

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторного заняття «Модельний підхід аналізу виникнення
травмонебезпечних та аварійних ситуацій на виробництві»

з дисципліни

«Цивільний захист і охорона праці в галузі»
для студентів усіх спеціальностей та форм навчання

Методичні вказівки до лабораторного заняття «Модельний підхід аналізу виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій на виробництві» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі»: для студентів усіх спеціальностей та форм навчання. /Укл.: О.В. Коробко, Ю.І. Троян – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 18 с..

Укладачі: О.В. Коробко, ст. викл.
Ю.І. Троян, асистент

Рецензент: І.М. Лазечний, доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск: Ю. І. Троян, асистент

Затверджено
на засіданні кафедри «Охорони праці і
навколишнього середовища»
Протокол № 06 від 25.01.2021 р.

Рекомендовано до видання
НМК Факультету будівництва,
архітектури та дизайну
Протокол № 04 від 04.03.2021 р.

ЗМІСТ

1 Мета заняття	4
2 Загальні відомості	4
2.1 Побудова логіко-імітаційних моделей процесу формування небезпечної ситуації.....	5
2.2 Визначення імовірності виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій.....	10
3 Зміст звіту	16
4 Рекомендована література	17
Додаток А – Зразок титульного аркуша до звіту з лабораторного заняття.....	18

1 МЕТА ЗАНЯТТЯ

Ознайомлення з методикою моделювання та математичного визначення ймовірності формування травмонебезпечних та аварійних ситуацій.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Розвиток усіх технологічних і виробничих процесів неможливий без повного застосування досягнень науково-технічного прогресу, ефективного використання ресурсів, зниження збитків від аварій і травматизму. Рішення цієї задачі потребує використання науково обґрунтованих підходів і аналізу виробничих процесів у ергатичній системі "*людина-середовище*".

Проблеми аварійності та травматизму пояснюються не тільки низькою культурою безпечності і відсутністю технологічної дисципліни, але й конструктивною недосконалістю та значним спрацюванням виробничого і транспортного устаткування.

Превентивні заходи попередження небезпечних подій мають особливу актуальність в усіх сферах виробництва, недооцінка небезпечних чинників призводить до загибелі людей, виходу з ладу обладнання, забрудненню навколишнього середовища.. Тому, з метою підвищення безпечності життєдіяльності людини та зниження збитків від травмонебезпечних та аварійних ситуацій, необхідно вивчати обставини їх появи, використовуючи методи системного аналізу та моделювання досліджуваних небезпечних ситуацій у техносфері.

Існує чотири методичних підходи аналізу та імовірного визначення реалізації небезпечних подій: *інженерний, модельний, експертний, соціологічний*.

У даній роботі розглянуто модельний підхід превентивного визначення появи небезпечностей та розрахунок імовірності виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій.

Модельний підхід ґрунтується на побудові моделей впливу шкідливих чинників на окрему людину, соціальні, професійні гурти тощо.

При функціонуванні систем "*людина-середовище*" за різних причин виникають випадкові події, які утворюють травмонебезпечні та аварійні ситуації, пов'язані між собою причинно-наслідковими зв'язками. Усі ці події можна розглядати як статистично залежні або статистично незалежні

між собою компоненти, що утворюють логічні моделі виробничих процесів, які вивчаються.

Метод логічного моделювання потенційних аварій і травм надає можливість розробити досконалу систему управління безпекою життєдіяльності на виробництві, яка базується на оперативному пошуку виробничих небезпек, їх поглибленому логічному аналізі і терміновому прийнятті заходів для усунення потенційних небезпек ще до виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій.

Аналіз побудованої логічної моделі технологічного процесу дозволяє знайти подію, з якої починається утворення небезпечної ситуації.

Логічні моделі дозволяють виявити причетність окремих осіб до виникнення небажаних подій, а також ступінь вини самого потерпілого.

2.1 Побудова логіко-імітаційних моделей процесу формування небезпечної ситуації

При побудові логіко-імітаційних схем використовують сукупність небезпечних подій, пов'язаних між собою причинно-наслідковими зв'язками, які у процесі діяльності можуть призвести до виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій. Головним елементом логічної моделі є поняття про **небезпечну ситуацію (НС)**:

– *тобто випадкове явище, що передує виникненню травм, аварій, катастроф.*

Складовими небезпечної ситуації є:

1. **Небезпечна умова (НУ)** – умова, за якої існує навіть *малоймовірна можливість впливу на людину небезпечного чинника, що може призвести до реальної загрози виникнення аварії або травми*. Це сукупність небезпечних виробничих чинників, недоліки технологічних процесів та обладнання, низький рівень організації виробництва тощо.

2. **Небезпечна дія (НД)** – *це така дія працівника, яка не відповідає науково обґрунтованим нормам професійної діяльності при виконанні конкретного виробничого завдання*.

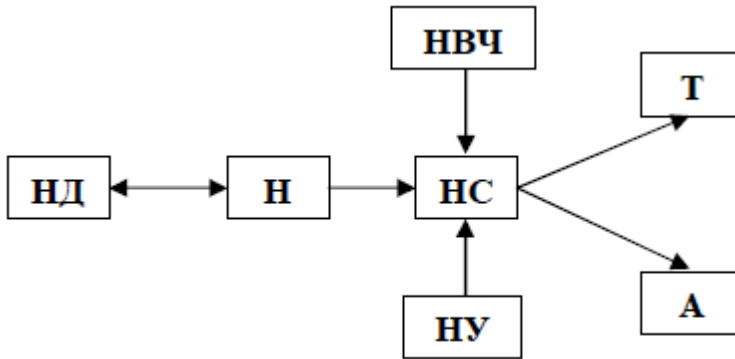
3. **Небезпечна обставина (НО)** – *це такий стан у просторі, який вимагає примусової фізичної або психічної дії людини, пов'язаної з ризиком, за наявності небезпечних умов та обмежені у часі*. Робітник, що здійснює небезпечні дії, може перебувати у обставинах: *мети, часу, місця, причин та способу дії*.

4. **Небезпечні виробничі чинники (НВЧ)** – це вплив шкідливостей трудового та виробничого процесів, які за нерациональної організації праці впливають на стан здоров'я та працездатність робітників.

За своїм впливом на людину НВЧ поділяються на:

- **активні:** чинники, що містять в собі енергетичний ресурс;
- **активно-пасивні:** чинники, які активуються за рахунок енергії людини;
- **пасивні:** що діють опосередковано або побіжно у процесі трудової діяльності людини.

У загальному виді логіко-імітаційна схема має вигляд (рис. 2.1):



НД - небезпечна дія;
 НО-небезпечна обставина;
 НВЧ - небезпечний виробничий чинник;
 НУ- небезпечна умова;
 НС- небезпечна ситуація;
 Т-травма;
 А-аварія.

Рисунок 2.1- Блок-схема процесу формування та виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій

Розглянемо найпростіші варіанти побудови логіко-імітаційних схем для випадків, коли пріоритетними є **небезпечна умова (НУ)** та **небезпечна дія (НД)**:

1. На робочому місці є лише одна небезпечна умова **НУ**, яка може безпосередньо призвести до небезпечної ситуації **НС** з наслідками у виді аварії **А** або травми **Т**.

Логічна схема має вигляд:

$$НУ — НС — (А;Т)$$

Приклад. На підлозі пролито масло (НУ), внаслідок цього людина падає (НС), що призводить до травми (Т).

2. При експлуатації виробничого обладнання виникає одна небезпечна умова **НУ1**, яка стала причиною виникнення іншої небезпечної умови **НУ2**, що у свою чергу здатна визвати наступну небезпечну умову **НУ3** і так далі до виникнення небезпечної ситуації **НС** з наслідками **А**; **Т**.

Логічна схема має вигляд:

$$НУ1 — НУ2 — НУ3 — ... — НС — (А;Т)$$

Приклад. Внаслідок конструктивного недоліку невідбалансований ротор двигуна (НУ1) може викликати появу вібрації (НУ2), яка може призвести до підвищеного спрацювання підшипників (НУ3) і так далі до руйнування підшипників (НС) з викидом частин ротора (А) та можливістю травмування (Т).

3. Небезпечна умова **НУ** може спонукати працівника до допущення ним помилок у процесі роботи **НД** в наслідок чого виникає небезпечна ситуація **НС** з наслідками **А**; **Т**.

Логічна схема має вигляд:

$$НУ — НД — НС — (А;Т)$$

Приклад. У процесі роботи були забиті робочі органи машини (НУ), робітник намагається усунути недолік при працюючій машині

(НД), це призводить до захоплення руки (НС) та травмуванню (Т) робітника.

4. Допущена небезпечна дія НД може призвести до небезпечної ситуації НС з наслідками А; Т.

Логічна схема має вигляд:

$$\text{НД} — \text{НС} — (\text{А}; \text{Т})$$

Приклад. Допущена груба помилка водія (НД) під час руху, що призвело до зіткнення транспортних засобів (НС) з наслідками у виді аварії (А) та травмування людини (Т).

5. В умовах виробництва можливі випадки, коли одна допущена помилка працюючого НД1 може призвести до потреби вжиття швидких заходів (швидких дій робітника), що може призвести до іншої помилки НД2, внаслідок чого виникає небезпечна ситуація НС з подальшими А; Т.

Логічна схема має вигляд:

$$\text{НД1} — \text{НД2} — \text{НС} — (\text{А}; \text{Т}),$$

якщо послідовних помилок (небезпечних дій) більше:

$$\text{НД1} — \text{НД2} — \text{НД3} — \dots — \text{НС} — (\text{А}; \text{Т})$$

Приклад. Водій перевищив припустиму швидкість під час руху (НД1), що подалі визвало різке гальмування (НД2), внаслідок чого виникає занос та перекидання транспортного засобу (НС), при цьому може бути пошкодження (А) транспортного засобу та травмування водія (Т).

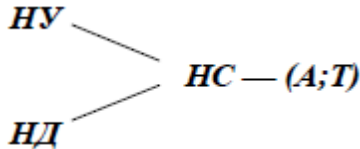
6. Допущена небезпечна дія НД в умовах виробництва стає причиною виникнення небезпечної умови НУ з наступними наслідками у вигляді небезпечної ситуації НС, що може призвести до А; Т.

Логічна схема має вигляд:

$$\text{НД} — \text{НУ} — \text{НС} — (\text{А}; \text{Т})$$

Приклад. Посадова особа видала наряд (НД) на виконання роботи із застосуванням несправного засобу (НУ), це призвело до небезпечної ситуації (НС) з наслідками (А;Т).

7. Якщо у формуванні небезпечної ситуації беруть участь події, **статистично незалежні** між собою, наприклад одна небезпечна умова НУ і одна небезпечна дія НД, то логічна схема має вид:

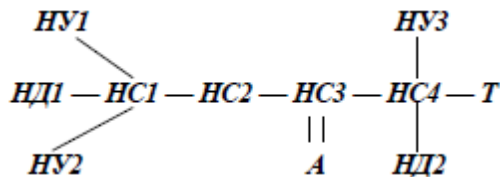


Приклад. На транспортних роботах небезпечною умовою є вузька колія (НУ). При різкому повороті (НУ) транспортний засіб може перекинутись (НС) з наслідками (А;Т).

8. У реальних умовах виробництва при експлуатації виробничого обладнання одна небезпечна ситуація НС1 може послідовно переходити в інші більш небезпечні ситуації НС2, НС3... до виникнення аварії А або травми Т.

Приклад. У багатьох заточувальних верстатах характерною небезпечною умовою є збільшення зазору (НУ1) між підставкою і абразивним кругом (більше 3 мм). Якщо при заточуванні деталі на такому верстаті робітник припускає помилку (НД1), при умові, що розмір оброблюваної деталі достатньо малий (НУ2), може виникнути небезпечна ситуація – деталь може бути затягнута в щілину між кругом і підставкою (НС1). Після цього деталь заклинюється (НС2), що призводить до аварії (А) - руйнуванню круга (НС3) і наступного викидання його уламків (НС4). Якщо при цьому захисний кожух відсутній (НУ3), а працівник знаходиться навпроти круга (НД2), то виникає явна загроза травмування (Т).

Логічна схема має вигляд:



Таким чином, використання наведених вище прикладів простих логіко-імітаційних схем виникнення аварійних і травмонебезпечних ситуацій, можна складати більш складні за структурою моделі небезпечних виробничих процесів, використовуючи такі небезпечні події, як *НУ, НД, НО, НВЧ, НС*.

2.2 Визначення імовірності виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій

Метод логічного моделювання процесів виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій застосовують для аналізу небезпек, виявлених у процесі обстеження робочих споруд, будівель, виробничих процесів, технологій. Але для складних процесів, де аварія або травма формується внаслідок впливу багатьох статистично залежних або незалежних між собою випадкових подій, цей метод не застосовують, натомість використовують *метод побудови "дерева" відмов і помилок* для систем "людина-машина", що дозволяє математично оброблювати такі моделі з метою визначення імовірності випадкових подій. Обчислення рівня безпеки дозволяє вдосконалити конструкції технічних засобів з метою зниження їх небезпеки, а також вживати термінові заходи для усунення небезпек з більш високим рівнем.

Основний принцип побудови логічної моделі методом *"дерева" відмов і помилок* для систем "людина-машина" полягає у вивченні виробництва на предмет можливих або вже зчинених аварійних та травмонебезпечних подій. Зв'язуючи небезпечні події шляхом логічного аналізу з наступними подіями, що обумовлюють їх виникнення, використовуючи при цьому логічні оператори *"І"* та *"АБО"*, можна прийти до кінцевої події у вигляді *аварії/травми* (*при апіорному методі аналізу*) або до початкових базових подій, з яких починає формуватись головна небезпечна ситуація (*при апостеріорному методі аналізу*).

Математичні обчислення ймовірностей випадкових подій, *статистично залежних* між собою, проводять за допомогою логічного оператора *"І"* ($\odot$), а розрахунок ймовірностей *статистично незалежних* між собою подій проводять за допомогою логічного оператора *"АБО"* ($\oplus$).

⊙ оператор "**I**" застосовують, якщо *одночасно* реалізуються всі вхідні події.

⊕ оператор "**АБО**" застосовують, якщо має місце *хоча б одна* з вхідних подій.

Розглянемо варіанти розрахунку ймовірностей випадкових подій за допомогою операторів "**I**" та "**АБО**".

1. Маємо дві події з ймовірностями **P1** і **P2**, які за допомогою оператора "**I**" входять до наступної третьої події, ймовірність якої дорівнює:

$$\odot \quad P3 = P1 \cdot P2 \quad (2.1)$$

2. Якщо вихідна подія формується за допомогою **n** подій та оператора "**I**" , то її ймовірність дорівнює:

$$\odot \quad P = P1 \cdot P2 \cdot \dots \cdot P_n \quad (2.2)$$

3. Дві базові події з ймовірностями **P1** і **P2** за допомогою оператора "**АБО**" входять до наступної третьої події, ймовірність якої дорівнює:

$$\oplus \quad P3 = P1 + P2 - P1 \cdot P2 \quad (2.3)$$

4. Якщо оператор "**АБО**" об'єднує три базові події з ймовірностями **P1; P2; P3** у четверту подію, то ймовірність цієї події становить:

$$\oplus \quad P4 = P1 + P2 + P3 - P1 \cdot P2 - P1 \cdot P3 - P2 \cdot P3 + P1 \cdot P2 \cdot P3 \quad (2.4)$$

5. Якщо вихідна подія формується за допомогою **n** подій та оператора "**АБО**" , то її ймовірність можна розрахувати за формулою:

$$\oplus \quad (1-P) = (1-P1) \cdot (1-P2) \cdot \dots \cdot (1-P_n) \quad (2.5)$$

Розглянемо побудову логічної моделі (рис.2.2) виникнення травмонебезпечної та аварійної ситуації методом *"дерева" відмов і помилок* для систем "людина-машина" на прикладі вище розглянутого виробничого процесу — роботі працівника на заточувальному верстаті (див.стор.9, п.8).

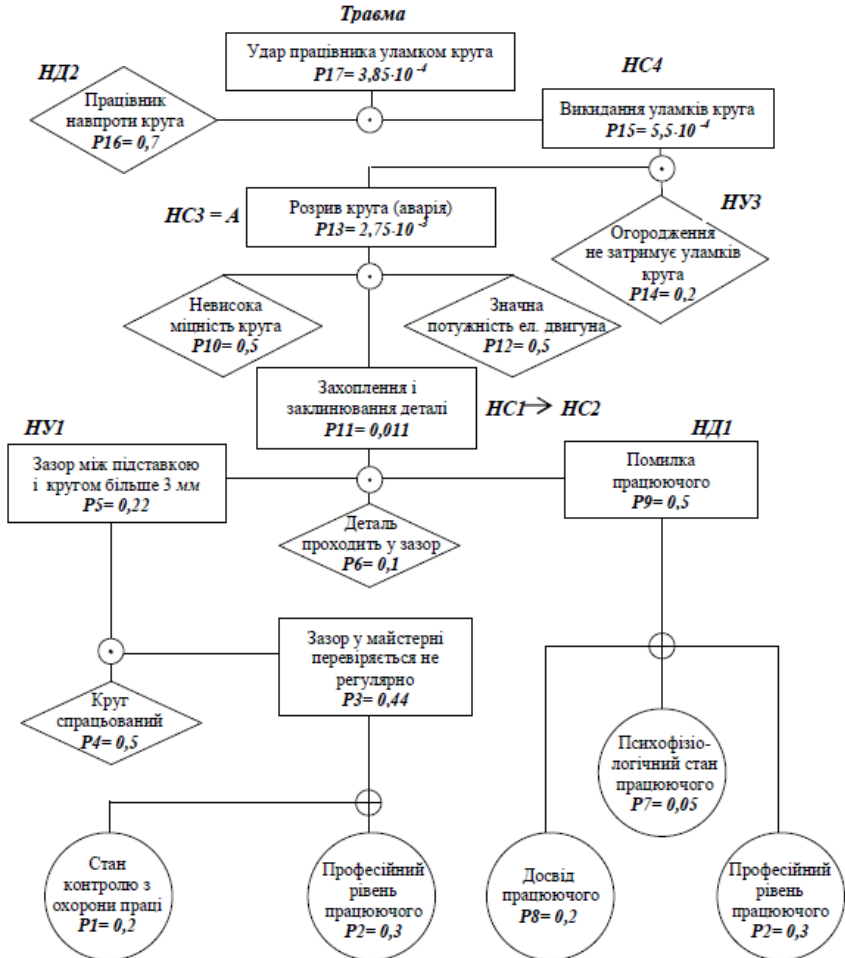


Рисунок 2.2 - Логіко-імітаційна модель процесу формування та виникнення аварії і травми при роботі на заточувальному верстаті

Представлена модель виробничого процесу надає наочне уявлення про поступовий розвиток травмонебезпечних і аварійних ситуацій, які виникають внаслідок впливу існуючих або заново утворених небезпечних подій. Події, що утворюють логічну модель представлені наступним видом:

○ — *базова подія з визначеною ймовірністю* (подія, що визначена за статистичними розрахунками на даний період часу);

◇ — *нерозкрита подія* (подія, що вимагає проведення відповідних досліджень);

□ — *подія, що виникає як результат дії логічних операторів "АБО" та "І".*

Процес виявлення травмонебезпечних і аварійних ситуацій та розрахунок їх ймовірностей необхідно починати з аналізу конкретних початкових (базових) подій з визначеною ймовірністю, які є характерними для даного технологічного процесу (робочого місця) і обумовлюють стан технологічного обладнання, охорони праці, професійний та психофізіологічний рівень персоналу тощо.

У нашому випадку основними *базовими* подіями з визначеною ймовірністю є:

$P1=0,2$ — стан контролю з охорони праці на даному підприємстві;

$P2=0,3$ — професійний рівень працівника;

$P7=0,05$ — психофізіологічний стан робітника;

$P7=0,2$ — досвід працюючого.

Зі схеми видно, що подія **$P3$** (зазор у майстерні перевіряється не регулярно) створюється статистично незалежними базовими подіями **$P1$** та **$P2$** (тобто кожна з них, окремо одна від одної може визвати подію **$P3$**), що обумовлює застосування оператора "АБО" (форм. 2.3):

$$\oplus \quad P3 = 0,2 + 0,3 - 0,2 \cdot 0,3 = \underline{0,44}$$

Взаємопов'язані події **P3** і **P4** створюють за допомогою оператора "**I**" небезпечну подію **P5** (**HV1**) ймовірність якої становить (форм. 2.1):

$$\odot \quad P5 = 0,44 \cdot 0,5 = \underline{0,22}$$

*Якщо б у майстерні регулярно перевірявся зазор між підставкою і абразивним кругом, то своєчасно було б замінено спрацьований круг (**P4**) і не допущено перевищення зазору (**P5**), що в цілому запобігло б утворенню травмонебезпечної ситуації*

Помилкова дія робітника **P9** (**HD1**) утворюється від незалежних між собою базових подій **P2**, **P7**, **P8**, що дозволяє, за допомогою оператора "**АБО**" визначити її ймовірність (форм. 2.4):

$$\oplus \quad P9 = 0,3 + 0,05 + 0,2 - 0,3 \cdot 0,05 - 0,3 \cdot 0,2 - 0,05 \cdot 0,2 + 0,3 \cdot 0,05 \cdot 0,2 = \underline{0,5}$$

Наступна небезпечна подія **P11** (захват і заклинювання деталі **HC1** → **HC2**) може виникнути лише внаслідок одночасного впливу подій **P5**, **P6**, **P9** тобто її ймовірність розраховуємо за допомогою оператора "**I**" (форм. 2.2):

$$\odot \quad P11 = 0,22 \cdot 0,1 \cdot 0,5 = \underline{0,011}$$

Якщо деталь заклинюється **P11**, то при невисокій міцності круга **P10** та достатній потужності електродвигуна **P12** може виникнути аварійна ситуація **P13** – розрив круга (**HC3**– аварія), ймовірність якої становить (форм. 2.2):

$$\odot \quad P13 = 0,5 \cdot 0,011 \cdot 0,5 = \underline{2,75 \cdot 10^{-3}}$$

У випадку, якщо абразивний верстат має конструктивний недолік **P14** - огороження неспроможне затримувати уламки круга (**HV3**), то при розриві круга **P13** виникає загроза викидання уламків круга **P15**, ймовірність чого дорівнює (форм. 2.1):

$$\odot \quad P15 = 2,75 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2 = \underline{5,5 \cdot 10^{-4}}$$

При порушенні правил техніки безпеки працюючим, що стоїть навпроти круга **P16** і одночасним викидом уламків зруйнованого круга **P15**, може виникнути загроза травмування **P17** з ймовірністю (форм. 2.1):

$$\odot \quad P17 = 5,5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,7 = \underline{3,85 \cdot 10^{-4}}$$

У приведеному прикладі загроза аварії при роботі на абразивному верстаті становить $2,75 \cdot 10^{-3}$, тобто на кожну 1000 одиниць подібного обладнання приходить майже 3 аварійних ситуацій, при цьому ймовірність виникнення травмонебезпечної ситуації на порядок нижчий $3,85 \cdot 10^{-4}$. В той же час, за концепцією теорії ризику, вважається, що сучасні технічні системи повинні мати ймовірність впливу небезпечних чинників (таких як: відмови техніки, помилки оператора, стихійні лиха тощо) на людину не вище за 10^{-6} на рік.

Для попередження виникнення небезпечних ситуацій необхідно виявити головні причини їх утворення, з подальшим застосуванням запобіжних заходів.

Існує чотири класи причин виникнення аварійних та травмонебезпечних ситуацій:

— **організаційні**: незадовільний профвідбір; навчання та інструктаж; контроль і нагляд за станом безпечності праці; організація та утримання робочих місць; трудова і технологічна дисципліна; відсутність інструкцій з охорони праці і засобів індивідуального захисту;

— **технічні**: невідповідність конструкцій вимогам безпеки та ергономіки; стан підйомно-транспортного обладнання і заходів технологічного оснащення (обладнання, оснастки, інструменту тощо); відсутність заходів колективного захисту; незадовільні технологічне забезпечення та інформація;

— **санітарно-гігієнічні**: незадовільні метеорологічні умови; висока концентрація небезпечних речовин у повітрі робочої зони; високий рівень шуму, вібрації, випромінювань; недостатнє освітлення тощо;

— **психофізіологічні**: невідповідність психофізіологічних характеристик робітника умовам виконуваної роботи; хворобливий стан; недостатній професійний рівень; здійснення помилкових дій;

одноманітні умови праці; порушення правил безпечного виконання робіт, трудової та технологічної дисципліни.

Аналіз аварійної і травмонебезпечної ситуацій, які сталися під час роботи на абразивному верстаті показав, що основною причиною аварії і травмування робітника є збільшення розміру зазору понад встановленої норми, що вказує на недостатній рівень організації охорони праці на даному підприємстві.

Таким чином, вивчення умов та процесів формування небезпечних ситуацій, їх моделювання і оцінка шляхом розрахунку ймовірності виникнення дозволяє прогнозувати небезпечні ситуації та обґрунтовано розробляти ефективні заходи щодо їх попередження.

3 ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт повинен містити:

- титульний лист відповідно додатку А;
- назву і мету роботи;
- загальні теоретичні відомості;
- логіко-імітаційну схему за конкретним завданням;
- результати практичних розрахунків імовірності виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій;
- висновки.

4 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Геврик Є.О. Безпека життєдіяльності [Текст] : підручник / Є.О. Геврик. — К.: Ельга—Н, КНТ, 2007. — 384 с.
2. Луценков В.Л. Критерії оцінки виробничих небезпек [Текст]: навч. посібник / В.Л. Луценков, В.А. Бутко, М.Т. Воїнов, С.Д. Лехман, С.Д. Малілін ; — Сімферополь: Бізнес-Інформ, 1996. — 224 с.
3. Нагорный Ю.П. Обгрунтовывание инженерных решений [Текст] ученик / Ю.П. Нагорный. — К.: Урожай, 1994. — 216 с.

Додаток А

(Зразок титульного аркуша до звіту з лабораторного заняття)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

Кафедра ОПіНС

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ

з курсу «Цивільний захист і охорона праці в галузі»

«Модельний підхід аналізу виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій на виробництві»

Виконав: студент гр. _____

(прізвище та ініціали)

Перевірив:

(прізвище та ініціали)

20__ р.