

Шифр «Безпека АТ»

ПРОГНОЗУВАННЯ ДТП І МОДЕЛЮВАННЯ
ТРАВМОНЕБЕЗПЕЧНИХ СИТУАЦІЙ АВТОМОБІЛЬНОГО
ТРАНСПОРТУ
(на прикладі Івано-Франківської області)

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1. Оцінка рівня травматизму під час дорожньо-транспортних пригод і прогнозування параметрів управління умовами і безпекою праці	4
2. Аналіз динаміки причин дорожньо-транспортних пригод за видами	10
3. Розроблення графічних схем моделей процесів виникнення небезпечних ситуацій	12
4. Обґрунтування процесів формування травмонебезпечних і аварійних ситуацій автомобільного транспорту	14
5. Розробка і математична обробка логіко-імітаційної моделі виробничих небезпек	16
6. Математичне моделювання і оцінка рівня небезпеки виробничих процесів автомобільного транспорту	19
ВИСНОВКИ	21
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	23

ВСТУП

Автомобільний транспорт на сьогодні є надзвичайно корисним для народного господарства, але і досить небезпечним з огляду на значну кількість дорожньо-транспортних пригод [1-3]. Автотранспортними засобами перевозять понад 60% загальних обсягів вантажів та 80% пасажирів Івано-Франківської області. У 2019 році обсяги автомобільних вантажних перевезень склали 14,1 млн.т вантажів, що на 12,5% більше обсягів попереднього року. Пасажирським автомобільним транспортом надано послуги понад 64 млн. пасажирів, з яких 5,3 млн. перевезено у міжміському, 19,8 млн. – у приміському, 39,3 млн. – у внутрішньоміському сполученні.

Мережа автомобільних доріг загального користування області становить 4,1 тис.км доріг з твердим покриттям, що у розрахунку на 1000 квадратних кілометрів території складає 296 км. За типами покриття доріг в області переважає шосе і гравійні дороги (понад 53% від загальної протяжності доріг) та дороги з асфальтобетонним покриттям (20%).

Аналіз динаміки показує з 2014 р. негативні процеси зростання кількості травмонебезпечних ситуацій – дорожньо-транспортних пригод з 2179 до 3336 випадків [14-15]. Спостерігається значний ріст загальної кількості травмованих (від 549 до 1037 осіб) і стабільна кількість за роками важких травмувань (105-147). Аналіз показника кількості травмованих осіб під час ДТП у районах області показав, що найбільше травмованих було у Долинському та Городенківському. ДТП найбезпечнішого характеру стаються на дорогах з найбільшою кількістю автомобілів – у м.Івано-Франківськ та на прилеглих автошляхах, тут сталося 26 смертельних травмувань; у Надвірнянському – 16, у Галицькому, Долинському та Тисменицькому по 11 травмованих; у Калуському – 9 та Богородчанському 6 осіб.

Отже, наукова робота «Прогнозування ДТП і моделювання травмонебезпечних ситуацій автомобільного транспорту» є актуальною і спрямована на розроблення методів запобігання травмонебезпечним та аварійним ситуаціям.

1. Оцінка рівня травматизму під час дорожньо-транспортних пригод і прогнозування параметрів управління умовами і безпекою праці

Всесвітня організація охорони здоров'я повідомила, що у світовому в ДТП щохвилини три людини отримують важкі травми. Дорожньо-транспортні пригоди є причиною важких травмувань щороку на планеті щонайменше 1,35 млн. осіб. Травмування під час ДТП є основною причиною загибелі людей віком 5–29 років. За офіційними даними, кожного року в Україні під час дорожньо-транспортних пригод травми різного ступеня тяжкості отримують близько 30-35 тис. осіб. За даними уряду, щороку з причини дорожньо-транспортних пригод Україна втрачає близько 70 млрд. грн., тобто близько 2 % внутрішнього валового доходу. Ситуація складна, оскільки травмовані працездатного віку, що негативно позначається на демографічному стані і економічному розвитку. Динаміку дорожньо-транспортних пригод у Івано-Франківській області показано у табл. 1 [9, 14-15].

Таблиця 1 – Динаміка дорожньо-транспортних пригод

Рік	Кількість дорожньо-транспортних пригод / інцидентів	Кількість потерпілих у інцидентах, осіб	З них	
			загинуло	поранено
2009	2536	579	88	491
2010	2411	457	71	386
2011	2070	467	89	378
2012	2464	521	111	410
2013	2247	541	87	454
2014	2179	665	117	549
2015	2267	852	119	733
2016	2650	884	105	779
2017	2935	1130	122	1008
2018	2945	1087	127	960
2019	3336	1184	147	1037

Аналіз динаміки показує з 2014 р. негативні процеси зростання кількості травмонебезпечних ситуацій – дорожньо-транспортних пригод з 2179 до 3336

випадків. Спостерігається значний ріст загальної кількості травмованих (від 549 до 1037 осіб) і стабільна кількість за роками важких травмувань (105-147).

Якщо оцінювати найбільше зростання кількості аварій за районами Івано-Франківської області, то тут лідерами є Галицький, Тисменицький, Городенківський, Снятинський та Яремчанський. У ситуаціях ДТП з потерпілими, то тут додаються ще райони такі райони, як Долинський, Богородчанський, Коломийський та Калуський. Аналіз показника кількості травмованих осіб під час ДТП у районах показав, що найбільше травмованих було у Долинському та Городенківському. Стососно важких травмувань під час аварій, то ДТП найбезпечнішого характеру стаються на дорогах з найбільшою кількістю автомобілів – Івано-Франківськ та прилеглі автошляхи під контролем патрульної поліції, тут сталося 26 смертельних травмувань; у Надвірнянському – 16, у Галицькому, Долинському та Тисменицькому по 11 травмованих; у Калуському – 9 та Богородчанському 6 осіб.

Дослідження динаміки показників ДТП дає змогу оцінити безпеку на дорогах, формулювати напрями покращення стану аварійності. На графіках 1-5 подано результати аналізу і прогнозування на майбутній період з аналітичними залежностями розвитку процесів за допомогою МС Ексель.

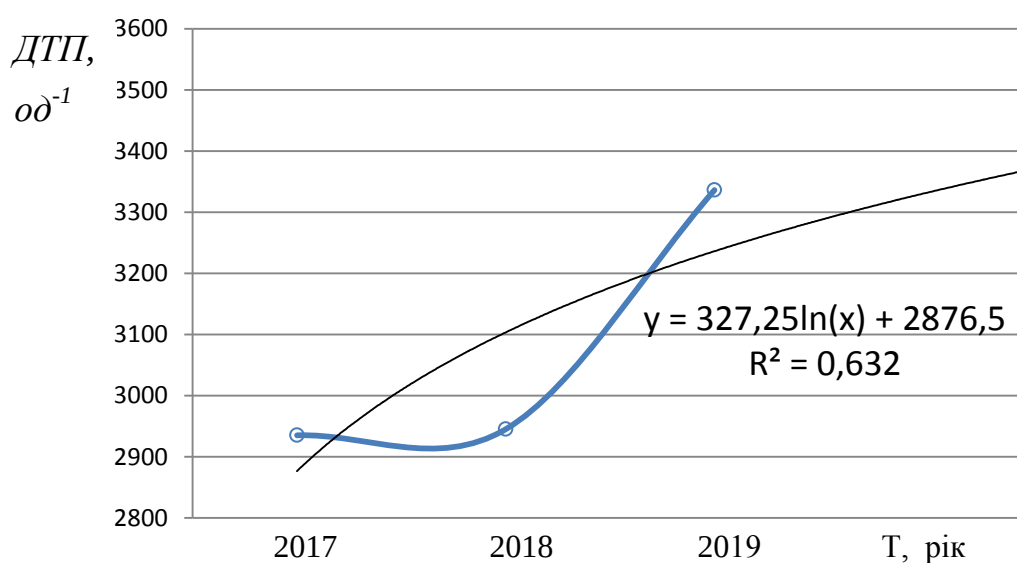


Рис 1. Динаміка ДТП у області.

Графік динаміки ДТП у області показує їх негативну динаміку зростання від 2935 до 3336, і прогнозування показує їх подальше збільшення за умови, якщо не буде зовнішніх впливів для виправлення ситуації – організаційних, законодавчих, технічних та ін. Для встановлення напрямів покращення ситуації потрібно проаналізувати кількість травмованих та причини загалом ДТП і травмувань.

Аналіз і прогнозування кількості травмованих у ДТП осіб з різними наслідками подано на рис. 2 (загальне) та 3 (летальне).

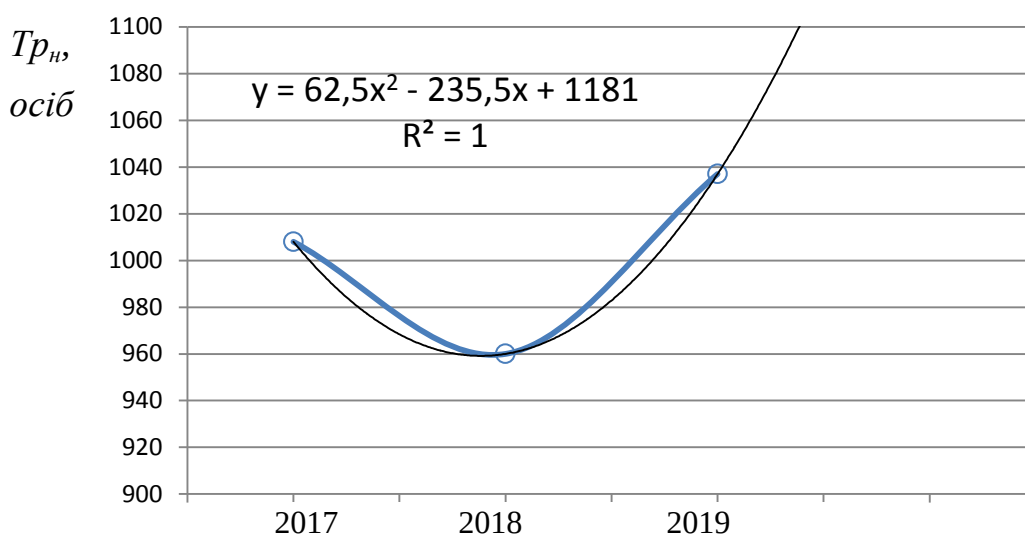


Рис. 2. Оцінка стану і прогнозування кількості потерпілих у ДТП осіб.

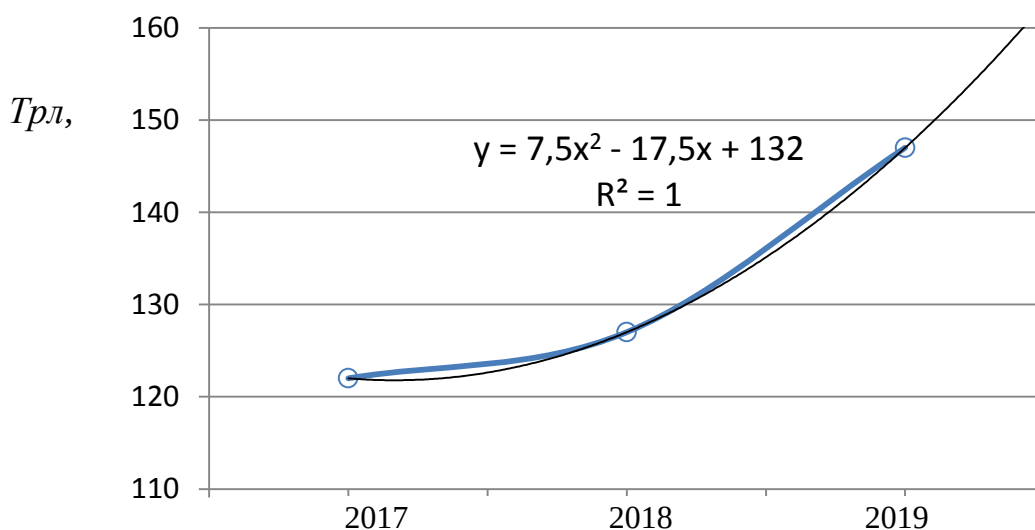


Рис. 3. Оцінка стану і прогнозування потерпілих у ДТП осіб з летальними наслідками.

Динаміка і прогнозування причин ДТП, що сталися через дії водіїв (перевищення швидкості, неправильна оцінка ситуації, порушення правил дорожнього руху і ін.) показані на рис. 4.

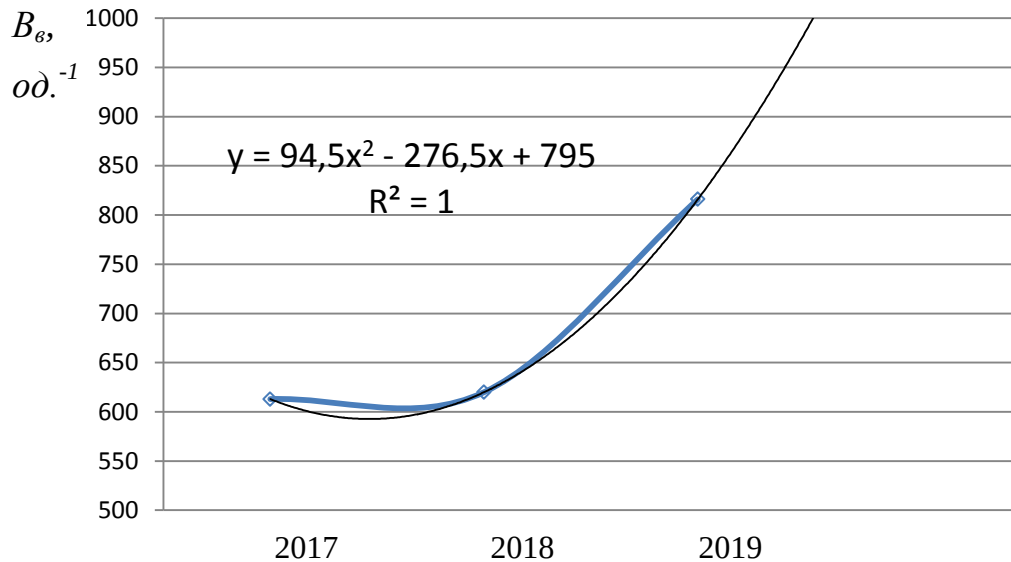


Рис. 4. Динаміка і прогнозування ДТП, що сталися через водіїв.

Графік динаміки подій і прогнозування показали, що кількість ДТП, що сталися через водіїв за досліджуваний період зросла – від 612 у 2017 р. до 830 у 2019 р. Тобто негативна тенденція зростання кількості небезпечних ситуацій зберігається. Динаміка і прогнозування причин ДТП, що сталися через дії водіїв автобусів показані на рис. 5.

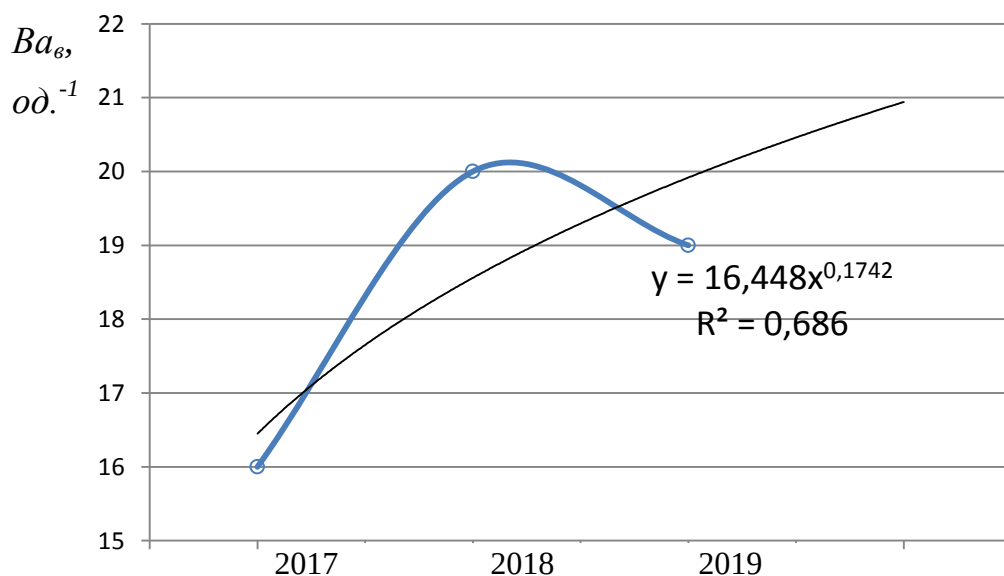


Рис. 5. Динаміка і прогнозування ДТП, що сталися через водіїв автобусів.

Аналіз стану дорожньо-транспортних пригод у області дав змогу побудувати графік їх динаміки (рис.1) за останні роки. Використання програми MS Ексель уможливило отримання математичної моделі дорожньо-транспортних пригод у вигляді логарифмічної функції з відповідною величиною достовірності апроксимації R^2 , а також прогнозування на майбутній період на основі аналізу побудованої лінії тренду графічної залежності:

$$y = 327,25 \ln(x) + 2876,5, \quad (1)$$

$$R^2 = 0,63.$$

Прогнозування кількості дорожньо-транспортних пригод в області на майбутнє показує негативну тенденцію до зростання за розвитку ситуації без впливу на наявні процеси і явища, що визначають стан і динаміку показника.

Результати дослідження кількості потерпілих через дорожньо-транспортні пригоди показали деяке коливання травмування працівників у останні роки (рис. 2) – від 1008 днів у 2017 р. до 960 у 2018 р. і далі до 1037 у 2019 р, що підтверджує негативну тенденцію зростання. Математичні моделі оцінки стану і прогнозування кількості осіб, що потерпілих у ДТП (формула 4 травмування, формула 5 важкі наслідки) отримана на основі побудови лінії тренду з прогнозуванням на майбутнє. Математичні моделі описуються квадратичними функціями з відповідною достовірністю апроксимації R^2 :

$$y = 62,5x^2 - 235,5x + 1181, \quad (2)$$

$$R^2 = 1$$

$$y = 7,5x^2 - 17,5x + 132 \quad (3)$$

$$R^2 = 1$$

Зростання кількості потерпілих з важкими наслідками від 122 у 2017 р. до 147 осіб у 2019 р. і прогнозування на майбутнє показує подальше зростання розвитку, що вимагає додаткових заходів для зміни негативної тенденції.

Дослідження причин дорожньо-транспортних пригод, що сталися з вини водіїв, і зокрема водіїв автобусів за звітний період у вигляді графічних

залежностей (рис.4-5), показано, як через водіїв зростає кількість ДТП від 613 у 2017 р. до 816 у 2019 р, через водіїв автобусів коливається з 16 у 2017 р. до 20 у 2018 р. і 19 у 2019 р. тобто незначно зростає і спадає за останні роки. Математичні моделі розвитку явищ одержують за рахунок побудови лінії тренду графіків, і для вона для випадку причинності водіїв автобусів є квадратичною функцією, відповідність якої підтверджується величиною достовірності апроксимації R^2 :

$$y = 94,5x^2 - 276,5x + 795, \quad (4)$$

$$R^2 = 1$$

Прогнозування причинності водіїв автобусів у дорожньо-транспортних пригодах на майбутнє виявило подальше зростання цього параметра, що є негативним явищем.

Побудована лінія тренду у програмі МС Ексель на графіку залежності динаміки і прогнозування дорожньо-транспортних пригод, що сталися через водіїв автобусів дала змогу отримати математичну модель у вигляді степеневі функції 5:

$$y = 16,448x^{0,1742}, \quad (5)$$

$$R^2 = 0,69$$

Аналіз графічних функції і їх математичних моделей прогнозу показує, що через водіїв стається невеликий відсоток аварій, а через водіїв автобусів значно менше, що свідчить про відповідний рівень кваліфікації і відповідальності. Негативна тенденція до зростання ДТП через водіїв потребує виправлення на основі удосконалення управління безпекою праці.

Також, за результатами статистичних даних відомо, що найбільшу кількість ДТП з постраждалими реєструють у літні місяці – червень та серпень, а найнебезпечнішими днями тижня у області є понеділок та п'ятниця. Пік аварійності виникає о 15:00, а найбільше аварій з важкими травмами стається о 18:00.

2 Аналіз динаміки причин дорожньо-транспортних пригод за видами

Аналіз причин дорожньо-транспортних пригод за видами дає змогу кількісно оцінити скільки інцидентів сталося з вини водіїв, а скільки з власників вулично-шляхової мережі, окремо реєструють інциденти з пішоходами та дітьми, важливими є показники умов незадовільного стану доріг, категорій доріг, вулиць. Також вказують показники аварій з вини водіїв автобусів, окремі показники показують травмування у населених пунктах, на дорогах, автодорогах державного значення, а також з вини ліцензованого транспорту та за участю ліцензованого транспорту. Важливими є показники вина у ДТП водіїв автобусів за місцем реєстрації автобуса, а також з вини водіїв автотранспорту через причину технічної несправності транспортного засобу, окремо вказують ДТП за участю дітей (потерпіли діти віком до 18 р.), окремо з вини дітей (потерпіли в ДТП діти до 18 р.), дітей пішоходів. Основними причинами автопригод у 2019 році в області є: перевищення безпечної швидкості руху транспортним засобом – 1007 автопригод; порушення правил безпеки маневрування – 891; недодержання дистанції на дорозі – 407 випадків; керування засобом у стані сп'яніння – 300 випадків; порушення правил безпеки проїзду перехресть – 139.

Причини скоєння дорожньо-транспортних пригод в Україні і їх динаміка подані у табл. 2 [14-15].

Таблиця 2 – Причини скоєння дорожньо-транспортних пригод і їх динаміка

Причини скоєння ДТП	ДТП з постраждалими								
	ДТП			загинуло			травмовано		
	2018	2019.	%	2018	2019	%	2018	2019	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Керування транспортним засобом у нетверезому стані	968	1216	25,6	87	106	21,8	1306	1616	23,7
Перевищення встановленої швидкості	575	576	0,2	162	127	-21,6	708	751	6,1
Перевищення безпечної швидкості	8279	8761	5,8	1502	1539	2,5	10351	10855	4,9
Невиконання вимог сигналів регулювання	306	338	10,5	11	15	36,4	436	459	5,3
Порушення правил перевезення пасажирів	110	86	-21,8	5	8	ріст	120	94	-21,7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Порушення правил маневрування	5252	5676	8,1	550	594	8,0	6682	7128	6,7
Порушення правил проїзду пішохідних переходів	1602	1673	4,4	87	108	24,1	1662	1674	0,7
Порушення правил надання безперешкодного проїзду	261	264	1,1	30	21	-30,0	411	392	-4,6
Порушення правил обгону	289	317	9,7	60	60	0,0	493	540	9,5
Виїзд на смугу зустрічного руху	830	778	-6,3	232	234	0,9	1622	1449	-10,7
Порушення правил проїзду перехресть	1911	2132	11,6	80	92	15,0	2790	3060	9,7
Управління несправним транспортним засобом	82	67	-18,3	12	8	-33,3	99	82	-17,2
Недодержання дистанції	1716	1967	14,6	108	128	18,5	2344	2662	13,6
Перевтома, сон за кермом	79	90	13,9	22	27	22,7	94	121	28,7
Перехід у невстановленому місці	1057	1102	4,3	230	216	-6,1	865	942	8,9
Неочікуваний вихід на проїзну частину	510	511	0,2	100	99	-1,0	424	427	0,7
Пішохід у нетверезому стані	110	120	9,1	20	17	-15,0	92	102	10,9
Порушення техніки безпеки пасажиром	92	79	-14,1	6	6	0,0	89	75	-15,7

Причини мають важливе значення для аналізу ДТП, оскільки їх вивчення дає змогу планувати відповідні заходи для зниження конкретного виду дій, які є досить небезпечними для учасників дорожнього руху. Аналіз причин показав, що за останні роки основними є перевищення безпечної швидкості (з 8279 у 2018 р. до 8761 у 2019 р), порушення правил маневрування (з 5252 у 2018 р. до 5676 у 2019 р), порушення правил проїзду пішохідних переходів (з 1602 у 2018 р. до 1637 у 2019 р), порушення правил проїзду перехресть (з 1911 у 2018 р. до 8761 у 2019 р), недодержання дистанції (з 1716 у 2018 р. до 1967 у 2019 р), перехід у невстановленому місці (з 1057 у 2018 р. до 1102 у 2019 р), керування транспортним засобом у нетверезому стані (з 968 у 2018 р. до 1216 у 2019 р) та ін.

Аналіз динаміки причин показав, що за останні роки найбільшого зростання зазнали такі причини – керування транспортним засобом нетверезим водієм (+25%) або 248 випадків, недодержання дистанції (+14,6%) або 251 випадок, перевтома і засинання за кермом (+13,9%) +11, порушення

правил проїзду перехресть (+11,65) +221, порушення правил обгону (+9,7%) +28, участь у ДТП пішоходів у нетверезому стані (+9,1%) +10, порушення правил маневрування (+8,1%) або 424 випадки, перевищення безпечної швидкості (+5,8%) або 482 випадки та ін.

Кожне дослідження ДТП має велике значення, особливо у підприємствах автомобільного транспорту, оскільки дає змогу встановити причини, через які виникла небезпечна подія, проаналізувати їх і у межах підприємства чи галузі запровадити коректуючі дії, вплив яких на причину суттєво знизить її рівень. За результатами дослідження причин дорожньо-транспортних пригод моделюють процеси формування травмонебезпечних ситуацій, що також сприяє плануванню заходів запобігання виробничого травматизму.

3. Розроблення графічних схем моделей процесів виникнення небезпечних ситуацій

Передумови і обставини виникнення небезпечних ситуацій під час функціонування галузі автомобільного транспорту, а саме технічного обслуговування, ремонту, транспортних робіт характеризується такими поняттями як небезпечна зона – це простір, у якому можлива дія на працівника небезпечного і/або шкідливого виробничого чинника (механічні передачі, переробне обладнання, пневматичні системи тощо); небезпечна дія – це така дія оператора, яка не відповідає науково обґрунтованим нормам професійної поведінки під час виробничого завдання; небезпечні умови визначаються недоліками конструкцій автомобілів, агрегатів, технологічного обладнання і процесів, низьким рівнем організації виробництва тощо.

Кожний небезпечний чинник незалежно від його виду, рівня та інших властивостей має певну зону своєї дії. Якщо розміри цієї зони мають чітко фіксовані значення то її можна вважати постійною. Якщо в процесі роботи така зона може змінюватись в наслідок зміни рівня небезпечного чинника,

його приміщень у просторі, то вона буде змінна [4-8, 16].

У деяких випадках (під час аварійних ситуацій) небезпечний виробничий чинник може значно виходити за межі визначеної (фіксованої) зони. При цьому небезпека травмування працюючого виникає уже за межами небезпечної зони, що була встановлена заздалегідь. Ось чому кожен працюючий у галузі автомобільного транспорту на робочому місці повинен добре знати про таку небезпеку.

Розглянемо процес формування і виникнення травмонебезпечних, аварійних та катастрофічних ситуацій на схемі рис. 6 [6-7].

Зі схеми видно, що працюючий, допускаючи небезпечну дію, потрапляє у небезпечні обставини, за яких на нього може діяти небезпечний чинник за певних небезпечних умов. Таким чином створюється інша подія, що має назву небезпечної ситуації. Усі явища, що формують небезпечну ситуацію, мають певну достовірність виникнення, тобто небезпечні умови, небезпечні дії, небезпечні ситуації, а також наслідки таких ситуацій: аварія (пошкодження механізму, машини, пристрою, споруди під час роботи, руху), травма (пошкодження анатомічної цілісності організму людини будь-яким небезпечним виробничим чинником) та сприятлива подія належать до випадкових явищ.

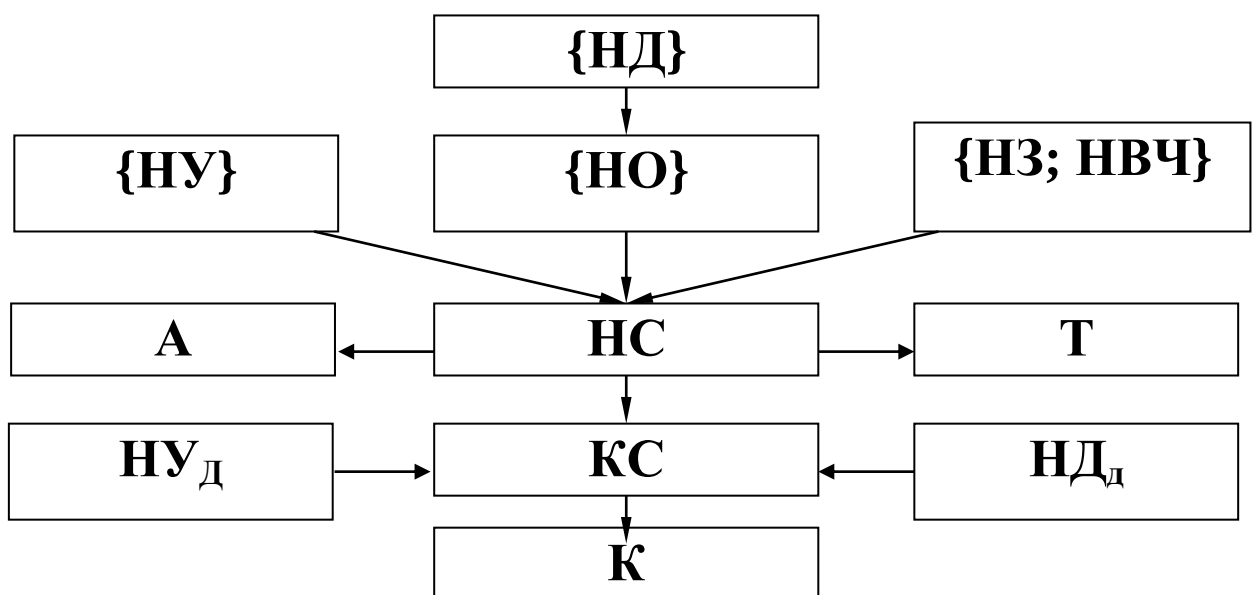


Рис. 6. Загальна схема процесу формування і виникнення небезпечних, аварійних та катастрофічних ситуацій.

Факт пошкодження здоров'я (наслідок) людини від дії небезпечного чинника (при виконанні трудових обов'язків або завдань керівника робіт) кваліфікується як нещасний випадок.

При встановленні причинно-наслідкових зв'язків між подіями, що призвели до травми працівника, необхідно розрізняти поняття "нещасний випадок" і "травма". Травма є випадковою подією (явищем) внаслідок дії небезпечного виробничого чинника на людину. Поняття "нещасний випадок" пояснює достовірність факту виникнення травми, а тому його вважати окремою подією не можна.

4. Обґрунтування процесів формування травмонебезпечних і аварійних ситуацій автомобільного транспорту

Розробка та впровадження на автомобільному транспорті ефективних заходів запобігання аварійних, травмонебезпечних ситуацій (в основному ДТП і ін.) можливі лише завчасно виявивши такі небезпеки, з яких розпочинаються процеси формування небезпек. Тому обґрунтування процесів формування на робочих місцях автомобільного транспорту небезпечних і аварійних ситуацій має досить важливе значення.

У майстернях, постах технічного обслуговування, інших робочих місцях обстежують стан безпеки і оцінюють відповідність вимогам стандартів безпеки, встановлюють розбіжності з проектами і недоліки, пишуть приписи за умовами експлуатації тощо. Також фіксують характер небезпечних виробничих чинників, виявлених і ймовірних під час роботи, аварійних, травмонебезпечних, катастрофічних ситуацій. За можливості визначають небезпечні рівні, ймовірності подій. Для кожного виробничого небезпечного чинника встановлюють суму умов (небезпек), за яких проявляється дія небезпек на людину. Для найбільш деяких травмонебезпечних ситуацій підприємств автомобільного транспорту їх фіксують у табл. (3) [2-3].

Таблиця 3 - Аналіз травмонебезпечних ситуацій у підприємствах
автомобільного транспорту

Вид роботи, виробн. підрозділ	Виробнича небезпека			Можливі наслідки	Заходи для запобігання
	Множина небезпечних умов НУ	Множина небезпечних дій НД	Небезпечна ситуація НС		
Ремонтні роботи у майстерні	НУ ₁ – робота з підвищеною небезпекою; НУ ₂ – вихід з ладу агрегату.	НД – зварювання з несправним агрегатом.	НС ₁ – вибух балона газозварювальної установки; НС ₂ – займання горючих матеріалів	Т – Травма. П – пожежа.	Контроль і перевірка стану технічних засобів Інструктаж з охорони праці.
Модель	$\begin{array}{l} \text{НУ}_1 \longrightarrow \\ \text{НУ}_2 \longrightarrow \end{array}$	$\begin{array}{l} \text{НД} \searrow \\ \longrightarrow \end{array}$	$\text{НС}_1 \longrightarrow \text{НС}_2 \longrightarrow$	Т, П	
Перевезення вантажів	НУ – потреба обслуговування причепа на висоті.	НД ₁ – затентування причепа; НД ₂ – відсутність страхувальних засобів.	НС ₁ – падіння з висоти. НС ₂ – падіння на тверду поверхню. НС ₃ – падіння на інші тверді конструкції на поверхні.	Т – Травма.	Організувати контроль безпеки верстату перед роботою; проводити інструктажі з техніки безпеки.
Модель схема	$\text{НУ} \begin{array}{l} \nearrow \\ \searrow \end{array}$	$\begin{array}{l} \text{НД}_1 \searrow \\ \text{НД}_2 \searrow \end{array}$	$\text{НС}_1 \longrightarrow \text{НС}_2 \longrightarrow \text{НС}_3 \longrightarrow$	Т	
Перевезення пасажирів автобусом	НУ ₁ – важкі погодні умови. НУ ₂ – недостатнє освітлення.	НД ₁ – не закриття дверей. НД ₂ – рух з відкритими дверима;	НС ₁ – випадання пасажирів під час руху; НС ₂ – випадання вантажу пасажирів під час руху.	Т – Травма. А – аварія.	Перевіряти стан транспортних засобів перед і під час роботи. Проводити інструктажі безпеки перевезення пасажирів.
Модель	$\begin{array}{l} \text{НУ}_1 \longrightarrow \\ \text{НУ}_2 \longrightarrow \end{array}$	$\begin{array}{l} \text{НД}_1 \searrow \\ \text{НД}_2 \searrow \end{array}$	$\text{НС}_1 \longrightarrow \text{НС}_1 \longrightarrow$	Т	

Наприклад, для операції транспортування вантажів чи перевезення пасажирів небезпечні умови встановлюють за результатами розслідування травмонебезпечних ситуацій – складні погодні умови, недостатнє освітлення,

роботи підвищеної небезпеки, з відкритим вогнем, на висоті, раптовий вихід з ладу машини, агрегату, тощо, за допомогою логічних взаємозв'язків знаходять небезпечні дії операторів (часто подій, що відбулись, а також прогнозують ймовірні у майбутньому, знаючи небезпечні чинники і обставини). Після виникання чи встановлення небезпечних обставин, інших умов та дій, що можуть бути зв'язані з першою умовою, прогнозують небезпечні ситуації і їх наслідки. Для аналізу розвитку небезпечних подій у таблиці, зафіксованим подіям надають схематичні позначення і нумерують індексами. Таким чином будують графічні схеми моделі виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій автомобільного транспорту. Вивчення причин, небезпечних умов, дій та ситуацій дає змогу знаходити першу подію, з процесами формування небезпечних ситуацій і у останній колонці таблиці вказують перелік заходів запобігання – організаційного чи технічного характеру.

5. Розробка і математична обробка логіко-імітаційної моделі виробничих небезпек

Аналіз і дослідження небезпечних ситуацій у галузі автомобільного транспорту дають змогу будувати графічні і складніші – логіко-імітаційні моделі травмонебезпечних подій [2-3].

Під час процесів формування, виникнення аварій та виробничих травм різні випадкові події чи явища пов'язані причинно-наслідковими зв'язками утворюють логіко-імітаційну модель (рис.7), яка складається з базових подій, позначених кругами, проміжних розкритих подій - прямокутниками і нерозкритих - ромбами. Причинно-наслідкові зв'язки передбачають використання операторів «І» та «АБО», які дають змогу обчислювати ймовірність настання подій. Відповідно ця модель з операторами різних систем уможлиблює математичну обробку моделі і одержання значення ймовірності випадкових подій: аварії чи травмування.

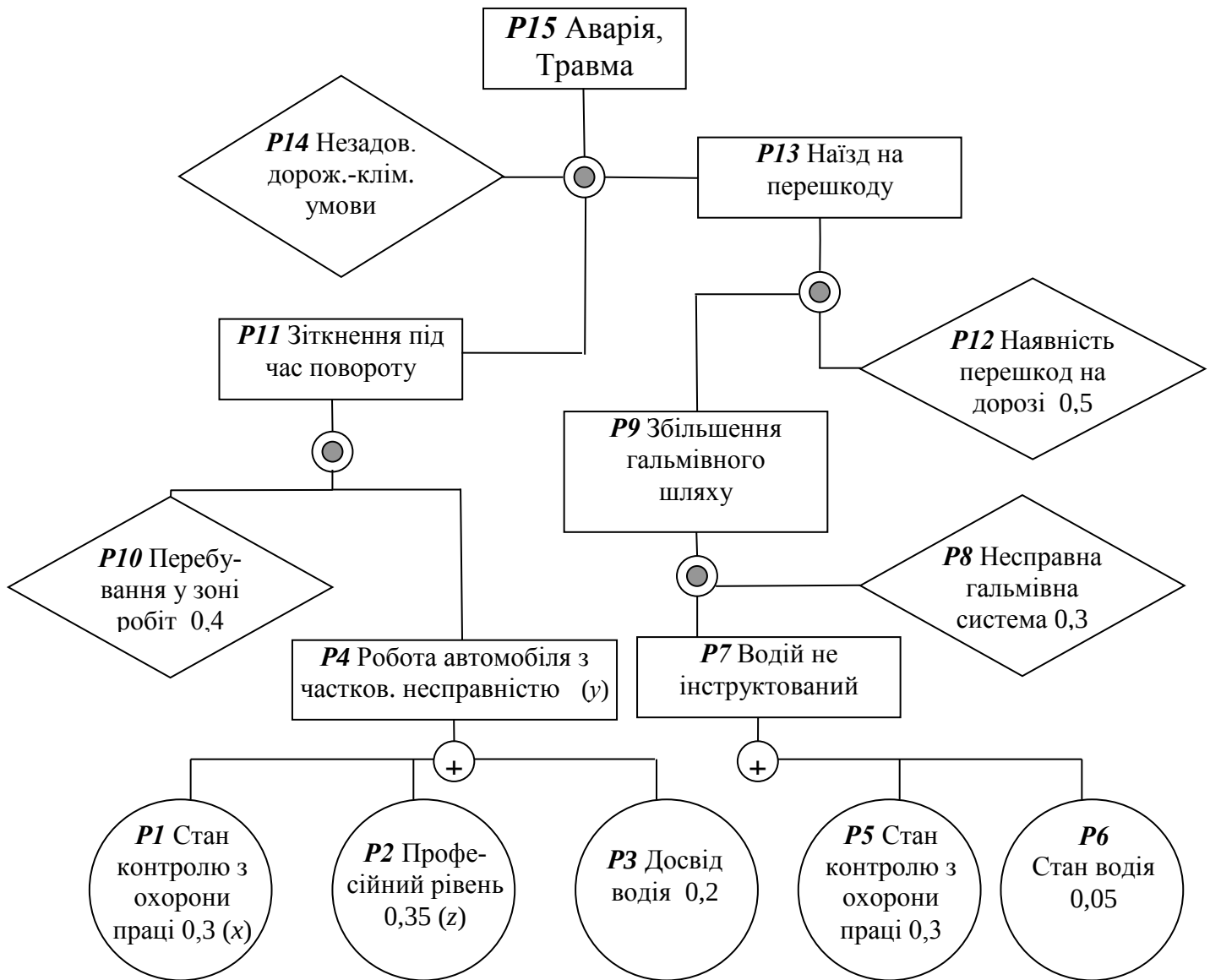


Рис.7. Логіко-імітаційна модель травмонебезпечної ситуації під час транспортних робіт.

Небезпечні умови та небезпечні дії, виявлені на об'єктах виробництва, є базовими подіями логіко-імітаційної моделі, а проміжні розкриті і нерозкриті встановлюють за результатами аналізу актів розслідування чи логічного аналізу розвитку ситуації (рис. 7). Модель виробничого травматизму під час транспортних робіт розвивається наступним чином – використовуваний автомобіль є частково несправним або вийшов з ладу внаслідок технічних недоліків. У логіко-імітаційній моделі головною подією є травмування водія під час аварійної небезпечної ситуації. До базових подій належать стан

контролю безпеки праці, досвід і стан водія, контроль безпечності автомобіля та ін. До нерозкритих подій, зображених ромбом, належать ті, які виникають незалежно від розвитку ситуації – перебування посторонніх у зоні робіт, наявність перешкод на дорозі, що можуть спричинити додаткові небезпечні умови у розвитку травмонебезпечної ситуації.

Логіко-імітаційна модель небезпечної ситуації, складена з випадкових подій, які бувають статистично залежні між собою (попередня подія є причиною появи наступної) або незалежними (подія виникає незалежно від попередньої). Відповідно, незалежні випадкові події, зображують одну біля одної (паралельно), а залежні події – послідовно.

Оцінення рівня безпеки у побудованій моделі передбачає математичну обробку, тобто за формулами Булевої алгебри визначають ймовірності подій [2-3. 9-13]. Починають визначати з базових подій знизу-вверх – враховують оператори зав'язків між подіями і закінчують головною. Значення базових подій отримують з виробництва, з даних наукових досліджень або стандартів. Розглянемо подію “стан контролю безпеки”. Для визначення ймовірності треба визначити наскільки відсотків від ідеального контролюють безпеку на об'єкті. Якщо рівень контролю 60 чи 10%, то ймовірність буде становити відповідно 0,6 і 0,1. Тобто, за відсутності контролю безпеки ймовірність “не здійснення контролю” буде 1, ідеального контролю ймовірність “не здійснення контролю” буде рівна 0.

Для обчислення ймовірності X подій, як зазначали вище, застосовуємо формули Булевої алгебри. Для двох базових подій P_1 і P_2 і оператора “І” виникає інша подія P_3 , ймовірність якої визначають за формулою їх добутку:

$$P_3 = P_1 \cdot P_2 \quad (6)$$

Якщо з оператором “І” події з ймовірностями P_1 , P_2 і P_3 формують іншу випадкову подію P_4 , то її ймовірність можна також визначити за формулою їх добутку:

$$P_4 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \quad (7)$$

З оператором “АБО” базових подій P_1 і P_2 ймовірність нової події P_3 можна визначити за такою формулою:

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 \quad (8)$$

У разі, якщо оператор “АБО” трьох подій з ймовірностями P_1 , P_2 і P_3 формує нову подію, то її ймовірність P_4 можна визначити за формулою:

$$P_4 = P_1 + P_2 + P_3 - P_1 P_2 - P_1 P_3 - P_2 P_3 + P_1 P_2 P_3. \quad (9)$$

За наявності оператора “АБО”, який формує чотири і більше подій відомих ймовірностей, для спрощення розрахунків згруповують по дві чи три події і далі визначають за наведеними формулами.

Для визначення ймовірності виробничого травматизму подій моделі (рис.7.) транспортних робіт приймаємо такі значення: $P_1 = 0,25$; $P_2 = 0,3$; $P_3 = 0,25$; $P_5 = 0,1$; $P_6 = 0,05$; $P_8 = 0,2$; $P_{10} = 0,3$; $P_{12} = 0,4$; $P_{14} = 0,25$, і за формулами (6–9) розраховують значення інших $P_4 = 0,64$; $P_7 = 0,34$; $P_9 = 0,15$; $P_{11} = 0,2$; $P_{13} = 0,05$; $P_{15} = 0,0025$, отже на 100 робочих місць може виникнути 0,25 травм.

6. Математичне моделювання і оцінка рівня небезпеки виробничих процесів автомобільного транспорту

Щоб дослідити вплив подій моделі на виникнення головної – травмування чи аварій ймовірності аналізованих базових подій позначають як невідомі величини: X – “стан контролю з охорони праці”; Y – “вихід з ладу агрегата”; Z – “професійний рівень працівника”.

Далі визначають ймовірність головної події за схемою математичної обробки, але замість значення підставляють невідоме, відповідно X , Y чи Z . Після обчислення на логіко-імітаційній моделі (рис. 7) одержують рівняння залежності базових подій на ймовірності появи головної події “травма чи аварія”:

$$P_{15}(X) = 0,0024 + 0,0065 x. \quad (10)$$

При значення $X = 0$ $P_{15} = 0,0024$, а за $X = 1$ $P_{15} = 0,0089$.

Розрахунок показав, що за гіршого контролю безпеки праці (у порівнянні з наявним у підрозділі) очікують значного зростання ймовірності головної події, за покращення контролю безпеки, значення ймовірності головної події знижується в більш ніж 4 рази.

$$P_{15}(Y) = 0,0063y. \quad (11)$$

Якщо $Y = 0$, то $P_{15} = 0$, а за $Y = 1$ $P_{15} = 0,0063$.

Мінімальна ймовірність P_4 (вихід з ладу автомобіля) призводить до того, що головно події не станеться, за умови, що $Y = 1$ і $P_{15} = 0,006$ небезпека травмування стає значною.

$$P_{15}(Z) = 0,0034z + 0,0025. \quad (12)$$

Якщо $Z = 0$, то $P_{15} = 0,0025$, а за $Z = 1$ $P_{15} = 0,0059$.

У разі низького професійного рівня працівників ($Z = 1$), ймовірність травмування підвищується, за інших умов знижується.

Графічна залежність, що показує, як ймовірність “травмування” $P_c(N)$ змінюється при зміні ймовірностей подій ($P(X)$ - “стан контролю з охорони праці”, $P(Y)$ - “вихід з ладу”, $P(Z)$ - “професійний рівень працівників” для умов операції транспортування показано на рис.8.

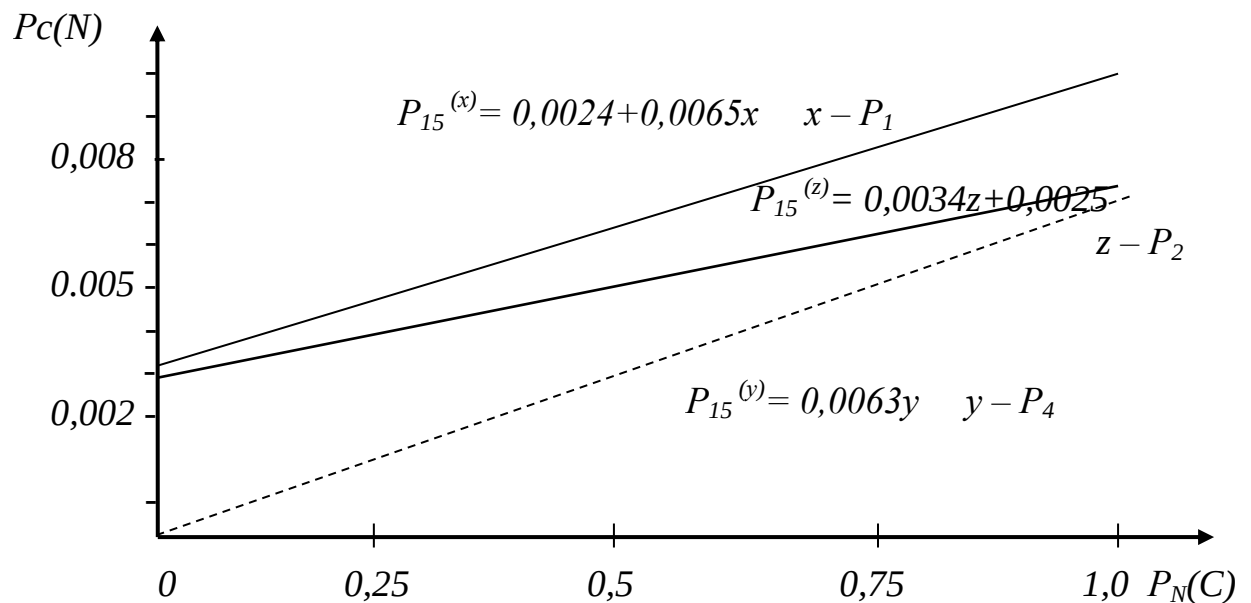


Рис.8. Залежність ймовірності аварійної ситуації від ймовірностей базових подій транспортування вантажів.

Результати розрахунку логіко-імітаційної моделі (рис.7) показали, що травмування на місці роботи, за умов описаних у моделі, під час транспортних робіт на 100 таких робочих місць може статися 0,25 травми.

Математичні моделі дають змогу оцінювати вплив ймовірностей подій з яких починаються небезпеки і їх вплив на наслідок – травматизм чи аварійність, це дає змогу розраховувати складніші випадки, планувати заходи, які спрямовані на випередження розвитку небезпечних виробничих процесів.

ВИСНОВКИ

1. Динаміка дорожньо-транспортних пригод у області має негативну динаміку до зростання від 2935 до 3336 випадків, а прогнозування показало подальше збільшення, тому потрібно планувати і створювати зовнішні впливи для нормалізації ситуації – організаційні, законодавчі, технічні та ін.

2. Дослідження причин дорожніх пригод з вини водіїв автомобілів і автобусів показав зростання кількості інцидентів з 613 у 2017 р. до 816 у 2019 р. Аналіз графічних і математичних моделей показав невеликий відсоток аварій, а з водіями автобусів значно менше, що показує, як відповідний рівень кваліфікації, так і інші чинники. Загальна негативна тенденція зростання ДТП з вини водіїв потребує удосконалення управління безпекою праці.

3. Результати статистичних досліджень показали найбільшу кількість ДТП у літні місяці – червень та серпень, в області найбільш небезпечними є понеділок та п'ятниця, щодо розподілу за годинами доби, то максимальна аварійність виникає в 15:00, а з важкими травмами в 18:00.

4. Проаналізовано причини ДТП, бо їх вивчення дає змогу впроваджувати заходи зниження небезпечних для учасників дорожнього руху дій. За останні роки основними порушеннями є перевищення безпечної швидкості (8279-8761 подій), проблеми під час маневрування (5252-5676), порушення на пішохідних переходах (1602-1637), порушення на перехрестях

(1911-8761), недостатня дистанція (1716-1967), керування транспортом у нетверезому стані (968-1216) та ін.

5. Оцінка динаміки причин за останні роки показала найбільше зростання таких подій – керування автомобілем нетверезим водієм (+25%) або додатково 248 випадків, недостатня дистанція (+14,6%) або 251 подій, стан втоми і перевтоми, що призвів до засинання за кермом (+13,9%) +11, не дотримання правил безпеки проїзду перехресть (+11,65) +221 подій, не дотримання правил обгону на дорозі (+9,7%) +28, порушення правил безпеки маневрування на автошляхах (+8,1%) або 424 інциденти, значне перевищення безпечної швидкості руху транспортного засобу (+5,8%) або 482 та ін.

6. Встановлено, що під час операцій транспортування виникають низка небезпечних умов, які виявлені за результатами розслідування травмонезбезпечних ситуацій – до них належать складні погодні умови, виконання операцій підвищеної небезпеки, недостатні параметри мікроклімату на робочому місці, роботи з відкритим вогнем (електрогазоварювання), роботи на висоті, вихід з ладу машин та агрегатів та ін. За допомогою логічних взаємозв'язків визначені небезпечні дії операторів, а також встановлені небезпечні обставини, інші умови та дії, що дає змогу прогнозувати небезпечні ситуації підприємств автомобільного транспорту.

7. Побудовано графічну схему процесів виникнення небезпечних ситуацій, а також логіко-імітаційну і математичні моделі. Розрахунок логіко-імітаційної моделі показав травмування у кількості 0,25 травм на 100 таких робочих місць. Математичні моделі показали вплив ймовірностей подій початку небезпек на наслідки – травматизм чи аварійність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Авраменко Н.Л., Березовецький А.П., Городецький І.М. і ін. Безпека трудових відносин в умовах реформування економіки України: / за наук. ред. доц. Федорчук-Мороз В. І. Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2019. 192 с.
2. Городецький І., Городецький В. Особливості формування небезпечних ситуацій під час керування автомобілем. *Студентська молодь і науковий прогрес в АПК*: тези допов. Міжнар. студ. наук. форуму. (Львів, 22-24 вер. 2020 р.). Львів, 2020. С. 342.
3. Городецький І. Аналіз схеми формування небезпечних подій у побуті / *Студентська молодь і науковий прогрес в АПК* : тези доп. Міжнар. студ. наук. форуму, 17-19 вер. 2019 р. Львів, 2019. С. 372.
4. Закон України “Про охорону праці”. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>. (Дата звернення 10.11.2020).
5. Кодекс законів про працю України / Документ 322-08. Ред. від 07.01.2017. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/322-08>. (Дата звернення 10.11.2019).
6. Лехман С.Д., Рубльов В.І., Рябцев Б.І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. К.: Урожай, 1993. 272 с.
7. Основи охорони праці: *навч. посібник* / Г. Г. Гогіташвілі, В. М. Лапін. 4-те вид., виправл. і доповн. К.: Знання, 2008. 302 с.
8. Пістун І.П., Березовецький А.П., Городецький І.М. Охорона праці на автомобільному транспорті: *навч. посіб.* Львів: Тріада плюс, 2009. 320 с.
9. Пістун І. П., Березовецький А. П., Трунова О. І. Охорона праці (практикум): *навч. посібник* / за ред. к.т.н., доц. І. П. Пістуна. Львів: Тріада плюс, 2011. 436 с.
10. Пістун І. П., Березовецький А. П., Тимочко В.О., Городецький І. М. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія): *навч. посібн.* / за ред. І.П.Пістуна. Ч. І. Львів: Тріада плюс, 2017. 620 с.

11. Пістун І. П., Тимочко В.О., Городецький І. М., Березовецький А. П. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія): *навч. посібн.* / за ред. І.П.Пістуна. Ч. II. Львів: Тріада плюс, 2011. 224 с.
12. Протоєрейський О. С, Запорожець О. І. Охорона праці в галузі: навч. посібник. К.: Книжкове вид-во НАУ, 2005. 268 с.
13. Правила охорони праці на автомобільному транспорті. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1299-12#Text> (дата звернення: 22.10.2020).
14. Статистичні дані виробничого травматизму за галузями у 2017-2019 рр. URL: <http://dsp.gov.ua/статистичні-дані-виробничого-травма-2/> (дата звернення: 22.09.2020).
15. Статистика дорожньо-транспортних пригод в Україні у 2017-2019 рр. URL: <http://patrol.police.gov.ua/statystyka/> (дата звернення: 22.09.2020).
16. Третьяков О.В., Зацарний В.В., Безсонний В.Л. Охорона праці: *Навч. посібник* / за ред. К.Н. Ткачука. К.: Знання, 2010. 167 с.

АНОТАЦІЯ

Актуальність теми. Аналіз динаміки травматизму з 2014 р. показав негативні процеси зростання кількості травмонебезпечних ситуацій на дорогах – дорожньо-транспортних пригод з 2179 до 3336 випадків. Спостерігається значний ріст загальної кількості травмованих (від 549 до 1037 осіб) і стабільна кількість за роками важких травмувань (105-147). Аналіз показника кількості травмованих осіб під час ДТП у районах Івано-Франківської області показав, що найбільше травмованих було у Долинському та Городенківському. ДТП найбезпечнішого характеру стаються на дорогах з найбільшою кількістю автомобілів – у м.Івано-Франківськ та на прилеглих автошляхах, тут сталося 26 смертельних травмувань; у Надвірнянському – 16, у Галицькому, Долинському та Тисменицькому по 11 травмованих; у Калуському – 9 та Богородчанському 6 осіб.

Тобто на автомобільному транспорті є велика кількість змінних та постійних небезпечних зон, травмонебезпечних передумов, небезпечних обставин та ситуацій, що призводять до аварій і травмувань. За результатами статистичних даних відомо, що найнебезпечнішими днями тижня у області є понеділок та п'ятниця. Пік аварійності виникає о 15:00, а найбільше аварій з важкими травмами стається о 18:00. Основними причинами автопригод у 2019 році в області є: перевищення безпечної швидкості руху транспортним засобом – 1007 автопригод; порушення правил безпеки маневрування – 891; недодержання дистанції на дорозі – 407 випадків; керування засобом у стані сп'яніння – 300 випадків; порушення правил безпеки проїзду перехресть – 139.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є удосконалення управління умовами та безпекою праці на автомобільному транспорті на основі моделювання травмонебезпечних ситуацій.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано і вирішено ряд наукових завдань, що включають:

1. Оцінка рівня травматизму під час дорожньо-транспортних пригод і прогнозування параметрів управління умовами і безпекою праці
2. Аналіз динаміки причин дорожньо-транспортних пригод за видами
3. Розроблення графічних схем моделей процесів виникнення небезпечних ситуацій
4. Обґрунтування процесів формування травмонебезпечних і аварійних ситуацій автомобільного транспорту
5. Розробка і математична обробка логіко-імітаційної моделі виробничих небезпек
6. Математичне моделювання і оцінка рівня небезпеки виробничих процесів автомобільного транспорту.

Методи дослідження: У роботі використані методи: узагальнення, системного аналізу та синтезу сукупної дії складових елементів процесу формування травмонебезпечних ситуацій.

Загальна характеристика наукової роботи. Структурно робота складається з вступу, шести розділів, висновків, списку використаної літератури. Загальний обсяг – 26 стор., кількість рисунків – 8, таблиць 3, використаних джерел – 16.

Ключові слова: автомобільний транспорт, травматизм, небезпека, моделювання, безпека.