

зі збільшенням ступеня освітлення середовища за кратності оброблення, що перевищує значення 9,24, тобто після 25-хвилинного оброблення.

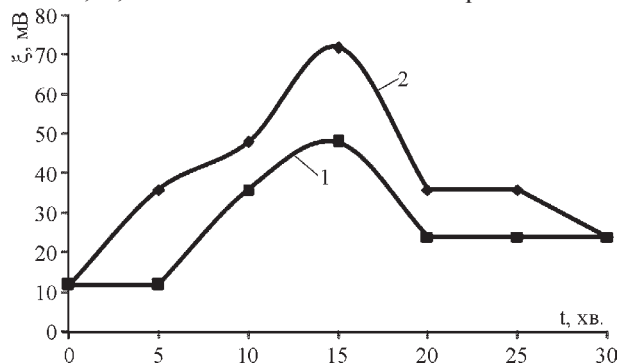


Рис. 5. Залежності електрокінетичного потенціалу ( $\xi$ , мВ) на межі розділу фаз "бульбашки – частинки кальцію гідроксиду" від тривалості кавітаційного оброблення (t, хв) за вмісту повітря (% об.): 1-0; 2-2

**Висновки.** Введення незначної частки повітря у рідкофазні середовища (2 %) інтенсифікує розвиток кавітаційних явищ, сприяє формуванню флотаційного шару, що містить велику кількість дрібнодисперсних бульбашок, збільшує ступінь насичення води киснем та величину електрокінетичного потенціалу (від 48 до 72 мВ за 15-хвилинного оброблення), що виникає на межі розділу фаз "бульбашки – частинки кальцію гідроксиду". Це позитивно впливає на показники процесу флотації дисперсних частинок: підвищує вміст сірки у флотоконцентраті та ступінь вилучення кальцію оксалату. Отже, результати виконаних досліджень дають змогу стверджувати, що введення незначних кількостей повітря значно підвищує ефективність кавітаційно-флотаційної технології очищення рідкофазних середовищ.

### Література

1. Знак З.О. Розроблення кавітаційно-флотаційного процесу очищення стічних вод в аспекті реалізації сучасних концепцій синтезу хіміко-технологічних систем / З.О. Знак, Ю.В. Сухачький, Р.В. Мних // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Хімія, технологія речовин і їх застосування. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2014. – № 787. – С. 75-79.
2. Знак З.О. Дослідження залежності ефективності роботи гідродинамічного струменевого кавітатора від конструктивних параметрів кавітувального елемента / З.О. Знак, Ю.В. Сухачький, Р.В. Мних // Вібрації в техніці та технологіях : зб. наук. праць. – 2015. – № 2 (78). – С. 18-26. – ISSN 2306-8744.
3. Анісімов В.В. Сучасні уявлення про кавітацію як явище та інтенсифікуючий фактор в хімічній технології / В.В. Анісімов, П.П. Єрмаков // Вопросы химии и химической технологии : сб. науч. тр. – 2012. – № 4. – С. 178-183.
4. Вітенько Т.М. Гідродинамічна кавітація у масообмінних, хімічних і біологічних процесах : монографія / Т.М. Вітенько. – Тернопіль : Вид-во ТДТУ ім. Івана Пулюя, 2009. – 224 с.
5. Маргулис М.А. Звукохимические реакции и сонолюминесценция / М.А. Маргулис. – М. : Изд-во "Химия", 1986. – 288 с.
6. Ralston J. Flotation. Bubble-particle capture / J. Ralston // Encyclopedia of Separation Science. – San Diego: Elsevier Science Publishing Co Inc., 2000. – Vol. 4. – Pp. 1464-1471.
7. Colic M. The development and application of centrifugal flotation systems in wastewater treatment / M. Colic, W. Morse, J.D. Miller // Int. J. Environment and Pollution. – 2007. – Vol. 30, No. 2. – Pp. 296-312.

8. Инженерный справочник. Таблицы TehTab.ru. Децибел, как единица измерения звукового давления. Абсолютная величина. [Электронный ресурс]. – Доступный с <http://tehtab.ru/guide/guideunitsalphabets/guideunitsalphabets/decibel/decibelsoundpressurelevelunits/>.

9. Метгер И. Физическая природа кавитации и механизм кавитационных повреждений / И. Метгер // Успехи физических наук : сб. науч. тр. – 1948. – Т. XXXV, вып. 1. – С. 52-79.

10. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии / С.С. Воюцкий. – Изд. 2-ое, [перераб. и доп.]. – М. : Изд-во "Химия", 1975. – 512 с.

11. Jowett A. Slime coating of coal in flotation pulps / A. Jowett, H. El-Sinbawy, H.G. Smith // A Quaterly Journal of Fuel and Combustion Science. – 1956. – Vol. 35, No. 3. – Pp. 303-309.

Надійшла до редакції 03.06.2016 р.

### Сухачький Ю.В. Исследование эффективности кавитационно-флотационной технологии очистки жидкофазных сред от дисперсных частиц

На основе метода сонохимического анализа исследовано влияние воздуха, введенного в количестве 0,5-3,0 % по объему жидкофазной среды, на интенсивность развития кавитационных явлений, в частности в гетерогенных системах "жидкость-дисперсные твердые частицы". Установлено влияние введенного воздуха на эффективность процессов флотации в различных системах: флотационного обогащения серной руды и степень извлечения высокодисперсного кальция оксалата. Уменьшение эффективности флотации с увеличением продолжительности кавитационной обработки дисперсных гетеросистем обусловлено блокированием поверхности флотационных пузырьков, что подтверждено методом подвижной границы – по величине электрокинетического потенциала дисперсных частиц кальция гидроксида.

**Ключевые слова:** кавитация, флотация, жидкофазные среды, дисперсные частицы, электрокинетический потенциал.

### Sukhatskiy Yu. V. The Study of the Efficiency of Cavitation-flotation Technology of the Liquid Phase Environment Treatment from Dispersed Particles

On the basis of the sound chemical analysis the influence of air introduced in an amount of 0.5...3.0 % on about the volume of liquid phase environment, on the intensity of cavitation, particularly in heterogeneous systems "liquid – dispersed solid particles", was investigated. The influence of air introduced on flotation process efficiency in different systems was established to be the following: flotation concentration of sulfuric ores and the degree of extraction of high grade calcium oxalate. Reduced effectiveness of flotation with increasing duration of cavitation processing dispersed heterosystems occurs due to blocking surface of flotation bubbles confirmed by the method of the limit moving – largest of electrokinetic potential of dispersed particles of calcium hydroxide.

**Keywords:** cavitation, flotation, liquid phase medium, dispersed particles, electrokinetic potential.

УДК 674.093.26

### ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ФАНЕРИ З ПОПЕРЕДНІМ ІНФРАЧЕРВОНИМ ПРОГРІВАННЯМ ПАКЕТІВ ШПОНУ

В.В. Форос<sup>1,2</sup>

Проаналізовано основні проблеми із виробництва фанери, наведено можливі варіанти їх вирішення. Запропоновано використання інфрачервоного випромінювання для операції попереднього прогрівання пакетів шпону. Визначено вплив режимних параметрів виготовлення зразків фанери: температури інфрачервоного прогрівання, тривалості прогрівання підпресованих пакетів шпону в спектрі інфрачервоного випромінювання та

<sup>1</sup> аспір. В.В. Форос – НУ біоресурсів і природокористування України, м. Київ;

<sup>2</sup> наук. керівник: проф. П.А. Бехта, д-р техн. наук – НЛТУ України, м. Львів.

тривалості пресування на міцність фанери на зріз. Отримано значну інтенсифікацію процесу склеювання фанери. Запропоновано нову технологію виготовлення фанери.

**Ключові слова:** інфрачервоне прогрівання, склеювання, пресування.

Фанера належить до найбільш ефективних видів деревинних композиційних матеріалів завдяки широкому діапазону форматів і високим значенням фізико-механічних властивостей. Та незважаючи на переваги цього матеріалу, з'явилася велика кількість нових композиційних матеріалів на базі деревини, які завдяки нижчій вартості сировини, починають витісняти фанеру з сегменту ринку композиційних матеріалів. Ці умови стимулюють виробників фанери звернути увагу на підвищення ефективності виробництва, скорочення витрат сировини на виробництво одиниці продукції, перегляд технології виготовлення, зниження собівартості продукції при збереженні її якості.

Складовою частиною підвищення показників конкурентоспроможності фанери на ринку деревинних композиційних матеріалів є підвищення якісних та кількісних показників виробництва. Для досягнення вищої продуктивності підприємств потрібною умовою є скорочення тривалості операцій, що відбуваються у процесі виготовлення фанери, зокрема операції пресування.

Операція пресування є однією з найважливіших, оскільки під час її виконання формуються властивості готового матеріалу, а крім цього, вона визначає продуктивність всієї лінії. Процес пресування відбувається між плитами пресу, які забезпечують контакт між склеюваними листами шпону та його збереження впродовж певного часу, потрібного для отримання міцного клейового з'єднання. Аналіз трудомісткості операцій показує, що найбільша трудомісткість під час виготовлення фанери (загальна технологічна трудомісткість становить 45,11 %) спостерігається під час формування та склеювання пакетів шпону та становить 12,98 % [5], що є високим показником. Ця величина є основною причиною пошуку альтернативних способів інтенсифікації процесу склеювання фанери.

Склеювання багатошарової фанери можливе тільки за значного збільшення часу, який зростає пропорційно квадрату товщини фанери. Тобто виробництво товстої багатошарової фанери значно знижує продуктивність. До методів, які на практиці довели більшу ефективність прогрівання незалежно від товщини пакета шпону, можна віднести застосування струмів високих частот (СВЧ). Адже внаслідок швидкого прогрівання склеюваного пакета за всією товщиною тривалість витримки в запресованому стані може бути доведена до 2-5 хв незалежно від товщини пакета, оскільки нагрівання кожної її точки відбувається одночасно зі швидкістю, яка залежить від питомої потужності, що поглинається деревиною. Найвні дослідження у напрямку використання СВЧ у виробництві композитних матеріалів, фанери [1, 2] показують ефективність прогрівання саме товстих пакетів.

До альтернативних способів підведення тепла та джерел теплової енергії можна також віднести інфрачервоне випромінювання (ІЧ), яке широко використовують для сушіння та нагрівання різного роду матеріалів, зокрема і деревини [4]. Дослідження впливу інфрачервоного випромінювання на деревину показали, що деревина є проникним матеріалом для цього виду випромінювання й сприяє виведенню з неї вологи [4]. Інфрачервоні промені здатні проникати в де-

ревину на певну глибину, залежно від породи, вологості матеріалу та довжини хвилі променю. Цей метод дає змогу пришвидшити підведення тепла до листів шпону та клейового шва безпосередньо, через радіаційний розподіл температури по товщині пакета шпону.

Прогрівання за допомогою ІЧ випромінювання проходить за умов вільного виходу певної частини вологи та парогазової суміші, не перешкоджаючи їх виходу. А от прогрівання в умовах пресу, де парогазова суміш має можливість виходу лише по периметру крайок листа фанери, що безумовно сповільнює процес виведення вологи, і є передумовою збільшення часу на її виведення.

**Мета роботи** – розробити технологію виготовлення фанери, яка б дала б змогу скоротити тривалість операції пресування, разом із покращенням механічних показників фанери.

**Матеріали та методи дослідження.** Для виготовлення зразків використано лущений березовий шпон вологістю  $6^{+2}$  % і фенолоформальдегідну смолу. Після нанесення клею на листи шпону та формування пакетів шпону, здійснювали їх попереднє прогрівання за допомогою інфрачервоного випромінювання за певного діапазону значень режимних параметрів (табл.). Після цього прогріті пакети шпону розміщали між плитами пресу, де відбувалося гаряче пресування. Виготовлення та випробування зразків фанери здійснювали згідно з методикою, наведеної в стандарті ДСТУ EN 314-1, як для фанери підвищеної водостійкості [3].

**Результати дослідження.** З метою визначення впливу попереднього ІЧ прогрівання пакетів шпону на міцність фанери на зріз, виготовлено серію експериментальних зразків фанери з операцією попереднього ІЧ прогрівання пакетів шпону, яку проводили перед операцією гарячого пресування згідно з режимними параметрами, наведеними у табл.

**Табл. Діапазон режимних параметрів**

Температура прогрівання ІЧ випромінюванням, °С	Тривалість прогрівання ІЧ випромінюванням, с	Тривалість пресування у пресі за температури 150 °С, хв
230	30	1
190	45	1,5
150	60	2

Отримані результати підлягали математично-статистичному обробленню. За допомогою квадратичної функції отримано та змодельовано залежність міцності фанери на зріз від трьох режимних факторів: температури прогрівання, тривалості прогрівання та тривалості пресування. Для визначення впливу режимних параметрів на міцність фанери на зріз проведено зіставлення отриманих експериментальних та розрахункових значень результатів міцності. Графічну інтерпретацію деяких з отриманих результатів зображено на рис. 1-4.

Із наведених рисунків випливає, що істотний вплив на величину міцності фанери на зріз, безумовно, мають всі три режимні параметри. Подальший аналіз результатів показав, що найбільший вплив на міцність фанери має тривалість прогрівання у спектрі ІЧ випромінювання. Це явище можна обґрунтувати можливістю вільного випаровування внесеної вологи з клеєм під час попереднього прогрівання пакетів шпону за допомогою ІЧ випромінювання, а також

тривалості гарячого пресування пакетів шпону в гарячому пресі. Адже тривалість витримки фанери під тиском (час термооброблення) визначає час, потрібний для того аби в клейовому шві закінчилися фізико-хімічні процеси і міцність клейового з'єднання досягла максимуму.

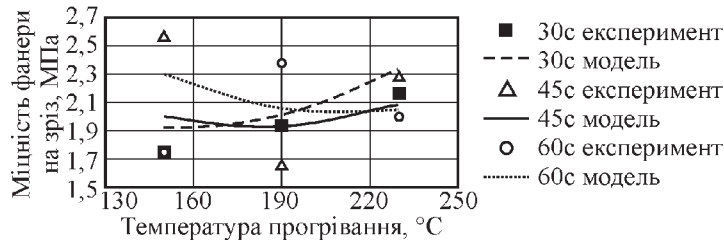


Рис. 1. Залежність міцності фанери від температури ІЧ прогрівання за тривалості пресування  $\tau_{прес} = 1$  хв

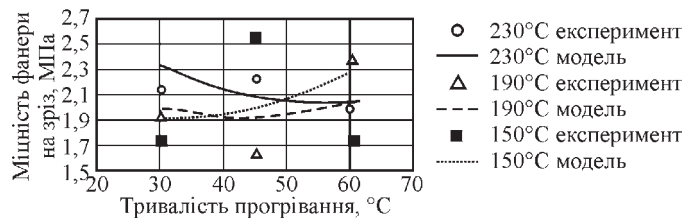


Рис. 2. Залежність міцності фанери від тривалості ІЧ прогрівання за тривалості пресування  $\tau_{прес} = 1$  хв



Рис. 3. Залежність міцності фанери від тривалості пресування за тривалості ІЧ прогрівання  $\tau_{прог} = 30$  с

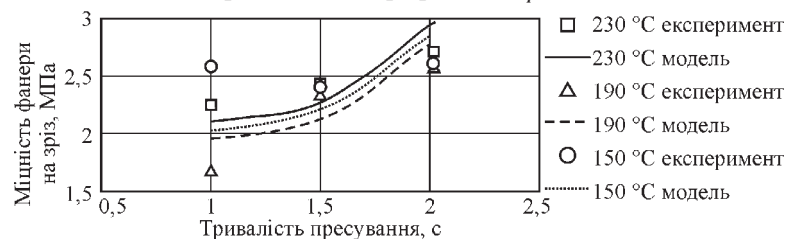


Рис. 4. Залежність міцності фанери від тривалості пресування за тривалості ІЧ прогрівання  $\tau_{прог} = 45$  с

Аналізуючи рис. 1-4, можна дослідити вплив величини параметрів: тривалості ІЧ прогрівання, температури ІЧ прогрівання та тривалості гарячого пресування на міцність фанери на зріз. Найближчими та найвищими показниками міцності фанери на зріз, щодо розрахункової моделі, виявилися зразки з максимальними тривалостями як ІЧ прогрівання, так і тривалості пресування.

Оскільки основною метою цього дослідження є розроблення технологічного процесу, який дасть змогу максимально інтенсифікувати процес склеювання фанери за допомогою операції попереднього ІЧ прогрівання, то потрібно відштовхуватися від мінімально можливого часу, як операції попереднього прогрівання пакетів шпону ІЧ випромінюванням, так і тривалості гарячого пресування, разом із збереженням, та навіть підвищенням, фізико-механічних властивостей фанери. Також одним з критеріїв є величина міцності фанери на зріз, яка згідно зі стандартом ДСТУ EN 314 [3] становить  $\geq 1$  МПа, то мати за основну мету якомога вищу міцність фанери на зріз, немає потреби. Тому при виборі величини режимних параметрів, відштовхувалися саме з цих міркувань.

Такою, яка задовольняє всі поставлені умови цього дослідження, обрано таку комбінацію режимних параметрів: тривалість пресування –  $\tau_{прес} = 1$  хв, тривалість ІЧ прогрівання –  $\tau_{прог} = 45$  с та температура прогрівання ІЧ випромінюванням –  $T_{прог} = 230$  °С, за яких показник міцності становить  $\sigma = 2,23$  МПа, котрий удвічі більший за потрібну міцність фанери, відповідно до чинного стандарту. Тобто додавши обидві величини, тривалість цієї операції становитиме 1 хв 45 с, що порівняно з існуючими рекомендаціями тривалості пресування для тришарової фанери (3 хв [5]), в 1,7 раза менша.

Тобто, виходячи з отриманих результатів, можна запропонувати технологію виготовлення фанери з попереднім ІЧ прогріванням пакетів шпону, технологічний процес якої буде охоплювати, окрім операції підготовки сировини до лущення, виготовлення лущеного шпону, сушіння шпону, приготування клею, нанесення клею на шпон, формування пакетів шпону, підпресування та пресування пакетів шпону, також операцію попереднього ІЧ прогрівання пакетів шпону, яка проведеться перед операцією пресування, під час якої підпресовані пакети шпону одночасно з двох сторін попередньо прогріваються інфрачервоним випромінюванням, а після цього прогріті до відповідної температури пакети шпону пресуються. Тривалість наведених операцій регламентована зі запропонованими величинами режимних параметрів.

Основним процесом, який визначає загальну продуктивність виробництва, є склеювання фанери, адже програма виробництва зазвичай визначається за продуктивністю головного обладнання, під яким розуміють багатопроміжковий прес гарячого пресування. Оскільки тривалість операції пресування фанери скорочується, відповідно підвищується продуктивність виробництва фанери.

**Висновки.** Запропонована технологія виготовлення фанери дає змогу значно скоротити (1,7 раза) тривалість пресування фанери, що дає змогу підвищити кількісні та якісні характеристики фанерних виробництв. Разом з цим більша продуктивність виробництва призводить до здешевлення кінцевого продукту, що збільшує конкурентоспроможність фанери на ринку деревинних композиційних матеріалів.



## Література

1. Бехта П.А. Производство фанеры : підручник / Павло Антонович Бехта. – К. : Вид-во "Основа", 2003. – 320 с.
2. Mahút J. Plywood and decorative veneers. Textbook / J. Mahút, R. Réh, J. Víglašký. – Zvolen : Technical University in Zvolen, 2007. – 239 st.
3. Фанера. Якість з'єднання. Частина I Методи випробувань: ДСТУ EN 314-1: 2003 – ДСТУ EN 314-1:2003 – [Чинний від 01.07.2004]. – К. : Вид-во Нац. стандарту України, 2003. – 8 с.
4. Долацис Я.А. Воздействие ИК-излучения на древесину / Я.А. Долацис, С.Г., Ильясков, В.В. Красников. – Рига : Изд-во "Зинатне", 1973. – 496 с.
5. Волков А.В. Справочник фанерщика / А.В. Волков, В.П. Кондратьев, А.Т. Орлов. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 486 с.

Надійшла до редакції 06.06.2016 р.

### Форос В.В. Технология изготовления фанеры с предварительным инфракрасным прогревом пакетов шпона

Проанализированы основные проблемы по производству фанеры, приведены возможные варианты их решения. Предложено использование инфракрасного излучения для операции предварительного прогрева пакетов шпона. Определено влияние режимных параметров изготовления образцов фанеры: температуры инфракрасного прогрева, продолжительности прогрева подпрессованных пакетов шпона в спектре инфракрасного излучения и продолжительности прессования на прочность фанеры на разрыв. Получена значительная интенсификация процесса склеивания фанеры. Предложена новая технология изготовления фанеры.

**Ключевые слова:** инфракрасное прогревание, склеивание, прессование.

### Foros V.V. Plywood Manufacturing Technology with the Preliminary Infrared Heating of the Veneer Packages

The main plywood production problems were analyzed, with the possible variants of solutions. Infrared heating was proposed to be used for veneer packages preheat operation. The influence of operational parameters was identified to such plywood sample making as infrared heating temperature, duration of heating in the spectrum of infrared radiation and duration of plywood pressing. The considerable intensification of plywood gluing process is achieved. The new plywood manufacturing technology is proposed.

**Keywords:** infrared heating, gluing, pressing, veneer package.

УДК 621.643

## КОРОЗИЯ СТАЛЕВИХ ГАЗОПРОВОДІВ НИЗЬКОГО ТИСКУ ПІД ДІЄЮ ЗМІННОГО СТРУМУ

А.В. Яворський<sup>1</sup>, Л.Я. Побережний<sup>2</sup>, Я.М. Дем'ячук<sup>3</sup>

Під час експлуатації підземних газових мереж низького тиску не приділяють уваги боротьбі з електрокорозією під дією змінного струму. При цьому інтенсивні корозійні руйнування відбуваються у місцях стікання струму зі зовнішньої поверхні в електроліт (грунт або воду). Проведено моніторинг корозійних уражень розподільчих трубопроводів "Івано-Франківськгаз". Виявлено локальні корозійні ураження, які за формою і глибиною відповідають електрокорозійним. Показано, що електрокорозія розподільчих газопроводів може бути зумовлена помилковим або навмисно неправильним

підключенням електроприладів. Зафіксовано натікаючі струми навіть на малопотужних побутових приладах силою близько 4 А, що залежно від фізико-хімічних властивостей ґрунту відповідає густині струму на дефекті від 8,9 до 310 А/м<sup>2</sup> за максимального нормативного значення 10 А/м<sup>2</sup>.

**Ключові слова:** розподільчі газопроводи, електрокорозія, розгерметизація трубопроводів, втрати природного газу.

**Вступ.** Підземні трубопроводи є важливим елементом нафтогазового комплексу України та відіграють надзвичайно важливу роль у житті сучасного суспільства, будучи гарантом його енергетичної незалежності. Забезпечення безперебійної роботи трубопровідного транспорту з урахуванням всіх особливостей його експлуатації (нанесення захисного покриття, контроль за роботою катодних станцій, моніторинг стану трубопроводів) є першочерговим і необхідним завданням уникнення аварій та відмов, що призводять до втрати цілісності труби. Значна частина аварій (80 %) на трубопроводах є наслідком перебігу різних форм корозії: загальної корозії, щільної корозії під покриттям, що відшарувалося, точкової корозії, корозійного розтріскування під напруженням тощо.

Проблема підсилюється ще й тим, що в умовах експлуатації трубопроводів, як правило, піддається одночасному впливу механічних навантажень (деформація), зносу і корозійно-активних середовищ. Така сумісна дія може спричинити пришвидшене корозійно-механічне руйнування трубопроводів, яке значно інтенсифікується під дією полів блукаючих струмів.

Під час експлуатації підземних газових мереж низького тиску не приділяють уваги боротьбі з електрокорозією під дією змінного струму, вважаючи, що ця проблема торкається лише протяжних магістральних газопроводів у разі суміжного пролягання з лініями електропередач [1]. Термін "електрокорозія" зазвичай пов'язаний з протіканням постійного струму в підземній металоконструкції.

Джерела даних блукаючих струмів знаходяться поза металоконструкцією: електрифікований транспорт, системи катодного захисту, шахтні системи електропостачання постійним струмом тощо. При цьому інтенсивні корозійні руйнування відбуваються у місцях стікання струму зі зовнішньої поверхні в електроліт (грунт або воду). Вітчизняна і світова практика експлуатації підземних металоконструкцій визнає цю проблему і враховує її.



Рис. 1. Фрагменти підземного газопроводу низького тиску (Ø 60 мм) з наявними електрокорозійними дефектами типу "свиц"

Проте останнім часом під час експлуатації підземних металічних газопроводів низького тиску, які знаходяться поза зоною розтікання блукаючих стру-

<sup>1</sup> доц. А.В. Яворський, канд. техн. наук – Івано-Франківський НТУ нафти і газу;

<sup>2</sup> проф. Л.Я. Побережний, д-р техн. наук – Івано-Франківський НТУ нафти і газу;

<sup>3</sup> доц. Я.М. Дем'ячук, канд. техн. наук – Івано-Франківський НТУ нафти і газу