

**ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ  
ПРОДУКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ  
ЗА ДОПОМОГОЮ ГВИНТОВИХ КОНВЕЄРІВ З ОБЕРТОВИМИ  
КОЖУХАМИ**

**Гевко Ів. Б., д.т.н., проф., Дячун А. Є., к.т.н., доц., Мельничук А. Л.,  
Золотий Р. З., к.т.н., доц., Шуст І. М.**

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

*Для підтвердження гіпотези про підвищення продуктивності перевантажувальних операцій за допомогою гвинтових конвеєрів з обертовими кожухами розроблено експериментальну установку і проведено експериментальні дослідження, результати яких повністю підтвердили гіпотезу. Проведене техніко-економічне обґрунтування доцільності обертання кожуха у гвинтовому конвеєрі показало, що при підвищенні потужності конвеєра на 4,5% підвищення його продуктивності зростає на 24%. Загальний економічний ефект при використанні раціональних параметрів роботи гвинтового конвеєра з обертовим кожухом становить більше 10%. Для досягнення економічної ефективності перевантажувальних операцій за допомогою гвинтових конвеєрів з обертовими кожухами доцільно використовувати частоту обертання кожуха в межах від 460 до 620 об/хв.*

**Постановка проблеми.** Гвинтові конвеєри широко використовуються в сільськогосподарському виробництві у якості транспортерів, змішувачів, дозаторів, сепараторів тощо. Для підвищення продуктивності виконання ними транспортно-технологічних процесів часто необхідні значні необґрунтовані енерговитрати, що не забезпечують ефективності процесу. Тому, для отримання високої продуктивності виконання транспортно-технологічних процесів гвинтовими механізмами можливе створення їх модернізованих конструкцій з транспортуючими кожухами, які дозволяють забезпечувати зрушення транспортуючого матеріалу з метою забезпечення необхідного тертя шнека з матеріалом та кожухом, що дозволить підвищити продуктивність праці транспортних операцій.

**Аналіз останніх досліджень.** Питанням теоретичного обґрунтування процесу роботи гвинтових конвеєрів, методик розрахунку їх параметрів, розробки прогресивних конструкцій присвячені роботи А. М. Григорьєва [3], Б. М. Гевка [1], Р. М. Рогатинського [5], В. С. Ловейкіна [4] та інших. У відомих дослідженнях особлива увага звернута на питання вибору параметрів робочих органів і процесів транспортування вантажів, проте проблема підвищення продуктивності праці і ефективності транспортно-технологічних процесів завжди залишатиметься актуальною.

**Метою роботи** є проведення техніко-економічного обґрунтування підвищення продуктивності транспортно-технологічних процесів за допомогою гвинтових конвеєрів з обертовими кожухами.

**Реалізація роботи.** З метою підвищення продуктивності транспортно-технологічних процесів гвинтовими механізмами і зниження енерговитрат актуальним залишається питання пошуку їх прогресивних конструкцій [5]. До таких механізмів належать гвинтові конвеєри з обертовими кожухами [6]. Основними факторами, що впливають на проектування гвинтових транспортно-технологічних механізмів, є [2]: специфіка функціонального призначення і вимоги до транспортно-технологічних операцій; універсальність використання; простота; конструктивна наслідуваність і закладення в конструкцію максимальної частки уніфікованих елементів та мінімізація їх загальної кількості; вимоги до транспортування, експлуатаційної готовності, габаритів, ваги, технічного обслуговування; енергоефективність і висока продуктивність; надійність і безпека в експлуатації тощо. При проектуванні гвинтових конвеєрів керуються ДСТУ 2672-94, який встановлює до них загальні технічні вимоги. Проведення відпрацювання конструкції конвеєра на технологічність виконують у наступному порядку [2]: проводиться відбір вихідних матеріалів для оригінальних деталей, комплектуючих, складальних одиниць і вузлів; визначається обсяг випуску, тип і характер виробництва; розробляються технологічні процеси виготовлення окремих деталей і загального складання гвинтового конвеєра.

На основі проведеного патентного пошуку, аналізу наукових літературних джерел і проведеного синтезу [6] нами розроблено і запатентовано ряд конструкцій гвинтових конвеєрів з обертовими кожухами. На базі них спроектовано і виготовлено експериментальну установку, загальний вигляд якої представлено на рисунку 1, де окремими електродвигунами приводились в рух гвинтовий робочий орган і кожух (гвинтовий робочий орган – електродвигун потужністю 2,2 кВт; кожух – електродвигун потужністю 1,5 кВт). На цій установці було проведено ряд експериментальних досліджень [7].



Рис. 1 – Загальний вигляд експериментальної установки

Для встановлення впливу застосування обертового кожуха на властивості гвинтового конвеєра на основі методики проведення досліджень з використанням повнофакторного експерименту визначено продуктивність  $Q$  даного конвеєра залежно від частоти обертання шнека  $n$ , частоти обертання кожуха  $n_k$  та кута нахилу конвеєра  $\gamma$  для транспортування кукурудзи, ячменю та пшениці при обертанні кожуха в напрямку, протилежному напрямку обертання шнека. Розроблене експериментальне устаткування для проведення досліджень гвинтових конвеєрів з обертовими кожухами у повній мірі дозволяло провести експериментальні дослідження цих систем згідно розроблених методик, а використання перетворювачів частоти і персональних комп'ютерів з відповідним програмним забезпеченням дозволяло проводити експериментальні дослідження з можливістю моделювання досліджуваних процесів в широких діапазонах частоти обертання двигунів з високою точністю в автоматизованому режимі керування з фіксацією необхідних результатів дослідження. За результатами досліджень [7] було встановлено, що підвищення частоти обертання кожуха  $n_k$  призводить до підвищення продуктивності  $Q$  гвинтового конвеєра на 18-25% порівняно з його роботою при нерухомому кожусі. Також підвищення частоти обертання кожуха  $n_k$  вище 620 об/хв. є нераціональним, оскільки це не змінює продуктивність конвеєра. Раціональною є частота обертання кожуха від 460 до 620 об/хв., оскільки при цьому відбувається найбільший приріст продуктивності гвинтового конвеєра, при різних частотах обертання шнека  $n$ . За результатами експериментальних досліджень були побудовані графічні залежності (рис. 2) продуктивності транспортування кукурудзи  $Q$  від частоти обертання кожуха конвеєра  $n_k$  при частоті обертання шнека  $n=700$  об/хв. для різних кутів нахилу конвеєра  $\gamma$ .

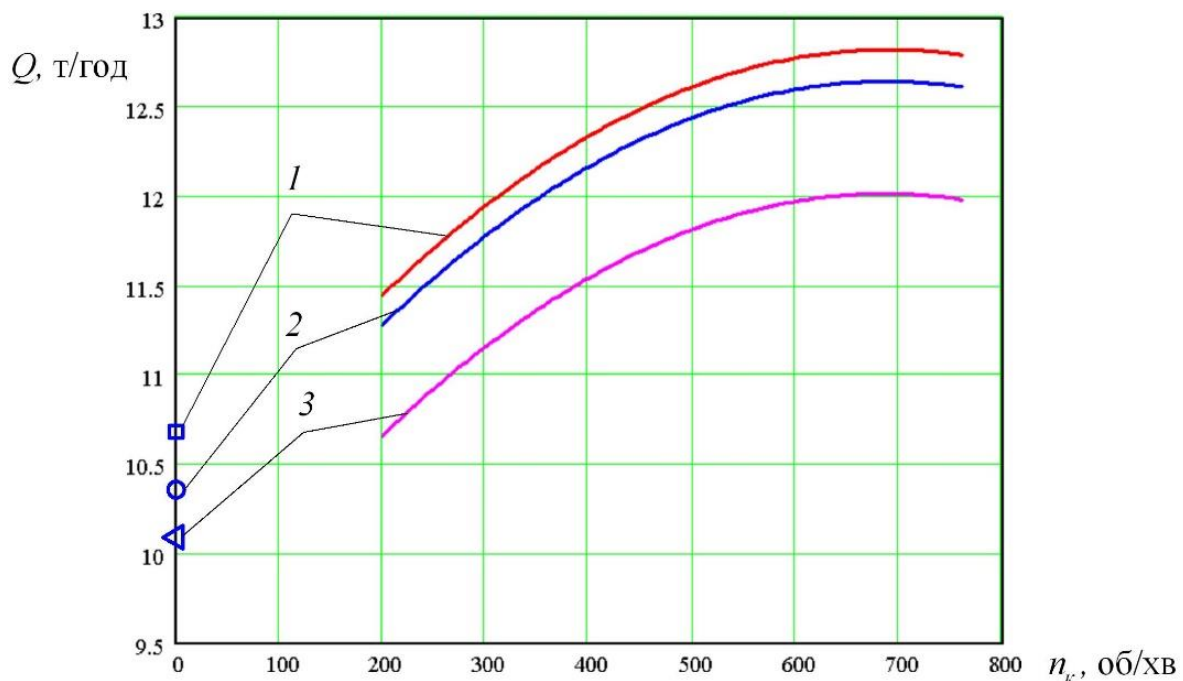


Рис. 2 – Графіки залежності продуктивності гвинтового конвеєра від частоти обертання кожуха конвеєра під час транспортування кукурудзи (діаметр шнека  $D=96$ мм; частота обертання шнека  $n=700$  об/хв.): 1)  $\gamma=14$  град; 2)  $\gamma=25$  град; 3)  $\gamma=36$  град

В подальших розрахунках керуватимемось оптимальними частотами обертання кожуха в межах від 460 до 620 об/хв., що дозволяють максимально збільшити продуктивність гвинтового конвеєра.

Таблиця 1 – Результати заміру потужності і обертального моменту на валу шнека при відповідній частоті обертання кожуха

Частота обертання шнека $n$ , Гц	Потужність (вал шнека), %	Обертальний момент на валу шнека, %
Частота обертанням кожуха $n_k - 20$ Гц		
20	5	11,4
30	8	12,8
40	11	13,2
50	14	13,7
Частота обертанням кожуха $n_k - 30$ Гц		
20	6	13,5
30	9	14,8
40	12	14,4
50	15	14,5
Частота обертанням кожуха $n_k - 40$ Гц		
20	6	14,3
30	10	17,0
40	14	17,1
50	17	17,8

В таблиці 1 і таблиці 2 наведені експериментальні дані потужності і обертального моменту в процентному співвідношенні, які зафіксовані у вікнах моніторів персональних комп'ютерів при проведенні серії експериментів з допомогою перетворювачів частоти серії Altivar.

Таблиця 2 – Результати заміру потужності і обертального моменту на кожуху при відповідній частоті обертання шнека

Частота обертання кожуха $n_k$ , Гц	Потужність (кожух), %	Обертальний момент на кожусі, %
Частота обертанням шнека $n - 50$ Гц		
20	9	20,8
30	10	22,6
40	11	23,2
50	10	22,7

Результати потужності і обертального моменту на валу шнека при перевантаженні матеріалу без обертання кожуха представлено в таблиці 3, а шкали переводу частот обертання кожуха і шнека з Герців в оберти за хвилину представлені в таблиці 4 і таблиці 5.

При обертанні кожуха з частотою обертання 30 Гц (468 об/хв.) продуктивність зростає на 20% для шнека з частотою обертання 50 Гц (700 об/хв.). При цьому потужність на шнеку спадає з 20% до 15% (для двигуна 2,2 кВт), а потужність на кожуху складає 10% (для двигуна 1,5 кВт).

Тоді загальне зростання потужності складає:

$$\Delta P_{30} = (10\% \cdot 1,5 / 2,2) - (20\% - 15\%) = 1,82\%.$$

Таблиця 3 – Результати заміру потужності і оберального моменту на валу шнека при зупиненому кожуху

Частота обертання шнека $n$ , Гц	Потужність (вал шнека), %	Обергальний момент на валу шнека, %
Частота обертанням кожуха $n_k = 0$ Гц		
20	8	19,5
30	12	19,1
40	16	19,1
50	20	19,2

Таблиця 4 – Таблиця переводу частот кожуха (потужність двигуна 1,5 кВт)

$n_k$ , Гц	$n_k$ , об/хв.
20	312
30	468
40	624
50	780

Таблиця 5 - Таблиця переводу частот шнека (потужність двигуна 2,2 кВт)

$n$ , Гц	$n$ , об/хв.
20	280
30	420
40	560
50	700

Отже, при підвищенні продуктивності на 20% (при обертанні кожуха з частотою обертання 30 Гц (468 об/хв.) і шнека з частотою обертання 50 Гц (700 об/хв.)) підвищення потужності складає 1,82%.

Якщо прийняти продуктивність конвеєра без обертання шнека за 100%, то потужність на шнеку складає 20%. При зростанні продуктивності конвеєра на 20% із обертанням шнека загальна потужність конвеєра складе  $20\% + 1,82\% = 21,82\%$ . Тоді у перерахунку ефективність зростання продуктивності у порівнянні зі зростанням потужності становитиме:

$$\Delta E_{30} = (100\% + 20\%) / 100\% - (20\% + 1,82\%) / 20\% = 0,109.$$

Тобто, ефект від обертання кожуха з частотою обертання 468 об/хв. у гвинтовому конвеєрі, в якому шнек обертається із частотою обертання 700 об/хв., з врахуванням зростання продуктивності і витрат електроенергії становитиме 10,9%.

Відповідно річна економія коштів на електроенергію за рахунок зростання продуктивності даного гвинтового конвеєра з обертовим кожухом при вказаних параметрах визначатиметься за формулою:

$$E = C_{ел.ен} \cdot V_{кгод} \cdot \Delta E \cdot K_{г.зм} \cdot K_{зм} \cdot K_{дн.м} \cdot K_{в},$$

де  $C_{ел.ен}$  – ціна 1 кВт/год. електроенергії (II клас – 1,96 грн. з 01.12.2017р. для промислових та прирівняні до них споживачі з приєднаною потужністю

750 кВА і більше);

$V_{код}$  – приведений обсяг споживання електроенергії обладнанням, кВт/год. (2,2);

$K_{г.зм}$  - кількість годин у зміні (8);

$K_{зм}$  - кількість змін (1);

$K_{дн.м}$  - кількість робочих днів на рік (240);

$K_v$  – коефіцієнт використання обладнання (0,92).

$$E_{30} = 1,96 \cdot 2,2 \cdot 0,109 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 240 \cdot 0,92 = 830,22 \text{ грн.}$$

Слід також врахувати наступне, при зростанні продуктивності величина часу роботи працівника у виробничого процесу для перевантаження відповідної кількості матеріалів буде меншою. Тобто час використання оператора слід скоротити на відсоток зростання продуктивності перевантажувальної операції. Тоді економія коштів по заробітній платі оператора, з врахуванням єдиного соціального внеску (0,22 згідно Закону України від 21 грудня 2016 року № 1801-VIII «Про Державний бюджет України на 2017 рік»), становитиме:

$$E_{з/н} = ЗП \cdot K_n \cdot 12 \cdot ЧП / 100\%,$$

де  $ЗП$  – середньомісячна зарплата (8791 грн./міс. грудень 2017 р. згідно <https://www.work.ua/ua/stat/>);

$K_n$  – коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок (1,22);

$ЧП$  – процент числа вивільнених працівників за рахунок зростання продуктивності (%).

$$E_{з/н30} = (8791 \cdot 1,22 \cdot 12 \cdot 20\%) / 100\% = 25740,05 \text{ грн.}$$

Отже, загальна економія від використання гвинтового конвеєра з обертовим кожухом становитиме 26570,27 грн. Якщо врахувати простій шоферів і автотранспорту при завантаженні і проводити перерахунок на його скорочення за рахунок підвищення продуктивності завантажувальної операції, то економія від застосування модернізованого гвинтового конвеєра з врахуванням амортизаційних відрахувань на транспортний засіб і економію заробітної плати шоферів буде значно вищою. Проте в подальших розрахунках ми її не будемо враховувати.

При обертанні кожуха з частотою обертання 40 Гц (624 об/хв.) продуктивність зростає на 24% для шнека з частотою обертання 50 Гц (700 об/хв.). При цьому потужність на шнеку спадає з 20% до 17% для двигуна 2,2 кВт, а потужність на кожуху складає 11% для двигуна 1,5кВт.

Тоді загальне зростання потужності складає:

$$\Delta P_{40} = (11\% \cdot 1,5 / 2,2) - (20\% - 17\%) = 4,5\%.$$

Отже, при підвищенні продуктивності на 24% (при обертанні кожуха з частотою обертання 40 Гц (624 об/хв.) і шнека з частотою обертання 50 Гц (700 об/хв.)) підвищення потужності складає 4,5%.

Якщо прийняти продуктивність конвеєра без обертання шнека за 100%, то потужність на шнеку складає 20%. При зростанні продуктивності конвеєра на

24% із обертанням шнека загальна потужність конвеєра складе  $20\% + 4,5\% = 24,5\%$ . Тоді у перерахунку ефективність зростання продуктивності у порівнянні зі зростанням потужності становитиме:

$$\Delta E_{40} = (100\% + 24\%) / 100\% - (20\% + 4,5\%) / 20\% = 0,015.$$

Тобто, ефект від обертання кожуха з частотою обертання 624 об/хв. у гвинтовому конвеєрі, в якому шнек обертається із частотою обертання 700 об/хв., з врахуванням зростання продуктивності і витрат електроенергії становитиме 1,5%. Відповідно річна економія коштів по електроенергії за рахунок зростання продуктивності даного гвинтового конвеєра з обертовим кожухом при вказаних параметрах становитиме:

$$E_{40} = 1,96 \cdot 2,2 \cdot 0,015 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 240 \cdot 0,92 = 114,25 \text{ грн.}$$

Економія коштів по заробітній платі оператора, задіяного в обслуговуванні конвеєра, в даному випадку становитиме:

$$E_{z/n40} = (8791 \cdot 1,22 \cdot 12 \cdot 24\%) / 100\% = 30888,06 \text{ грн.}$$

Отже, загальна економія від використання гвинтового конвеєра з обертовим кожухом становитиме 31002,31 грн.

Аналізуючи вище приведені розрахунки можна зробити висновок, що більше зростання продуктивності гвинтового конвеєра з обертовим кожухом є економічно обґрунтоване. Загалом обертання кожуха у гвинтовому конвеєрі дозволяє при певних конструктивно-технологічних параметрах отримувати значний економічний ефект і значно підвищувати продуктивність транспортних операцій (на 24%) без значних перевитрат електроенергії. Загальний економічний ефект при використанні оптимальних параметрів роботи гвинтового конвеєра з обертовим кожухом становитиме більше 10%. Також позитивним моментом є те, що за рахунок збурення матеріалу від обертання кожуха значно падають витрати електроенергії на обертання шнека.

## Висновки

1. Найбільш ефективними параметрами роботи гвинтового конвеєра з обертовим кожухом є обертання кожуха з частота 468 об/хв. і шнека з частотою 700 об/хв. При цих параметрах продуктивність зростає на 20%, потужність на шнеку спадає з 20% до 15% (для двигуна 2,2 кВт), а потужність на кожуху складає 10% (для двигуна 1,5 кВт). Загальне зростання потужності складає 1,82%. Подальше підвищення частоти обертання кожуха призводить до зростання продуктивності процесу транспортування на 24%, що є позитивним явищем.

2. Загальний економічний ефект при використанні оптимальних параметрів роботи гвинтового конвеєра з обертовим кожухом становить більше 10%.

3. За рахунок збурення матеріалу від обертання кожуха значно падають витрати електроенергії на обертання шнека.

## Список використаних джерел

1. Гевко Б.М. Механізми з гвинтовими пристроями [Текст] / Б. М. Гевко, Р. М. Рогатинський. – Львів: Світ, 1993. – 208с.
2. Гевко І.Б. Управління процесом розробки і освоєння виробництва нових виробів: Підручник. – / [І. Б. Гевко, Б. М. Гевко]. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2015. - 199 с.
3. Григорев А. М. Винтовые конвейеры [Текст] / А. М. Григорев. - М. : Машиностроение, 1972. - 184с.
4. Ловейкін В. С. Вибір раціональних параметрів та режимів роботи вертикальних гвинтових конвеєрів [Текст] / В. С. Ловейкін, О. Р. Рогатинська // Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. – 2005. – Вип. 23. – С. 181–195.
5. Рогатинський Р. Модель конструювання і вибору гвинтових конвеєрів з розширеними технологічними можливостями / Р. Рогатинський, І. Гевко // Вісник ТНТУ. – 2012. – № 3 (67). – С.197–210.
6. Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дячун А.Є., Вар'ян А.Р., Мельничук А.Л., Шуст І.М. Генерування конструкцій гвинтових механізмів методом морфологічного аналізу з ієрархічним групуванням. Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади» Випуск 10, ЛНТУ. Луцьк, 2017, С. 186-192.
7. Рогатинський Р.М., Гевко Ів.Б., Дячун А.Є., Мельничук А.Л., Вар'ян А.Р. Дослідження продуктивності гвинтового конвеєра з обертовим кожухом. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. «Технічні системи і технології тваринництва. Технічний сервіс машин для рослинництва» – 2017. – Випуск № 181, С. 285-293.

## Аннотація

### **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ ВИНТОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ С ВРАЩАЮЩИМСЯ КОЖУХОМ**

Гевко Ив. Б., Дячун А. Е., Мельничук А. Л., Золотий Р. З., Шуст И. М.

*Для подтверждения гипотезы о повышении производительности перегрузочных операций с помощью винтовых конвейеров с вращающимися кожухами разработана экспериментальная установка и проведены экспериментальные исследования, результаты которых полностью подтвердили гипотезу. Проведенное технико-экономическое обоснование целесообразности вращения кожуха в винтовом конвейере показало, что при повышении мощности конвейера на 4,5% повышения его производительности возрастает на 24%. Общий экономический эффект при использовании рациональных параметров работы винтового конвейера с вращающимся кожухом составляет более 10%. Для достижения экономической*



эффективности перегрузочных операций с помощью винтовых конвейеров с вращающимися кожухами целесообразно использовать частоту вращения кожуха в пределах от 460 до 620 об / мин.

## **Abstract**

### **TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC GROUNDS FOR INCREASING THE PERFORMANCE OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL PROCESSES BY HIGH-QUALITY CONVEYORS WITH REDUCED LINES**

Iv. Hevko, A. Dychun, A. Melnuchyk, R. Zolotuy, I. Shust

*To confirm the hypothesis of increasing the productivity of transshipment operations with screw conveyors with rotary housings, an experimental installation was developed and experimental studies were carried out, the results of which completely confirmed the hypothesis. A feasibility study on the feasibility of rotation has been conducted. The casing in the screw conveyor has shown that when the capacity of the conveyor is increased by 4.5%, its productivity increases by 24%. The overall economic effect when using the rational parameters of the screw conveyor with a rotating casing is more than 10%. To achieve the economic efficiency of reloading operations using screw conveyors with rotary housings it is expedient to use the rotational speed of the housing in the range from 460 to 620 rpm.*

**УДК 658.3.04/05:658.5:622.002.5**

### **ОЦІНКА, ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПРОФЕСІЙНИХ РИЗИКІВ У РОБОТІ ОПЕРАТОРІВ МОБІЛЬНИХ МАШИН І МОНІТОРИНГ УМОВ ЇХ ПРАЦІ**

**Рогач Ю. П., к.т.н., проф.**

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

*У статті запропоновано новий підхід до оцінки, ідентифікації професійних ризиків у роботі операторів мобільних машин і моніторингу умов їхньої праці. Для оцінки його ступеню запропоновано використовувати матрицю ризиків, яка дає можливість якісно, а за наявності необхідної інформації – кількісно оцінити ризик в залежності від імовірності виникнення нештатної ситуації і її можливих наслідків. Наведено приклади визначення елементів матриці ризиків для фізичних, хімічних і ергономічних чинників ризику, небезпеки нещасного випадку, нервової напруги. В якості заключного етапу визначення професійного ризику запропоновано використовувати інтегральний показник рівня професійного ризику на підприємстві, оперативне визначення і реагування на негативні зміни якого можливе лише за умови постійного моніторингу його складових.*

Оцінка професійних ризиків – це виявлення небезпек у процесі праці, визначення їх величини і значимості ризиків, що виникають. Оцінка ризиків є