

доходности, период окупаемости инвестиций. Приведен пример реализации модели рассмотренной задачи.

Ключевые слова: многокритериальная задача оптимизации формирования портфеля инвестиционных проектов, чистая нынешняя стоимость, внутренняя норма доходности.

Stadnyk Yu.A., Zhumik O.V. The multicriterion task of optimization of investment projects portfolio

The multicriterion task of optimization of investment projects portfolio is examined in the article. The objective functions of task are the values of criterion indexes of investment projects: net present cost, internal norm of profitability, period of return on investments. The example of realization of multicriterion task of construction of investment projects portfolio with the application of methodology of multicriterion optimization is described in the article.

Keywords: the multicriterion task of optimization of investment projects portfolio, net present value, internal rate of return.

УДК 631:331.4

Доц. Л.О. Тисовський, канд. фіз.-мат. наук –
НЛТУ України, м. Львів;
аспір. В.М. Степанишин – НУ "Львівська політехніка"

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАСОБАМИ МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ДЕРЖКОМЛІСГОСПУ УКРАЇНИ

Наведено зведену таблицю щодо травматизму на підприємствах Державного комітету лісового господарства за 2000-2009 рр. і на цій основі визначено причини та встановлено основні фактори, що впливають на рівень травматизму в галузі. Досліджено взаємозв'язок коефіцієнта частоти травматизму від об'єму заготовленої деревини (в т.ч. з летальними наслідками). Методами багатофакторного аналізу побудовано лінійне рівняння множинної регресії між кількістю травм і видами робіт.

Ключові слова: виробничий травматизм, коефіцієнт частоти виробничого травматизму, рівняння множинної регресії, коефіцієнт множинної кореляції, частковий коефіцієнт еластичності, стандартизований коефіцієнт регресії.

Постановка проблеми. Статистичне дослідження причин, наслідків та обставин виробничого травматизму (зокрема із летальними наслідками) на підприємствах окремих галузей господарського комплексу є теоретичною основою для формування комплексу заходів із запобігання травматизму в галузі та зниження його рівня.

Цілі досліджень. Метою дослідження є аналіз стану виробничого травматизму на підприємствах Державного комітету лісового господарства України за останні 10 років та розроблення на основі методів статистичного аналізу математичних моделей, що дають змогу оцінити вплив окремих факторів на відповідну результуючу ознаку.

Виклад основного матеріалу. У роботі [1] на основі щорічного державного статистичного спостереження форма №7-гнв "Звіт про травматизм на виробництві" (2000-2009 рр.) проведено системний аналіз виробничого травматизму на підприємствах Державного комітету лісового господарства України та виокремлено основні причини і фактори, що призводять до не-

щасних випадків. Результати статистичного аналізу можна представити у вигляді зведеної табл. 1.

**Табл. Статистичні дані виробничого травматизму на підприємствах
Держкомлісгоспу України**

Рік	Кількість травм	Смертельних	Коеф. частоти	К.ч. смерт.	Заготовля, тис. м ³	Витрати, всього, грн	Витрати на 1 особу	Кількість працівників	Перевірки всього	Перевірки на 1 особу
2000	167	13	1,7	0,14	9559	3267337	34	95260	4747	14,2
2001	142	13	1,5	0,14	11026	7892286	83	94999	4984	14,9
2002	174	10	1,9	0,11	10153	8622998	95	91016	5358	16
2003	146	16	1,6	0,18	11048	10680591	119	89580	5894	17,6
2004	129	9	1,5	0,1	12117	13150914	149	88000	6696	20
2005	132	16	1,5	0,18	12094	15378119	177	87027	7661	23
2006	154	12	1,9	0,15	12747	17712303	221	80064	8156	25
2007	129	16	1,7	0,21	13403	22262021	297	74931	9411	28,1
2008	93	9	1,4	0,13	12393	22124869	330	67058	10336	30,7
2009	80	10	1,3	0,16	11475	22687737	374	60668	10399	31,1

Рік	Професія (посада)						Стаж роботи за фахом				Вид робіт						
	лісоруб	водій	верстатник	стропальник	ІТП, майстер	інші	1-5 років	5-10 років	10-15 років	більше 15 років	лісосічні	транспортні	нижньоскладські	деревообробні	ремонтні	інші	
2000	58	35	33	18	9	14	77	35	22	33	56	34	18	31	15	13	
2001	54	27	31	17	6	7	89	19	17	17	50	29	16	30	9	8	
2002	59	31	33	19	13	19	90	34	21	29	59	33	18	41	15	8	
2003	54	26	27	15	14	10	76	28	18	24	46	26	15	32	13	14	
2004	44	25	23	13	9	15	62	29	17	21	44	20	12	36	6	11	
2005	53	22	25	11	8	13	79	18	14	21	45	27	15	20	11	14	
2006	57	29	26	14	13	15	96	25	16	17	55	32	17	18	13	19	
2007	45	26	23	13	11	11	71	24	15	19	53	26	13	15	11	11	
2008	25	19	10	10	16	13	58	13	10	12	39	21	10	10	7	6	
2009	25	18	10	5	16	6	37	19	11	13	33	15	7	10	8	7	

Зрозуміло, що переважна більшість величин в табл. мають випадковий (стохастичний) характер. Тому наступним етапом досліджень є встановлення певного кількісного чи функціонального зв'язку між окремими факторами та вивчення їх взаємовпливу. У роботі [2] наведено основні співвідношення кореляційно-регресійного аналізу та детально досліджено взаємозв'язок між об'ємом заготовленої деревини та коефіцієнтом частоти загального травматизму (травматизму із смертельним наслідком). Так, враховуючи числові дані табл. 1, отримуємо такі залежності коефіцієнта частоти травматизму (коефіцієнта частоти смертельних випадків) від об'єму заготовленої деревини (рис. 1, 2).

Коефіцієнти кореляції в цьому випадку є досить малими (0,013 – для загального травматизму; 0,411 – для травматизму із летальними наслідками), що свідчить про відсутність лінійного зв'язку між досліджуваними факторами. Показано, що найкраще в розглядуваному випадку криву кореляції пред-

ставляти поліномом четвертої степені. Досліджували також залежності коефіцієнта частоти травматизму від витрачених коштів на охорону праці на одного працюючого та кількості перевірок, обстежень (приписів) в розрахунку на одного спеціаліста з охорони праці.

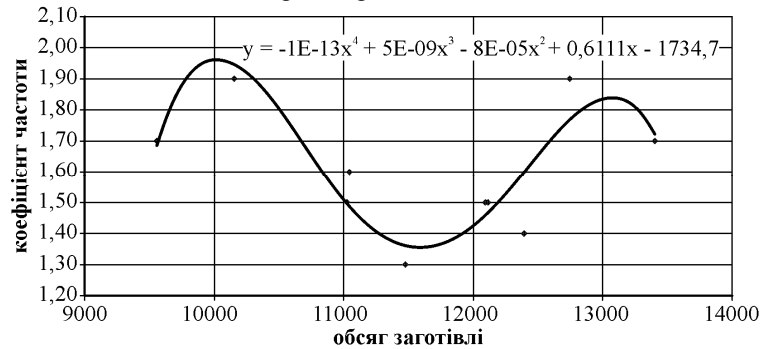


Рис. 1. Залежність коефіцієнта частоти травматизму від обсягу заготівлі

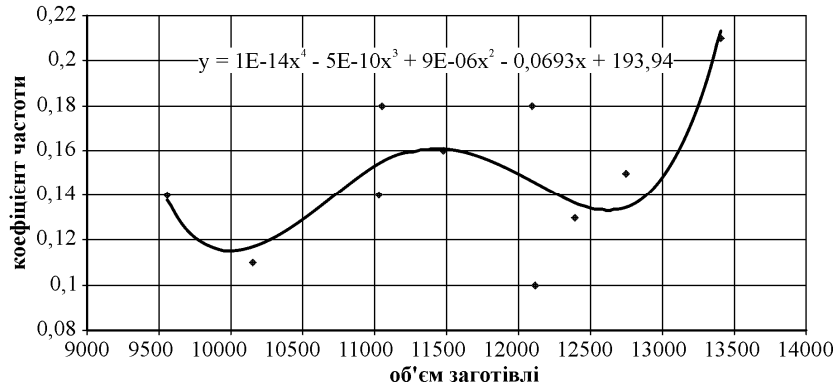


Рис. 2. Залежність коефіцієнта частоти смертельних випадків від об'єму заготовленої деревини

У реальних виробничих умовах рівень травматизму рідко коли залежить від одної причини. Зазвичай, визначальний фактор зумовлюється кількома різними чинниками, між якими не можна встановити явного зв'язку. У роботі [3] на основі методів багаторфакторного кореляційно-регресійного аналізу створено математичну модель процесу чи явища, яка дає змогу оцінити ступінь впливу на досліджуваний результативний показник кожного із введених у модель факторів при фіксованому положенні на середньому рівні інших чинників. Застосуємо отримані результати до моделювання виробничого травматизму на підприємствах Держкомлісгоспу України.

Раніше [1] було встановлено, що найбільш травмобезпечними видами робіт у лісопромисловому комплексі є лісосічні (X_1), транспортні (X_2), нижньоскладські (X_3), деревообробні (X_4), ремонтні (X_5) та всі інші (X_6). Якщо в ролі результуючого фактора $\hat{Y}$ вибрати кількість травм за відповідний рік, то рівняння множинної регресії можна представити у такому вигляді:

$$\hat{Y} = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 + a_6X_6,$$

де $a_i (i=0,1,\dots,6)$ – параметри, що підлягають визначенню.

Використавши стандартну процедуру методу найменших квадратів на основі даних табл. 1 для оцінки параметрів регресійного рівняння отримаємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} 10a_0 + 480a_1 + 263a_2 + 141a_3 + 243a_4 + 108a_5 + 11a_6 = 1346 \\ 480a_0 + 23638a_1 + 13044a_2 + 7008a_3 + 12116a_4 + 5367a_5 + 545a_6 = 66624 \\ 263a_0 + 13044a_1 + 7257a_2 + 3902a_3 + 6695a_4 + 2990a_5 + 3025a_6 = 36913 \\ 141a_0 + 7008a_1 + 3902a_2 + 2105a_3 + 3659a_4 + 1606a_5 + 1633a_6 = 19913 \\ 243a_0 + 12116a_1 + 6695a_2 + 3659a_3 + 7011a_4 + 2751a_5 + 2732a_6 = 34964 \\ 108a_0 + 5367a_1 + 2990a_2 + 1606a_3 + 2751a_4 + 1260a_5 + 1255a_6 = 15229 \\ 11a_0 + 545a_1 + 3025a_2 + 1633a_3 + 2732a_4 + 1255a_5 + 13044a_6 = 15473 \end{cases}$$

Розв'язок цієї системи:

$$a_0 = 3,391954; a_1 = 1,389698; a_2 = -2,58218; a_3 = 7,326673; a_4 = 0,447352; a_5 = 1,686319; a_6 = 0,002254.$$

Довірчі інтервали для параметрів регресійного рівняння за рівня надійності 50 % в розглядуваному випадку є такими:

$$\begin{aligned} -33,0553 < a_0 < 39,83916; 1,282383 < a_1 < 1,497012; -4,05362 < a_2 < -1,11075; \\ 3,867884 < a_3 < 10,78546; 0,418083 < a_4 < 0,47662; 1,433703 < a_5 < 1,938935; \\ 0,001682 < a_6 < 0,002827. \end{aligned}$$

Коефіцієнт множинної кореляції становить: $R=0,998347$, тобто є близьким до одиниці, що свідчить про те, що взаємозв'язок між показниками є досить щільним. Зазначимо при цьому, що в деяких випадках при дослідженні багаторфакторних процесів доцільно визначити ступінь зв'язку між окремими факторами попарно. Для встановлення щільності зв'язку між двома з досліджуваних факторів (без врахування їх взаємодії з іншими змінними) застосовуються парні коефіцієнти кореляції. Для розглядуваного випадку отримуємо таку матрицю парних коефіцієнтів кореляції:

	$\bar{Y}$	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
$\bar{Y}$	1	0,924931	0,920582	0,924931	0,761114	0,872718	0,496219
X_1		1	0,931312	0,907723	0,555764	0,773504	0,41785
X_2			1	0,971447	0,495811	0,838475	0,476163
X_3				1	0,647131	0,795386	0,521709
X_4					1	0,393458	0,086676
X_5						1	0,482574
X_6							1

Зазначимо, що така модель загалом є адекватною, оскільки розрахункова статистика Фішера $F=150,8636$, а табличне значення статистики Фішера з рівнем надійності 95 % і ступенем свободи 6 та 3: $F_{0,95}(6,3) = 8,94$.

За рівня надійності 0,5 значущими є всі коефіцієнти рівняння множинної регресії, оскільки в цьому випадку табличне значення критерію Стюдента $t(0,25;3)=0,765$, а відповідні розрахункові значення для коефіцієнтів рівняння

множинної регресії: $t_0=0,491415$; $t_1=3,710408$; $t_2=-1,86186$; $t_3=3,445684$; $t_4=2,287074$; $t_5=2,93454$; $t_6=0,082424$.

За рівня надійності 95 % ($t(0,025;3)=3,182$) значущими залишаються лише два коефіцієнти a_1 , a_3 . Розрахункове значення статистики для коефіцієнта множинної кореляції 30,08623 за табличного 3,182, тобто ця характеристика є достовірною.

Знаючи рівняння регресії, не можна встановити, який з факторів найбільше впливає на результативну ознаку, а також неможливо визначити, яка з факторних ознак має найбільші резерви для зміни результативного показника. З метою виявлення порівняльного зв'язку і впливу окремих факторів та тих резервів, що в них закладені, обчислювали часткові коефіцієнти еластичності, а також β -і Δ -коефіцієнти.

Частковий коефіцієнт еластичності ε_i вказує, на скільки відсотків у середньому зміниться результативна ознака із зміною на 1 % фактора X_i за фіксованого значення інших параметрів. У розглядуваному випадку: $\varepsilon_1=0,495583$; $\varepsilon_2=-0,50454$; $\varepsilon_3=0,767504$; $\varepsilon_4=0,080763$; $\varepsilon_5=0,135306$; $\varepsilon_6=0,000186$, тобто, до найбільшого травматизму (Y) на підприємствах лісової галузі призводять нижньоскладські (X_3), транспортні (X_2) та лісосічні роботи (X_1).

β -коефіцієнт (стандартизований коефіцієнт регресії) використовується для визначення факторів, які мають найбільший резерв для покращення результативної ознаки з урахуванням відмінностей ступеня варіації факторів, закладених у рівняння множинної регресії. Він показує, на яку частину середньоквадратичного відхилення змінюється результативна ознака в разі зміни відповідної факторної ознаки на значення її середньоквадратичного відхилення. У розглядуваному випадку: $\beta_1=0,381277$; $\beta_2=-0,53427$; $\beta_3=0,888758$; $\beta_4=0,166924$; $\beta_5=0,18304$; $\beta_6=0,000304$, звідки випливає, що найбільше резервів для покращення результативного показника містять нижньоскладські (X_3), транспортні (X_2) і лісосічні роботи (X_1).

Δ -коефіцієнт показує, яка частина вкладу досліджуваного фактора в сумарний вплив всіх відібраних факторів. У розглядуваному випадку:

$$\Delta_1=0,353824; \Delta_2=-0,49347; \Delta_3=0,824764; \Delta_4=0,127468; \Delta_5=0,0147417; \Delta_6=0,000152$$

тобто знову найбільший вплив мають фактори X_3 , X_2 , X_1 .

Отже, проведений аналіз дає змогу стверджувати, що під час планування заходів з охорони праці на лісгосподарському підприємстві основну увагу потрібно приділяти нижньоскладським, транспортним і лісосічним роботам. Проводили також дослідження залежності кількості травм на підприємствах Держкомлісгоспу України від робітничих професій та стажу працівників.

Висновки. Результати проведеного дослідження щодо причин, наслідків і основних факторів виробничого травматизму на підприємствах Державного комітету лісового господарства України за 10 років (2000-2009 рр.) планується використати в майбутньому під час формування комплексної програми запобігання травматизму в галузі.

Література

1. Гогіташвілі Г.Г. Аналіз статистичних даних щодо причин та наслідків виробничого травматизму працівників / Г.Г. Гогіташвілі, В.М. Степанишин, Л.О. Тисовський // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2011. – № 707. – С. 42-45.
2. Тисовський Л.О. Регресійний аналіз причин виробничого травматизму працівників Держкомлісгоспу України / Л.О. Тисовський, В.М. Степанишин // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвідомч. наук.-техн. зб. – Львів : Вид-во НЛТУ України. – 2011. – Вип. 37.2. – С. 34-38.
3. Степанишин В.М. Побудова моделі кореляційного аналізу для дослідження багатофакторних процесів і явищ / В.М. Степанишин, Л.О. Тисовський // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2012. – № 736. – С. 133-138.

Тисовський Л.А., Степанишин В.М. Моделирование средствами математической статистики производственного травматизма на предприятиях Госкомлесхоза Украины

Приведена сводная таблица по травматизму на предприятиях Государственного комитета лесного хозяйства за 2000-2009 гг. и на этой основе определены причины и установлены основные факторы, влияющие на уровень травматизма в отрасли. Исследована взаимосвязь коэффициента частоты травматизма от объема заготовленной древесины (в т.ч. с летальным исходом). Методами многофакторного анализа построено линейное уравнение множественной регрессии между количеством травм и видами работ.

Ключевые слова: производственный травматизм, коэффициент частоты производственного травматизма, уравнение множественной регрессии, коэффициент множественной корреляции, частичный коэффициент эластичности, стандартизированный коэффициент регрессии.

Tysovsky L.O., Stepanyshyn V.M. Simulation tools of mathematical statistics of occupational injuries in enterprises SFC Ukraine

A summary table on injuries in the enterprise of the State Forestry Committee for the 2000-2009 is adduced. On this basis, the causes and the main factors that affect the rate of injuries in the industry were defined. The interrelation coefficient of frequency of injuries on the amount of harvested wood (including with fatal consequences) was investigated. By the methods of multivariate analysis was built linear multiple regression equation between the number of injuries and types of work.

Keywords: injuries, the rate of frequency of occupational injuries, multiple regression equation, the coefficient of multiple correlation, partial elasticity coefficient, the standardized regression coefficient.