

---

## ГІРНИЧІ МАШИНИ ТА ОБЛАДНАННЯ

---

УДК 622.331

Л. Я. Кулаковський, аспірант, Є. І. Алтухов, к. т. н. (НТУУ «КПІ»)

### ФОРМУВАННЯ ФАКТОРНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПАРОВОЇ ТРУБЧАТОЇ СУШАРКИ ТОРФУ

---

L. Ya. Kulakovskii, postgraduate, Ye. I. Altukhov, PhD (NTUU «KPI»)

### FORMATION FACTOR FIELD FOR EXPERIMENTAL STUDYING OF PEAT STEAM PIPE DRYER

*В данной работе рассматриваются вопросы выделения факторного поля паровой трубчатой сушилки с помощью построения диаграммы Исикава. Из совокупности факторов, влияющих на процесс сушки, были отобраны наиболее важные методом экспертной оценки.*

**Ключевые слова:** *сушильный агент, паровая трубчатая сушилка, экспертная оценка, влажность.*

*У даній роботі розглядаються питання виділення факторного поля парової трубчатої сушарки за допомогою побудови діаграми Ісікава. Із сукупності факторів, що впливають на процес сушіння було відібрано найбільш важливі методом експертного оцінювання.*

**Ключові слова:** *сушильний агент, парова трубчата сушарка, експертне оцінювання, вологість.*

*In this paper was considered the creation of steam pipe dryer's factor field by constructing Ishikawa diagrams. From the quantity of factor that affect the drying process the most important method of expert evaluation were selected for.*

**Keywords:** *drying agent, steam pipe dryer, expert evaluation, humidity.*

**Вступ.** В даний час підприємства України визначили курс на розвиток високих технологій, в першу чергу спрямованих на поліпшення якості кінцевої продукції, зниження її собівартості, підвищення продуктивності існуючого обладнання. Як правило, застосовуване ручне регулювання параметрів сушіння торфу, суб'єктивність у визначенні необхідних режимів, прагнення забезпечити заданий рівень тільки кінцевої вологості сушенки призводять до високих витрат енергоносіїв, низької продуктивності процесу, його пожежонебезпеки. Безперервно спостерігаючи за вологістю сировини, сушенки і рівнями факторів сушіння, оператор порівнює поточні їх значення з попередніми і на підставі свого досвіду коригує режим сушіння. Якщо ж у оператора немає достатнього досвіду, а також у разі різкої зміни властивостей торфу, виникають проблеми, що найчастіше призводять до втрати сухого матеріалу, а іноді і до зупинки всього технологічного процесу. Налагодження режиму сушіння ускладнюється

тепловою інерцією, тривалістю перехідних процесів і великою тривалістю сушіння. Саме тому, постає задача в розроблені системи керування процесом сушіння торфу, що дозволить отримати сушенку необхідної якості для надходження в пресове відділення за мінімальних витрат енергії на процес сушіння. Для цього необхідно визначити адекватне факторне поле процесу отримання сушенки, що дозволить отримати математичну модель процесу сушіння, яка в подальшому планується бути використана для створення автоматизованої системи керування технологічним процесом. Для виявлення характеру і ступеня взаємозв'язку між вхідними параметрами, що об'єктивно впливають на процес, і вихідними техніко-економічними показниками, потрібно провести системний аналіз процесу сушіння торфу в паровій трубчастій сушарці Цемаг.

**Мета дослідження** – знайти необхідну сукупність факторів, що впливають на процес сушіння торфу в парових трубчатих сушарках, що формують факторне поле експериментального дослідження роботи сушарної установки.

**Викладення матеріалу.** Основним призначенням процесу сушіння торфу є отримання заданої вологості сушенки незалежно від коливань вологості торфу, що надходить у сушарку.

Однак у результаті зміни температурного режиму, вологості, насипної щільності сировини та інших параметрів процесу сушіння жодна із зазначених сушарок не забезпечує стабільної вологості сушенки та стабільних вологості і міцності брикетів. Ці зміни якісних показників знижують продуктивність заводів, а також призводять до порушення технологічного процесу.

Продуктивність торфобрикетного заводу залежить не тільки від матеріального балансу, що переробляється, а і від вологості сировини, внаслідок дрейфу вологості сировини, що порушує усталений режим сушіння і пресування. Зміна насипної щільності торфу також викликає зміну кількості поступаючої в сушарку вологи, так як

$$\frac{G_c}{100} w_c = \frac{V_z \gamma_c}{100} w_c, \text{ де:} \quad (1)$$

$G_c$  – продуктивність сушарки по вологому матеріалу, кг/год;  $w_c$  – вологість сировини, %;  $V_z$  – об'ємна продуктивність по загрузці, м<sup>3</sup>/год;  $\gamma_c$  – насипна щільність, кг/м<sup>3</sup>.

Зміна якісних характеристик торфу має вплив на продуктивність заводу і якість брикетів. При переробці торфу з постійними показниками якості, підвищення продуктивності заводів за даними різних джерел сягає 15-20% [1, 2].

Однією з основних технологічних вимог до сушарок – забезпечити задану якість сушенки в комплексі з іншим обладнанням торфобрикетного заводу. Ряд негативних явищ властивих паровій трубчастій сушарці Цемаг, зводиться до одного основного – високої вологорізниці сушенки.

Однак середньозважена вологорізниця окремих фракцій незначна. Так, якщо цей параметр для сировини складає 1,55% то для сушенки після сушіння і перед пресами він відповідно дорівнює 5,95 і 2,7% [3]. В процесі вирівнювання вологорізниці, її кінцева величина залежить від тривалості контакту частинок, температури сушенки, початкової вологорізниці, середньої вологості, максимального розміру частинок [4, 5].

Значна кількість великих частинок у сушенці частково пояснюється низьким коефіцієнтом подрібнення в процесі сушіння. За даними [6, 7] відношення середнього діаметру частинок підготовленого торфу до середнього діаметру сушенки в парових трубчатих сушарках становить – 1,0-1,4. Низький коефіцієнт подрібнення посилює здатність трубчастих сушарок пропускати великі частинки, що спричинює отриманню сушенки поганої якості і брикетів з низькою механічною міцністю. Саме тому, включення вимірювань збурюючого впливу по фракційному складі в склад експерименту є важливим для знаходження оптимізаційної моделі процесу сушіння по отриманню якісного торфобрикету.

Однією із характеристик, що визначає фізико-механічні властивості торфу є його сипучість. Сипучі властивості, характеризуються кутом обрушення і кутом природного укусу [4]. Ця властивість торфу впливає на заповнення трубок сушарки та камери пресування брикетного преса.

Для підтримки стабільної теплової напруги необхідно подавати в сушарку таку кількість тепла, що забирається торфом. Це є умовою яка забезпечує потрібну якість сушенки при номінальних витратах теплової енергії. Подача кількості тепла в сушарку залежить від витрати, тиску, тепловмісту і температури пари, що подається в сушарку. Порушення рівноваги поданого і споживаного тепла викликає відповідну зміну тиску пари.

Щодо характеристик якості підготовки торфу, то тут слід відмітити такі характеристики як крупність частин сушенки та її температуру. Підвищення температури торфу збільшує його пластичність і коефіцієнт бічного опору, а також знижує коефіцієнт зовнішнього тертя матеріалу [6].

На рис. 1 представлена причинно-наслідкова модель процесу сушіння торфу в парових трубчастих сушарках (за схемою Ісікава). Діаграма відображає основні структурні зв'язки всередині системи і дозволяє наочно представити ієрархію факторів. Основні позиції на діаграмі відведені п'ятьом групам факторів, що визначають технологічний процес.

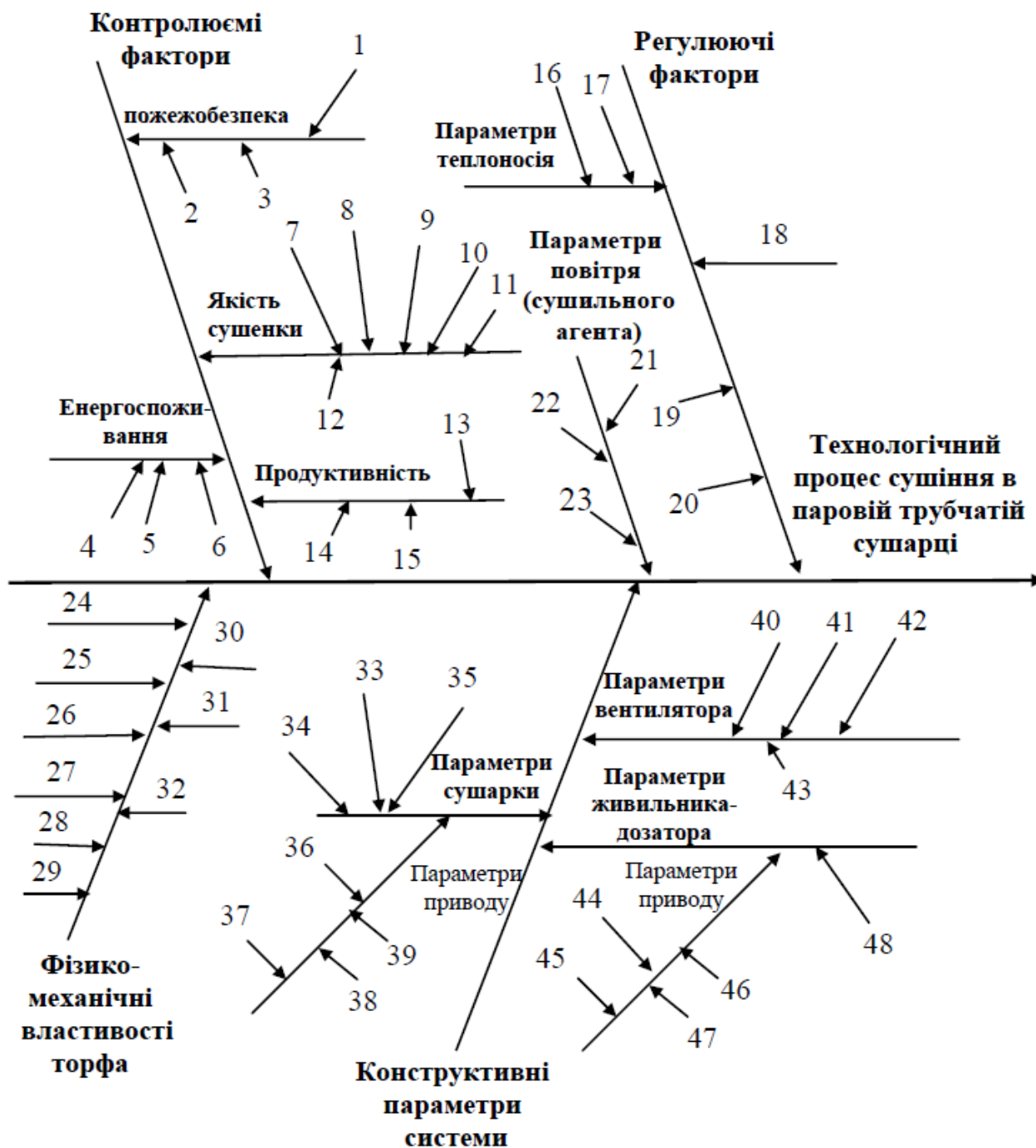


Рис. 1. Діаграма Ісікава факторів впливу на технологічний процес сушіння в паровій трубчатій сушарці:

1 - вологовміст відходящих газів; 2 - температура відходящих газів; 3 - вологість сушильного агента на виході із сушарки; 4 - електроспоживання; 5 - теплоспоживання; 6 - температура конденсата; 7 - фракційний состав сушенки; 8 - вологість сушенки; 9 - вологорізниця сушенки; 10 - температура сушенки; 11 - насипна щільність сушенки; 12 - озоленість торфу в процесі сушіння; 13 - продуктивність за випаровуваною вологою; 14 - об'ємна продуктивність; 15 - продуктивність за сушенкою; 16 - температура пари; 17 - витрата пари;

18 - витрата повітря через сушарку; 19 - завантаження сушарки торфом; 20 - швидкість обертання барабану; 21 - вологість повітря; 22 - температура повітря; 23 - вологовміст повітря; 24 - ступінь розкладу торфу; 25 - вологість торфу; 26 - сипучість торфу; 27 - насипна щільність торфу; 28 - тип торфу; 29 - температура торфу; 30 - зольність торфу; 31 - фракційний склад торфу; 32 – вологорізниця торфу; 33 - кут встановлення до горизонту; 34 - габаритні розміри барабану; 35 - кількість і габаритні розміри трубок; 36 - потужність двигуна сушарки; 37 - режим роботи сушарки; 38 - система автоматичного керування сушарки; 39 - стан обладнання сушарки; 40 - потужність двигуна вентилятора; 41 - тиск повітря; 42 - витрата повітря; 43 - режим роботи вентилятора; 44 - потужність двигуна живильника-дозатора; 45 - режим роботи живильника-дозатора; 46 - система автоматичного керування живильника-дозатора; 47 - стан обладнання живильника-дозатора; 48 - габаритні розміри завантажувальних рукавів.

Фізико-механічні властивості торфу і параметри сушильного агента є збурюючими впливами процесу сушіння торфу в парових трубчастих сушарках і є неконтрольованими. Так як дослідженню підлягає існуюча сушарка на Цемаг на торфобрикетному заводі "Сойне", то конструктивні параметри системи для побудови математичної моделі процесу сушіння можна не враховувати, так як вони є незмінними. Сукупність досліджуваних факторів наведений в табл. 1.

Таблиця 1. Сукупність досліджуваних факторів роботи сушарки

Вихідний вектор	Вектор вхідних вимірювальних величин, що керуються	Вектор вхідних вимірювальних величин, що не керуються	Вектор вхідних не вимірювальних величин
Енергоспоживання; продуктивність; якість сушенки; пожежобезпека	параметри теплоносія; частота обертання барабана сушарки; витрата повітря через сушарку; завантаження сушарки сировиною	Фізико-механічні властивості сировини, що надходить; параметри повітря (сушильного агента)	Стан та умови роботи обладнання

Отже, аналіз технологічних, фізико-механічних, конструктивних факторів та техніко-економічних показників дозволили виділити вхідні регулюємі або керуючі параметри, вхідні нерегулюємі або некеруючі параметри та вихідні показники процесу сушіння торфу в паровій трубчатій сушарці.

Представлений перелік параметрів і вихідних цільових функцій процесу сушіння торфу передбачає отримання складних і багатовимірних математичних моделей, при цьому значно збільшується число дослідів при проведенні експериментів, які в умовах діючого виробництва складно реалізувати. У зв'язку з цим постає актуальним завдання об'єктивного зниження кількості

вхідних показників досліджуваного процесу сушки торфу, що дозволить скоротити кількість проведених дослідів до прийнятної виробництвом кількості і спростить задачу математичного моделювання без істотного зниження точності отриманих математичних залежностей зміни техніко-економічних показників від регульованих параметрів і зовнішніх збурюючих впливів.

Аналіз факторів впливу на технологічний процес доцільно розпочинати з експертних оцінок [8], суть якого полягає в опитуванні спеціалістів торф'яної галузі в формі анкетування з метою визначення значимості кожного з наведеного вище параметрів та техніко-економічних показників процесу сушіння торфу в паровій трубчатій сушарці.

В якості характеристики ступеня узгодженості думок спеціалістів доцільно застосувати коефіцієнт конкордації

$$W = \frac{\sum_{j=1}^k d^2}{\sum_{j=1}^k d_{\max}^2} = \frac{12 \sum_{j=1}^k d^2}{n^2(k^3 - k)}, \text{ де:} \quad (2)$$

$n$  – кількість експертів,  $k$  – кількість факторів,  $\sum_{j=1}^k d^2$  - сума квадратів відхилення оцінок експертів

Повній узгодженості думок експертів відповідає  $W = 1$ , повна відсутність  $W = 0$ . Для виявлення ступеня узгодженості думок найчастіше застосовують  $\chi^2$  – розподіл. Якщо  $\chi^2 = n(k-1)W > \chi_{\text{кр}}^2$ , то вважається, що думки спеціалістів узгоджені. Для  $\chi^2$  – розподілу число ступеню свободи  $f = k - 1$ .

Коефіцієнти ваги  $k_i$  кожного показника процесу сушіння торфу в парових трубчатих сушарках визначалися за формулою:

$$k_i = \frac{Rv_i}{\sum_{i=1}^n Rv_i}, \text{ де:} \quad (3)$$

$Rv_i$  - ранг ваги окремого показника;  $\sum_{i=1}^n Rv_i$  - алгебраїчна сума рангів ваги всіх показників.

Коефіцієнт ваги  $k_i$  знаходиться в діапазоні від 0 до 1 [9], причому їхня сума у кожній з груп дорівнює 1 ( $\sum_{i=1}^n k_i$ ).

Експертні оцінки носять суб'єктивний характер визначення об'єктивності впливу кожного фактору на процес сушіння. Тому для того, щоб не відкинути суттєвий вплив або змінну в експеримент потрібно включити всі фактори, що мають коефіцієнт ваги більше 0,08.

Проведення аналізу факторного поля і енерго-технічних режимів роботи парових трубчатих сушарок торфу та експертного оцінювання дозволив виділити основні фактори та показники процесу сушіння. Регульованими

(вихідними) показниками для даного процесу є вологість сушенки  $Y_1$ , вологорізниця сушенки  $Y_2$ , температура сушенки  $Y_3$ , теплоспоживання  $Y_4$ , температура відходящих газів  $Y_5$ , продуктивність сушарки по сушенці  $Y_6$ , електроспоживання  $Y_7$ ; збурюючими - вологість торфу на вході в сушарку  $F_1$ , насипна щільність сировини  $F_2$ , зольність сировини  $F_3$ , температура сировини  $F_4$ , температура повітря  $F_5$ , сипучість сировини  $F_6$ , вологорізниця торфу  $F_7$ , а регулюючими (вхідними) – завантаження сушарки сировиною  $X_1$ , частота обертання барабана сушарки  $X_2$ , тиск пари  $X_3$ , температура пари  $X_4$ , витрата повітря через сушарку  $X_5$  (рис. 2).

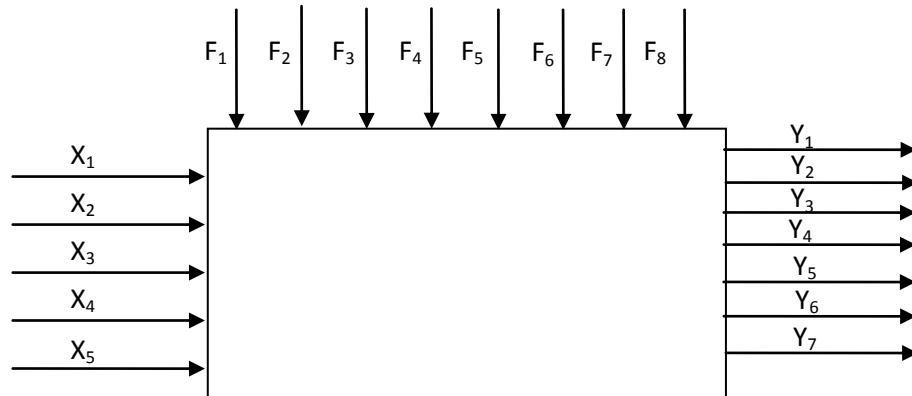


Рис. 2. Модель парової трубчастої сушарки отриманої в результаті експертного оцінювання

Розробка математичних моделей зміни техніко-економічних показників в залежності від керованих параметрів в промислових парових трубчатих сушарках неможлива без проведення експериментів. Під час проведення експериментів, необхідно визначити вхідні та вихідні показники відібрані в результаті проведення експертного оцінювання при змінні керуючих впливів в регламентованих межах.

### Висновки

1. Факторне поле парової трубчастої сушарки торфу дозволило виділити чотири основні групи факторів: контролюючі, вхідні вимірювальні величини, що не керуються та вхідні не вимірювальні величини, що були виділені із діаграми Ісікави.
2. Застосування експертного оцінювання визначення ступеня важливості кожного із факторів у кожній із груп дозволило скоротити число факторів із 33 до 20 без зниження інформативності моделі.
3. Одержана сукупність факторів дозволить в подальших дослідженнях отримати більш прості та адекватні математичні моделі процесу сушіння торфу в парових трубчатих сушарках і підвищити швидкість виконання алгоритмів.

**Список використаної літератури**

1. Lazarev A.V. Puti tehničeskogo progressa v torfobriketnom proizvodstve/ A.V. Lazarev// Trudy VNII torf. promyshlennosti: Proizvodstvo i ispol'zovanie torfa v narodnom hozjajstve. – 1976. – Vyp. 36. – S. 115-132.
2. Gurvich L.L. Avtomatizacija podgotovitel'nogo otdelenija torfobriketnogo zavoda s usrednjajushhej ustanovkoj/ L.L. Gurvich, V.V. Rusakov, A.M. Mjagkov// Respublikanskij mezhvedomstv. sbornik Belorusskogo politehn. in-ta. «Mashiny i tehnologija torfjanogo proizvodstva». – 1976. – Vyp. 6. – S. 72-78.
3. Veber R.Ja. Briketirovanie torfa / R.Ja. Veber – M.: Gosjenergoizdat, 1957. – 188 s.
4. Naumovich V.M. Raboty Kalininskogo politehnicheskogo instituta po sovershenstvovaniju torfobriketnogo proizvodstva/ V.M. Naumovich //Nauchno-tehnicheskij sb.: Intensifikacija proizvodstva torfjanyh briketov. – 1975. – S. 13-31.
5. Naumovich V.M. Stabilizacija vlazhnosti sushjonki – nadjozhnyj sposob povyshenija kachestva torfjanyh briketov/ V.M. Naumovich// Torfjanaja promyshlennost'. – 1976. - №10. - S. 9-12.
6. Eliseeva A.I. O kachestve sushki frezernogo torfa v parovyh trubchatyh sushilkah Cemag/ A.I. Eliseeva// Torfjanaja promyshlennost'. – 1970. – №12 – S. 17-20.
7. Ivanov B.N. Vlijanie kachestva podgotovki i sushki torfa na process briketirovanija/ B.N. Ivanov, V.A. Zav'jalov, L.I. Medvedev// Torfjanaja promyshlennost'. – 1956. – №1 – S.11-14.
8. Beshelev S.D. Jekspertnye ocenki / S.D. Beshelev, F.G. Gurvich – M.: Nauka, 1973. – 246 s.
9. Petrovskij B.C. Poisk jekstremuma funkicii pri zadannyh ogranichenijah. / V.S. Petrovskij// Krasnojarsk: Trudy SibTI. – 1965. – №10 – S. 26-36.

*Стаття надійшла до редакції 23.12.2013 р.*

УДК 624.21 + 624.19(066)

**С. П. Шевчук, д. т. н., Н. А. Шевчук, С. В. Зайченко (НТУУ «КПІ»), к. т. н., В. Г. Городецький к. ф.-м. н. (НТУУ «КПІ»)**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОВЕРХНЕВОГО УЩІЛЬНЕННЯ  
КРІПЛЕННЯ ТУНЕЛЮ ГНУЧКИМ ВІБРАЦІЙНИМ РОБОЧИМ  
ОРГАНОМ З ПОПЕРЕЧНИМИ КОЛИВАННЯМИ**

**S. P. Shevchuk, doctor of technical science, N. A. Shevchuk, S. V. Zaychenko, cand. sc. (tech.) (NTUU «KPI»), V. H. Horodetskyi, candidate of physical and mathematical sciences (NTUU «KPI»)**

**INVESTIGATION OF THE PROCESS OF FASTENING SURFACE  
SEAL FLEXIBLE VIBRATING CURVED TUNNEL WORKING BODY**