович* –Інститут технічної теплофізики, почесний директор, д.т.н., академік НАНУ
- Зав’ялов**  
*Владимир Леонідович* – Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
- Керш**  
*Владимир Яковлевич* – Одеська державна академія будівництва та архітектури, д.т.н., професор
- Колтун**  
*Павло Семенович* – Technident Pty. Ltd., Australia, Dr.
- Корнієнко**  
*Ярослав Микитович* – Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
- Малежик**  
*Іван Федорович* – Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
- Михайлов**  
*Валерій Михайлович* – Харківський державний університет харчування та торгівлі, д.т.н, професор
- Паламарчук**  
*Ігор Павлович* – Вінницький національний аграрний університет, д.т.н., професор
- Снежкін**  
*Юрій Федорович* –Інститут технічної теплофізики, директор, д.т.н., член-кор. НАНУ
- Сорока**  
*Петро Гнатович* – Український державний хіміко-технологічний університет, д.т.н., почесний професор
- Тасімов**  
*Юрій Миколайович* – Віце-президент союзу наукових та інженерних організацій України
- Товажнянський**  
*Леонід Леонідович* – Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
- Ткаченко**  
*Станіслав Йосифович* – Вінницький національний технічний університет, г. Вінниця, д.т.н., професор
- Ульєв**  
*Леонід Михайлович* – Національний технічний університет Харківський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
- Черевко**  
*Олександр Іванович* – Харківський державний університет харчування та торгівлі, ректор, д.т.н, професор
- Шит**  
*Михайл Львович* – Інститут енергетики Академії Наук Молдови, к.т.н., в.н.с.

3 – пристрій; 4 – парашут; 5 – антифрикційний шар

Матеріалом для антифрикційного шару на внутрішній поверхні захисної труби є композиція силікону і високомолекулярного поліетилену високої щільності.

**Висновок:** виготовлення обладнання для екструзії полімерної композиції антифрикційного шару труб для захисту оптоволоконного кабелю є актуальним, а дослідження процесу екструзійного перемішування даної композиції – важливим. Базовим параметром якості антифрикційного шару приймається динамічний коефіцієнт тертя, значення якого має бути  $0,1 \pm 0,075$ .

#### Література:

1. <http://www.planetaplast.com/kontakti/> (дата звернення: 22.05.2017)
2. <http://www.rtz.com.ua/gallery.html> (дата звернення: 22.05.2017)
3. [http://sherman-reilly.com/news/products\\_list/minijet/](http://sherman-reilly.com/news/products_list/minijet/) (дата звернення: 22.05.2017)
4. Семенов А. Б. Волоконно-оптические подсистемы современных СКС / Семенов А. Б. – М.: Академия АйТи; ДМК Пресс, 2006. – 632 с., ил.
5. <http://asp24.com.ua/made-in-ukraine/otl-m-2-7-p-8x12e1-96-voлокon/> (дата звернення: 17.10.2016).
6. Двойнос Я.Г., Гоцький Я. Г. Захисні поліетиленові труби для оптоволоконних кабелів зв'язку // Збірник тез доповідей XI міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання" (06-07 грудня 2016 р. м. Київ), С. 40–41.

УДК 661.681

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИЯ ИЗ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ

Рябик П.В., канд. техн. наук, доцент, Опарин С.А.,  
канд. техн. наук, доцент, Гриднева Т.В.

ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет»,  
Днепр, Украина

## THERMODYNAMIC EVALUATION OF THE PRODUCTION OF SILICON FROM RICE HUSK

Rabic P. V., Oparin, S. A., Gridneva T. V.

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

*Аннотация:* Кремний является одним из самых распространенным материалов, который находит применение во многих областях промышленности. Его применяют в производстве полупроводников, огнеупоров, для изготовления солнечных батарей.

Для традиционных технологий в Украине используют хлоридный метод, который имеет высокую стоимость, большие затраты на производство и влечет за собой экологическую опасность, которая связана с транспортировкой токсичного и летучего хлорсодержащего сырья.

Альтернативным сырьевым источником для получения кремния являются многотоннажные отходы рисового производства – рисовая шелуха. По своему составу она состоит из лигнина, целлюлозы и 20% диоксида кремния. Подвергнув специальной обработке рисовую шелуху, возможно получить кремний, который будет обеспечивать всем требованиям для производства, что в свою очередь, открывает новые возобновляемые источники сырья для производства кристаллического кремния.

Разработка малоотходной технологии переработки минеральной части рисовой шелухи в кристаллический кремний, а органической части - в жидкие и газообразные углеводородные продукты с широким диапазоном температур кипения является актуальной задачей, как с экономической, так и с экологической точки зрения.

Целью данной работы является установление основных термодинамических параметров процесса получения кремния из рисовой шелухи. По данным термодинамического анализа были установлены зависимости равновесных концентрированных фаз от температуры и давления в системах рисовая шелуха – аргон, рисовая шелуха – водород. В работе установлены оптимальные условия для образования равновесного состава фаз. Определено, что изменение давления не оказывает существенного влияния на равновесный состав системы, а влияние оказывает только температура и среда.

**Abstract:** Silicon is one of the most common materials that finds application in many industries. It is used in the semiconductor industry, refractories for the manufacture of solar panels.

For the traditional technologies used in Ukraine is the chloride method, which has high cost, the high cost of production, and entails environmental risk associated with transportation of toxic and volatile chlorine-containing raw materials.

Alternative raw material source for the production of silicon are large-tonnage waste of rice production – rice husk. In composition it consists of lignin, cellulose, and 20% of silicon dioxide. Exposing the special treatment of rice husk, it is possible to obtain silicon, which will provide all the requirements for production, which in turn opens up new renewable sources of raw materials for the production of crystalline silicon.

The development of low-waste technology for processing mineral rice husk in crystalline silicon, and the organic part in a liquid and gaseous hydrocarbon products with a wide range of boiling points is an important task, both from an economic and from an environmental point of view.

The aim of this work is the determination of the main thermodynamic parameters of the process of obtaining silicon from rice husk. According to thermodynamic analysis was established based on the equilibrium of the concentrated phase from the temperature and pressure in the systems of rice husk – argon, rice husk – hydrogen. In the work the optimum conditions for the formation of the equilibrium composition of the phases. It is determined that the pressure change has no significant influence on the equilibrium composition of the system, as influenced by temperature and environment.

**Ключевые слова:** кремний, рисовая шелуха, среда, аргон, водород, термодинамика, анализ, оценка  
**Keywords:** silicon, rice husk, environment, argon, hydrogen, thermodynamics, analysis, evaluation

**Постановка проблемы.** Поликристаллический кремний - материал очень высокой чистоты, и вплоть до 2000-2001 гг. являлся основой только для производства полупроводников. Базой же солнечной энергетики были в основном отходы «электронной» индустрии: некондиционный поликремний, получаемый в цикле производства поликремния электронного. За последние годы ситуация во многом изменилась: свыше 60% общей потребности солнечной энергетики обеспечивает поликремний, специально произведенный для неё. Мировое производство поликристаллического кремния составляет 20 тысяч тонн в год, и ежегодно увеличивается на 18-20%. Более 90% мирового рынка поликристаллического кремния контролируют 10 крупнейших компаний США, Японии, Германии и Италии. Мировым лидером по производству поликристаллического кремния солнечного качества является корпорация SGS Asimi. Норвежской группе REC - Renewable Energy Corporation принадлежит также один из крупнейших производителей кремниевых пластин - Scan Wafer ASA.

Традиционно в Украине используется хлоридный (трихлорсилановый) метод получения поликристаллического кремния из технического кремния, который был разработан и реализован в промышленности еще в середине 50-х годов фирмой Siemens.

Однако «трихлорсилановая» технология несет в себе первоначально заложенную экологическую опасность (разгерметизации труб, выбросы токсических веществ в атмосферу т.д.). Дело в том, что все хлорпроизводные кремния и хлористый водород коррозионно агрессивны по отношению к конструкционным материалам и вызывают местную коррозию, приводящую к быстрому и катастрофическому разрушению оборудования. По мнению экологов, даже если производство будет идти по доработанному «замкнутому» циклу, оно будет сохранять такие первоначальные черты как: высокая энергоёмкость, низкий выход продукта и экологическую опасность. К тому же, транспортировка токсичного и летучего хлорсодержащего сырья сопряжена с риском разгерметизации и заражением всего живого в радиусе многих километров.

**Цель статьи.** Учитывая высокую стоимость поликристаллического кремния и большие энергозатраты на реализацию технологических процессов получения кремния на основе кристаллического SiO<sub>2</sub>, большой практический интерес представляет разработка технологии производства кремния из рисовой шелухи (РШ), которая является крупнотоннажным отходом рисового производства. РШ содержит в своем составе лигнин, целлюлозу, и минеральную часть. Методом элементного анализа установлено, что РШ содержит, %масс. : SiO<sub>2</sub> - 22.24, С - 35.77, О - 36.59, Н - 5.05, N - 0.32 и может после специальной подготовки использоваться в качестве дешевого возобновляемого источника сырья для производства кристаллического кремния.

Разработка малоотходной технологии переработки минеральной части РШ в кристаллический кремний, а органической части - в жидкие и газообразные углеводородные продукты с широким диапазоном температур кипения является актуальной задачей как с экономической, так и с экологической точки зрения.

**Основная часть.** В настоящей работе представлены сравнительные результаты термодинамических исследований получения кремния из рисовой шелухи при различных средах.

Так как кремний в рисовой шелухе представляет собой соединение диоксида кремния, а нашей задачей является получение чистого кремния, то диоксид кремния необходимо разложить путем пиролиза на компоненты. Для этой цели возможно использование инертных и восстановительных сред, которые в тоже время и являются носителями твердых частиц рисовой шелухи в аппарате. В качестве инертной среды использовали аргон, а в качестве восстановительной – водород.

Расчеты выполнялись на ЭВМ методом минимизации полного приведенного изобарно-изотермического потенциала с использованием стандартного программного комплекса ASTRA 4.0, который позволяет рассчитать равновесные составы на основе нахождения максимума энтропии системы.

При проведении расчетов конденсированные фазы рассматривались в виде чистых веществ, а газовая фаза представлялась в виде смеси идеальных газов.

Результаты расчета системы РШ- аргон, представлены на рис. 1. Исходный состав системы в %масс. : РШ - 100, Аг - 2.

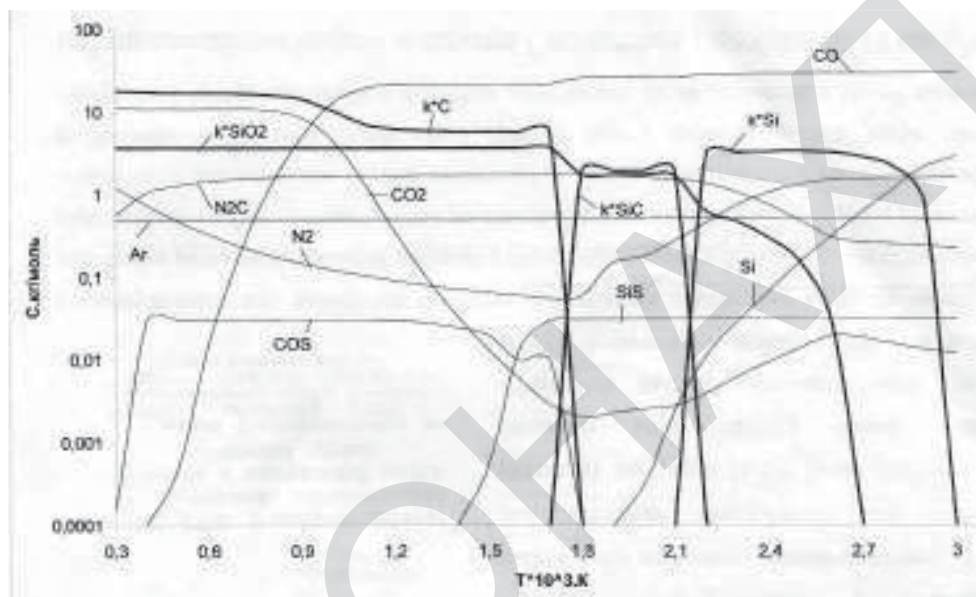


Рис 1. Зависимость равновесного состава системы РШ-Аг от температуры.

В качестве равновесных конденсированных фаз в температурном интервале (300-3000) К зарегистрированы двуокись кремния, углерод, карбид кремния и кремний. Как видно из рис.1, концентрация углерода постепенно уменьшается и в диапазоне температуре 1700-1800К углерод полностью переходит в карбид кремния. В этом же температурном интервале наблюдается заметное уменьшение концентрации двуокиси кремния. В температурном интервале 1800-2100К в конденсированной фазе находятся карбид кремния и двуокись кремния. В интервале температур 2100-2200К начинается образование конденсированной фазы кремния, а карбид кремния полностью разлагается. В температурном интервале 2200-2700 существуют две конденсированные фазы: двуокись кремния и кремний. В интервале 2700-3000 в конденсированной фазе остается только кремний. Во всем интервале температур наблюдается рост концентрации окиси углерода, а при температуре 1900К часть кремния переходит в газовую фазу и далее увеличивает свою концентрацию. Изменение давления от 0,01 до 1,0 МПа не оказывает существенного влияния на равновесный состав системы.

Термодинамический анализ системы РШ-Н<sub>2</sub>, представлен на рис. 2. Исходный состав системы в % масс.: 100% РШ, 10%Н<sub>2</sub>.

Как видно из рис.2, равновесный выход кремния начинается при температуре 2000-2050К. При этом, концентрация двуокиси кремния и карбида кремния с ростом концентрации кремния снижается. В области температур (2300-2800)К в конденсированной фазе находится только кремний. Так же наблюдается рост концентрации СО и Н<sub>2</sub> в интервале температур (300-1200) К. Так же наблюдается рост концентрации газовой фазы кремния в интервале(2000-3000)К. Изменение давления от 0,01 до 1,0 МПа также не оказывает существенного влияния на равновесный состав системы.

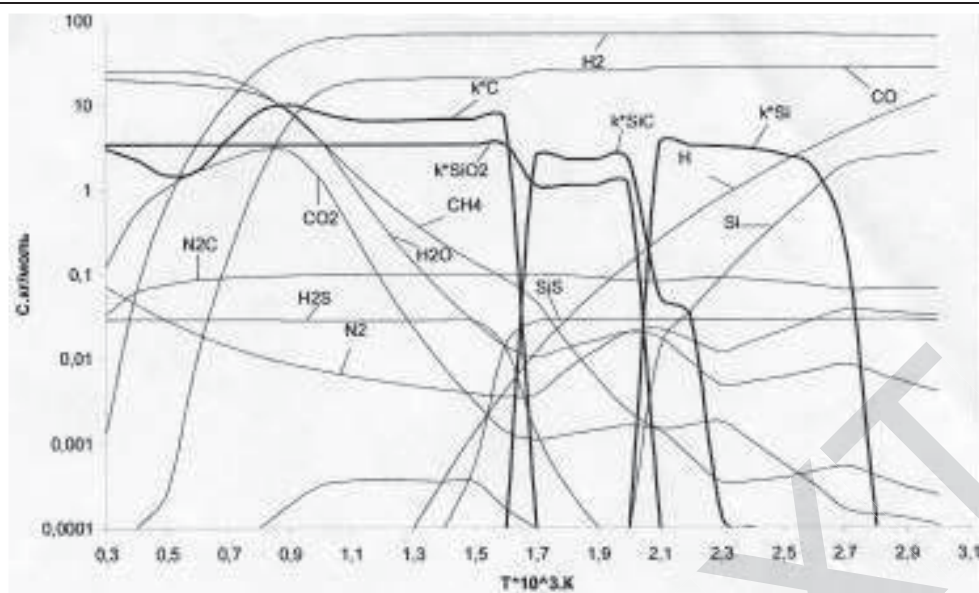


Рис 2. Зависимость равновесного состава системы РШ-Н2 от температуры

**Выводы:** В результате проведения термодинамического анализа дана оценка термодинамической вероятности процесса получения кремния из рисовой шелухи в инертных и восстановительных средах при различных температурах и давлении. Установлено, что на равновесный состав системы оказывает существенное влияние среда и температура, а изменение давления от 0,1 до 1,0 МПа не приводит существенному изменению состава системы.

УДК 664.38

## ИССЛЕДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭКСТРУДИРОВАННОГО ЯДРА ПОДСОЛНЕЧНИКА

Евлаш В.В., д-р техн. наук, профессор, Потапов В.А., д-р техн. наук, профессор  
Никитин С.В., аспирант

Харьковский государственный университет питания и торговли, г. Харьков  
Фотченко К. В., директор ООО «НАТЕ ПЛЮС», г. Харьков

## RESEARCH OF THE CHEMICAL COMPOSITION AND FUNCTIONAL- TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF THE EXTRUDED SUNFLOWER KERNEL

Evlash V.V, Dr. Tech. Sciences, Professor, Potapov V.A, Dr. Tech. Sciences,  
Professor

Nikitin S.V, postgraduate student  
Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv  
Fotchenko K.V. director LLC "NATE PLUS", Kharkiv

**Аннотация:** В статье приведены результаты экспериментальных исследований экструдированного ядра семян подсолнечника. Показано, что перспективным источником пищевого белка являются вторичные ресурсы масложировой промышленности, получаемые при переработке семян подсолнечника, в том числе экструдированное безлузговое ядро семян подсолнечника, полученные при низких

КИНЕТИКА КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ГРАНАТОВОГО СОКА В УСТАНОВКЕ БЛОЧНОГО ВЫМОРАЖИВАНИЯ	101
<b>Стоянова А.М., Драгни Е.И., Терземан Е.Ф.</b> .....	
РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ СИСТЕМ С УТИЛИТНЫМИ ПУТЯМИ	
<b>Ульев Л.М., Маатук А.</b> .....	106
ПРОЕКТ ТЕРМОМОДЕРНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО КОРПУСА ОНАПТ	
<b>Перетяка С. Н., Козинец А. Ю., Бандура Д. А.</b> .....	111
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛОНАСОСНОГО СУШІННЯ	
<b>Дабіжа Н.О.</b> .....	115
РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ КОЖУХОТРУБНИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ ДЛЯ ВИСОКОМІНЕРАЛІЗОВАНИХ СЕРЕДОВИЩ	
<b>Чаласєв Д.М., Шматок О.І., Грабова Т.Л., Сильнягіна Н.Б.</b> .....	121

### ІННОВАЦІЙНІ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНИХ ТА ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

ПОГЛИНАННЯ ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ ІЗ СУМІШІ ПОВІТРЯ З ДІОКСИДОМ СУЛЬФУРУ	
<b>Дячок В. В., Гуглич С. І., Катишева В. В., Мандрик С. Т.</b> .....	126
ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА МОНТМОРИЛОНІТУ, МОДИФІКОВАНОГО ПОЛІОНЕНАМИ	
<b>Суха І.В., Томіло В.І., Белянєвська О.А., Сухий К.М.</b> .....	131
ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОМАСООБМІНУ ПІД ЧАС ВЗАЄМОДІЇ ТВЕРДОГО ТІЛА З РІДКИМ РЕАГЕНТОМ	
<b>Гумницький Я.М., Атаманюк В.М., Симак Д.М., Данилюк О.М.</b> .....	138
АДСОРБЦІЙНО-ДИFUЗИЙНІ ПРОЦЕСИ У СТАТИЧНОМУ ШАРІ ДИСПЕРСНОГО МАТЕРІАЛУ В СТАЦІОНАРНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ УМОВАХ	
<b>Сабадаш В.В., Гумницький Я.М.</b> .....	143
ПРОЦЕСИ ВИРОБНИЦТВА НЕЕНЕРГОСМНИХ КОНЦЕНТРАТИВ ФІТОПРЕПАРАТИВ	
<b>Бурдо А.К., Альхурі Юсеф, Ананійчук Е.Ю., Величко В.П.</b> .....	148
РОЛЬ НАДЛИШКОВОГО МАРГАНЦЮ В ФОРМУВАННІ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАНОСТРУКТУРНОГО КОМПЗИТУ НА ОСНОВІ МАНГАНІТУ І СТАБІЛІЗОВАНОГО ДІОКСИДУ ЦИРКОНІУ	
<b>Акимов Г.Я., Новохацька А.О.</b> .....	153
ЗАХИСНІ ПОЛІЕТИЛЕНОВІ ТРУБИ ДЛЯ ОПТОВОЛОКОННИХ КАБЕЛІВ ЗВ'ЯЗКУ З АНТИФРИКЦІЙНИМ ВНУТРІШНІМ ШАРОМ	
<b>Гоцький Я. Г., Двойнос Я. Г.</b> .....	157
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИЯ ИЗ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ	
<b>Рябик П.В., Опарин С.А., Гриднева Т.В.</b> .....	161
ИССЛЕДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭКСТРУДИРОВАННОГО ЯДРА ПОДСОЛНЕЧНИКА	
<b>Евлаш В.В., Потапов В.А. Никитин С.В.</b> .....	164
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ БЛОКА ЛЬДА В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ	
<b>Тришин Ф.А., Трач А.Р., Орловская Ю. В.</b> .....	168
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССА ДЕМИНЕРАЛИЗАЦИИ МОРСКОЙ ВОДЫ В АППАРАТАХ БЛОЧНОГО ВЫМОРАЖИВАНИЯ	
<b>Тришин Ф.А., Масельская Я.А.</b> .....	174
ОЦІНЮВАННЯ БЕЗРЕАГЕНТНОЇ ОБРОБКИ ВОДИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ	
<b>Журавська Н. Е.</b> .....	179