



УДК 541.64:678.6

RESEARCH ON THE PROCESS OF EPOXIDATION OF NATURAL RUBBER IN AN ACIDIC ENVIRONMENT

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЕПОКСИДУВАННЯ НАТУРАЛЬНОГО КАУЧУКУ В КИСЛОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Karnaushenko D.O./ Карнаушечко Д.О.

post graduate student / аспірант

ORCID: 0009-0000-9350-0888

Zybailo S.M./ Зибайло С.М.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-5122-7692

Ukrainian State University of Sciences and Technologies, Dnipro, Lazaryana, 2, 49000
Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Лазаряна, 2, 49000

Анотація. В роботі розглянуто сучасні технології отримання латексу епоксидованого натурального каучуку, як спосіб переробки відходів НК. Рециклінг відходів виробництва НК шляхом їх розчинення у нафтовому ксилолі з подальшим епоксидуванням у водному середовищі є перспективним напрямком досліджень.

Метою дослідження є вирішення проблеми накопичення відходів виробництва латексу НК та розробка шляхів їх переробки в промислово-затребуваний продукт – латекс ЕНК.

Запропоновано відгонку нафтового ксилолу з водного розчину епоксидованого НК проводити з використанням насадки Діна-Старка з метою отримання нового перспективного матеріалу – латексу скрапу натурального каучуку (LSENR).

Отримано залежності зміни концентрацій компонентів розчину від часу нагрівання суміші вода-ксилол при епоксидуванні НК та відгону нафтового ксилолу одночасно з водою.

Досліджена технологія епоксидування НК у кислому середовищі дозволяє отримати товарний вид каучуку (ENR-25) після його коагуляції із водного розчину.

Ключові слова: натуральний каучук, латекс епоксидованого натурального каучуку, епоксидування, відгон ксилолу, кисле середовище.

Вступ.

У роботі [1] наведено результати досліджень технології епоксидування з концентрованого латексу натурального каучуку (НК) та *in situ* пероксиформової кислоти, яка синтезується з мурашиної кислоти і пероксиду водню. Досліджено вплив таких технологічних параметрів процесу епоксидування, як вміст стабілізатора (нонілфенол етоксилат, NP9), вміст сухого каучуку, кількості ізопрену, швидкості перемішування, часу реакції, температури реакції та молярного співвідношення пероксиду водню та ізопрену на вміст епоксидної групи в продукті, який варіювався від 23,4 до 43,6 % мас. Це дослідження є основою для створення серії продуктів та побудови процесу виготовлення епоксидованого натурального каучуку (ЕНК) на основі виробництва НК, які є



відновлюваними, екологічно чистими, дешевими, що має промислове застосування [1].

У роботі [2] запропоновано методика розрахунку процесу випарювання розчинника з водного розчину епоксидованого скрапу НК з метою отримання нового перспективного матеріалу – латексу скрапу натурального каучуку (LSENR).

В роботі [3] запропонована схема процесу та здійснено епоксидування натурального каучуку перкислотами в середовищі вода-ксилол нафтовий в термоізолюваному реакторі. Досліджено склад та дане оцінювання можливого застосування одержаних продуктів [4,5]. Як сировину запропоновано використовувати відходи виробництва НК, які регенерують у ЕНК [3]. Однак дана технологія ресурсозатратна через складність виділення ЕНК із розчину ксилол-вода, отриманий ЕНК не має стабільності фізико-хімічних показників.

Відомий процес переробки відходів НК [6], який включає розчинення зкоагульованого каучуку в ароматичному розчиннику або карбоциклічного типу, наприклад, бензолі, толуолі або ксилолі, поряд з агентом, що омиляється, наприклад рідкої жирною кислотою або глицеридами жирних кислот, у кількості близько 5 % мас. або менше від ваги каучуку. До розчину поступово додають воду, що містить омилюючий агент, наприклад аміак або відповідний амін, в результаті чого в розчині утворюється мило. Розчин спочатку загусає, причому вода є дисперсною фазою. Додавання води продовжують доти, доки не настане звернення фаз і вода зрештою буде представляти безперервну фазу, а каучук з його розчинником - дисперсну фазу емульсії. Усі це проводиться без застосування нагрівання, але при безперервному перемішуванні, спочатку для забезпечення освітлення дисперсії речовини в розчині, а після того як відбулось виділення фаз - дисперсії розчину каучуку в неперервному середовищі. Дотримуючись цього методу, можна перетворити в емульсію зкоагульовану гуттаперчу, балату або інші відходи НК, що видобуваються спочатку у вигляді латексу [6]. Але за даною технологією можливо отримати лише некомерційні низькоконцентровані види латексу. Тому актуальним в наш час є дослідження



умов утворення концентрованого латексу епоксидованого НК для створення композиційних матеріалів з новими властивостями.

Основний текст.

Метою дослідження є вирішення проблеми накопичення відходів виробництва латексу НК та розробка шляхів їх переробки в промислово-затребуваний продукт – латекс ЕНК. Для цього з розчину після епоксидування НК потрібно видалити ксилол з отриманням концентрованого водного розчину латексу ЕНК (45-60 % мас.).

Об'єктом дослідження є процес епоксидування відходів натурального каучуку. НК модифікується реакцією епоксидування для досягнення більш високої маслостійкості, підвищеної адгезії, атмосферостійкості і демпфуючих характеристик матеріалів з його застосуванням. Епоксидований натуральний каучук, а також його латексна форма має широкий діапазон застосування, наприклад, в покриттях бігових доріжок, шинах спеціального призначення, ремінних передачах, шлангах, взутті, клеях, герметиках, підлогових покриттях і інших галузях, де використовували тільки спеціальні синтетичні каучуки. Латекс ЕНК також можливо застосовувати як матеріал для виробів текстильної та легкої промисловості.

Реакція епоксидування є випадковим процесом і, отже, приєднання кисню до подвійних зв'язків, розподілених вздовж молекули полімеру, відбувається хаотично. При дуже низьких рівнях епоксидування реакція протікає простіше, оскільки окремі ізопренові ланки «вільно» розташовані вздовж основного ланцюга молекули. Однак швидкість реакції зростає зі збільшенням вмісту кислоти, що створює більше епоксидованих блоків (до 15 мол.% або вище) вздовж скелету НК. Отриманий ЕНК з вмістом епоксидних груп нижче 50 мол.% є типовим еластомером, більш липким, ніж НК, через наявність епоксидних груп, напівпрозорою або непрозорою, брудно-білою речовиною з легким жовтуватим відтінком [3].

Встановлено, що використання суміші розчинників ксилол-вода скорочує час епоксидування з 5 до 3 годин, а також температуру нагрівання суміші – зі 143



°C до 93 °C. Все це сприяє економії енергії не лише за рахунок зменшення загального часу нагрівання, але й за рахунок зменшення необхідного теплового потоку [2-4].

В роботі як сировину використовували низькомолекулярний нетоварний натуральний каучук з середнь'язкісною молекулярною масою $35 \cdot 10^4$, які подрібнювали та розчиняли у ксилолі нафтовому з отриманням 10 % мас. розчину, який піддавали епоксидуванню в скляній колбі зі зворотнім холодильником.

Епоксидуючий агент складався із перекису водню (35% мас.) та оцтової кислоти (96% мас.) у вигляді водних розчинів. Додавання оцтової кислоти дозволяє отримати надоцтову кислоту та підтримувати кисле середовище на рівні $pH=3,4$ при проходженні процесу епоксидування. Кількість епоксидуючого агенту відповідала ступеню епоксидування 50% мас.

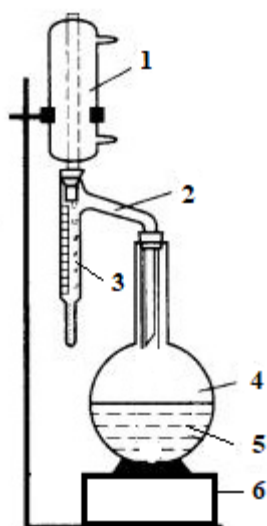
Для отримання латексної форми у розчин додано ПАР – Неонол 9-10 для емульгування часток епоксидованого натурального каучуку. Відгонку нафтового ксилолу проводили з водяною парою для чого додатково додавали дистильовану воду у кількості 1:1 до розчину натурального каучуку.

Процес епоксидування здійснювали у круглodonній колбі, оснащений приладом Діна-Старка (рисунк 1). Температуру процесу епоксидування та відгонки контролювали безконтактним термометром з точністю до $0,1^\circ C$.

Реакційну суміш у колбі нагрівали до точки кипіння ($93^\circ C$): пара барботувала через шар розчину, енергійно перемішуючи його до утворення пінної фази, на поверхні якої відбувався процес епоксидування. Пари нафтового ксилолу та води після охолодження охолодження в зворотньому холодильнику потрапляли в збірну ємність.

Ступінь епоксидування, конверсія епоксидного агенту, аналіз складу отриманого продукту проводили за методиками, описаними в роботі [4].

Матеріальний баланс процесу епоксидування та відгонки нафтового ксилолу в парах води наведено в таблиці 1. Зважування компонентів реакційної суміші проводили на електронних вагах з точністю до $0,01g$.



а



б

Рисунок 1 – Схема приладу(а) та лабораторна установка з насадкою Діна-Старка(б): 1 – холодильник; 2 – паропровід; 3 – збірник відгону; 4 – круглодонна колба; 5 – розчин епоксидованого натурального каучуку; 6 – електрична плитка

Джерело: Авторська розробка

В роботі епоксидування та відгон нафтового ксилолу проводили одночасно, при цьому на першому етапі на протязі 10 хвилин відбувався нагрів реакційної маси до 93°C (рисунок 2). Зміна концентрації компонентів розчину від часу нагрівання суміші вода-ксилол наведено на рисунку 3.

Процес спільного відгону та епоксидування завершили після коагуляції ЕНК в розчині на 30 хв. із початку нагріву (рисунок 2б), що пов'язано з граничною його концентрацією (11,9 % мас.). Для збільшення концентрації ЕНК у водному розчині та запобігання самовільної коагуляції латексу потрібно збільшити рН розчину (>8,0) на початку відгону нафтового ксилолу.

Середня швидкість відгону нафтового ксилолу після нагріву суміші до 93°C склала 0,67% за хвилину, що відбувалось одночасно з відгоном води.

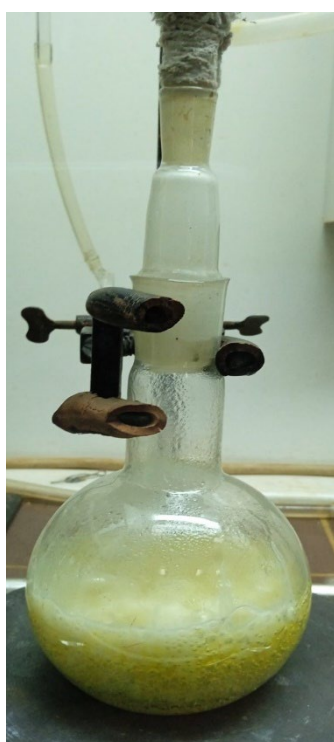
В процесі епоксидування ступінь конверсії епоксидуючого агенту склала 52,6%, ступінь епоксидування НК – 24,8%. Отриманий ЕНК мав білий колір та задану ступінь епоксидування, що відповідає товарному продукту (ENR-25).



Таблиця 1 - Матеріальний баланс процесу епоксидування відходів НК

Витрати		Надходження	
Статті витрат	%, мас.	Статті надходження	% мас.
Натуральний каучук	6,0	Епоксидований натуральний каучук	6,4
Ксилол нафтовий	34,0	Відгін ксилолу	19,2
Перекис водню	0,8		
Оцтова кислота	0,2		
ПАР	0,2		
Вода з компонентами	18,8	Суміш вода-ксилол - ПАР на латексоутворення	47,6
Вода для процесу відгону	40,0	Відгін води	26,8
ВСЬОГО	100,0	ВСЬОГО	100,0

Джерело: Авторська розробка



а



б

Рисунок 2 – Результати епоксидування натурального каучуку в кислому середовищі (а) та після відгону суміші вода-ксилол (б)

Джерело: Авторська розробка

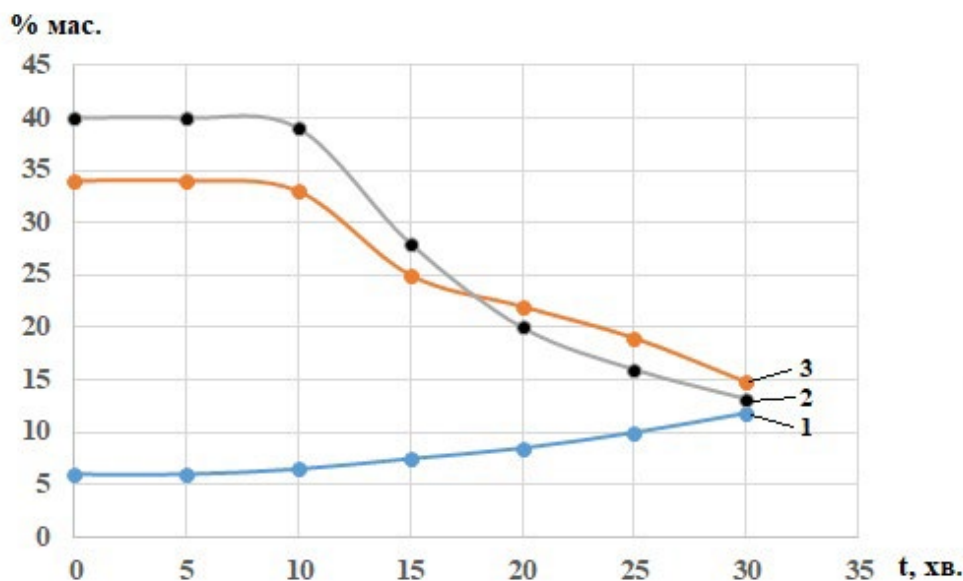


Рисунок 3 – Зміна концентрацій компонентів розчину від часу нагрівання суміші вода-ксілол (t) при 93°C: 1 – епоксидований натуральний каучук; 2 – вода, яку додали для відгону; 3 – ксілол нафтовий

Джерело: Авторська розробка

Висновки.

Були розглянуто існуючі технології переробки відходів виробництва натурального каучуку шляхом епоксидування у водному розчині.

Було отримано залежності зміни концентрацій компонентів розчину від часу нагрівання суміші вода-ксілол при епоксидуванні НК та відгону нафтового ксілолу одночасно з водою.

Досліджена технологія епоксидування НК у кислому середовищі дозволяє отримати товарний вид каучуку (ENR-25) після його коагуляції із водного розчину.

Література:

1. V. D. Trinh et al. (2024). Research on the production technology of rubber epoxy from concentrated natural rubber latex. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 1340. 012003. DOI: 10.1088/1755-1315/1340/1/012003.
2. Карнаушенко, Д.О., Зибайло, С.М., Ведь, В.В., Стовпник, О.В.



Обґрунтування рециклінгу відходів виробництва натурального каучуку для виготовлення латексу ЕНК (2024). SWorldJournal, 28 (1) 23-29. DOI: 10.30888/2663-5712.2024-28-00-047.

3. Shapovalov, D. O., Ved, V. V., Zibailo, S. M., & Iushko, V. L. (2014). Epoksiduvannya naturalnogo kauchuku v seredovischi voda-ksilol. Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii, 3. 102-106. DOI: 10.6084/m9.figshare.12084069.

4. Zybaylo, S., Ved, V., Okhtina, O., Kiselev, V., Shapovalov, D. (2019). Optimization of the process of obtaining epoxidized natural rubber for the development of new composite materials on its basis. Technology audit and production reserves, 6 (3). 10-13. DOI: 10.15587/2312-8372.2019.184364.

5. Zybaylo, S., Ved, V., Shapovalov, D. (2020). Features of process of epoxidation of natural rubber scrap in water-xylene. Геотехнічна механіка, 155. 197-201. DOI: 10.1051/e3sconf/202016800039.

6. Р. Дж. Нобль. Латекс в технике. Л.: Ленинградское отделение. Госхимиздат, 1962. 896 с.

Abstract. *The paper considers modern technologies for obtaining epoxidized natural rubber latex as a method of processing NR waste. Recycling NR production waste by dissolving it in petroleum xylene with subsequent epoxidation in an aqueous environment is a promising research direction.*

The purpose of the study is to solve the problem of accumulation of NR latex production waste and develop ways to process it into an industrially demanded product - ENR latex.

It is proposed to carry out distillation of petroleum xylene from an aqueous solution of epoxidized NR using a Dean-Stark nozzle in order to obtain a new promising material - scrap natural rubber latex (LSENr).

The dependences of the change in the concentrations of the solution components on the time of heating the water-xylene mixture during NR epoxidation and distillation of petroleum xylene simultaneously with water were obtained.

The studied technology of NR epoxidation in an acidic environment allows obtaining a commercial type of rubber (ENR-25) after its coagulation from an aqueous solution.

Key words: *Natural rubber, epoxidized natural rubber latex, epoxidation, xylene distillation, acidic environment*

Науковий керівник: к.т.н., доц. Зибайло С.М.

Статтю надіслано: 28.12.2025 р.

© Карнаушекно Д.О., Зибайло С.М.

**CONTENTS****Mechanical engineering and machinery**

- <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-006> **3**
DIGITAL MODERNIZATION OF A TEST STAND FOR THERMAL
AND THRUST TESTING OF LIQUID ROCKET ENGINES
Kopersak O. V., Arkhypov O.G.
- <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-010> **18**
DESIGNING OPERATING PARAMETERS FOR PACKAGING
MACHINES FOR PACKAGING BEER
Pidlisnyj V.V., Semenov A.M., Fedoriv V.M., Liukhovets V.V., Manita I. M.
- <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-022> **30**
DEVELOPMENT OF A UNIVERSAL DESKTOP CNC MACHINE
FOR HIGH-PRECISION WOOD PROCESSING:
DESIGN, ELECTRONICS, SOFTWARE
Dashkovskiy L.
- <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-043> **42**
IMPROVING THE EFFICIENCY OF AIR PURIFICATION
FROM HYDROGEN SULFIDE BY THE ABSORPTION-
ELECTROCHEMICAL METHOD THROUGH THE
MODERNIZATION OF THE MASS TRANSFER
APPARATUS
Patsurkovskiy P.A., Epifanov O.A.
- <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-054> **50**
STRENGTH DETERMINATION AND FAILURE PREDICTION OF
COMPOSITE MATERIALS USED IN AIRCRAFT STRUCTURES
Younis B.N.
- <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-065> **61**
OVERVIEW OF MODERN SCHEDULED MAINTENANCE
SYSTEMS FOR SHIP EQUIPMENT
Kisietov J. V., Lychko B. M.
- <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-097> **71**
MODELING THE INTERACTION OF A GRIPPING DEVICE
WITH THE MANIPULATED OBJECT
Ashchepkova N.S.
- <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-101> **88**
ANALYSIS OF THE THERMOPHYSICAL PROPERTIES, ENERGY
EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL SAFETY OF HEAT TRANSFER
FLUIDS FOR SOLAR COLLECTOR CIRCULATION CIRCUITS
Yevtushenko E.O., Kutnyi B.A.

**Electrical engineering**

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-016> 98

MORPHOLOGICAL MODELING OF SMART GRID: SPATIAL METRICS FOR ANALYSIS OF DISTRIBUTED ENERGY NETWORKS

Komenda N.V., Volynets V.I., Komenda D.T.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-083> 106

COMPARATIVE ANALYSIS OF ANALYTICAL CALCULATIONS AND COMPUTER SIMULATION OF TRANSIENT PROCESSES IN LINEAR ELECTRICAL CIRCUITS

Savolova E.V.

Engineering instruments, meters, etc. Industrial instrumentation

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-039> 115

INFORMATION VALUE IN CONTROL SYSTEMS

Losikhin D., Titova O., Chorna O.

Fursa O., Sihunov O., Kravets O.

Telecommunication

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-015> 123

FEATURES OF DEVELOPING AN INTELLIGENT CHAT BOT ON THE TELEGRAM PLATFORM AND A MOBILE APPLICATION ON THE ANDROID PLATFORM

Burdaiev V.P.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-066> 135

CHOICE OF UNIFIED PARAMETERS FOR THE TRAJECTIVE METER OF ARMOR-BREAKING SHELS

Bondariev A.P., Budaretskyi Yu.I., Dzuba A.O.

Electrical engineering. Electronics. Nuclear engineering

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-020> 153

USE OF RECLOSERS AND FUSE DISCONNECTORS IN DISTRIBUTION NETWORKS

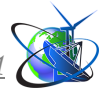
Kyryk V. V., Barabash A.V.



- <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-046> 163
TECHNOLOGIES FOR UTILIZING LOW-POTENTIAL HEAT
FOR AUTONOMOUS ENERGY SUPPLY OF INDUSTRIAL
ENTERPRISES
Forys S.M., Usenko A.Y., Pererva V.Y.
- <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-053> 182
OPTIMIZATION OF THERMAL PROCESSES IN MODERN
LARGE-CAPACITY PRODUCTION AND HEATING
COMPLEXES
Hlushchenko O., Mishcheryakov Y.
- <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-068> 190
RENEWABLE ENERGY AS A FACTOR IN REDUCING
GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN UKRAINE IN THE
CONTEXT OF ENERGY TRANSFORMATION
Pererva V.Y., Usenko A.Y., Forys S.M., Maksymchuk Serhii
- <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-069> 204
LOW-CARBON AUTONOMOUS CAMPUS HEATING BASED ON
GEOTHERMAL HEAT PUMP TECHNOLOGY
Usenko A.Y., Forys S.M., Foris Y.M.
- <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-081> 223
POWER SUPPLY SYSTEMS – ANALYSIS OF THE MODERN
STATE OF BASIC TERMINOLOGY
Okhrimenko V. M., Malyarenko V. A., Chornyi V. V.
- <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-096> 232
STRATEGY FOR TRANSITING THE REGIONAL ENERGY
SECTOR TO LOCAL FUEL RESOURCES: SUBSTANTIATION
OF INVESTMENT PROJECTS
Zhuvahina I.O.
- <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-100> 243
VBA BASIC-BASED PREDICTIVE MAINTENANCE SYSTEM
(PdM): A NEW APPROACH TO MONITORING ELECTRIC
MOTORS IN COMMERCIAL FACILITIES IN UKRAINE
Tkachuk I.

Mining engineering. Metallurgy

- <http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-091> 252
RESEARCH INTO THE CHARGE COMPOSITIONS FOR
THE SILICOALUMINIUM PRODUCTION
Nesterenko T.M., Nesterenko O.M.



Animal products. Cereals and grain. Milling industry

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-018>

265

EXPANSION OF THE RANGE OF CHEESECASES FOR RESTAURANTS

Pavliuchenko O.S, Kolyahina O.A

Textile industries

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit42-01-084>

276

RESEARCH ON THE PROCESS OF EPOXIDATION OF NATURAL RUBBER IN AN ACIDIC ENVIRONMENT

Karnaushenko D.O., Zybailo S.M.



International periodic scientific journal

MODERN ENGINEERING AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES

Heutiges Ingenieurwesen und
innovative Technologien

Indexed in
INDEXCOPERNICUS
high impact factor (ICV: 70.62)

Issue №42
Part 1
December 2025

Development of the original layout - Sergeieva&Co

Signed: December 30, 2025

Sergeieva&Co
Lußstr. 13
76227 Karlsruhe
e-mail: editor@modern techno.de
site: www.moderntechno.de

Articles published in the author's edition





www.moderntechno.de

e-mail: editor@moderntechno.de