

повідно встановлено, що всі коефіцієнти регресійної моделі, крім b_{13} і b_{23} , є значущі. Тому відповідні члени $b_{13}x_1x_3$ і $b_{23}x_2x_3$ не приймаються до уваги під час побудови рівняння регресії.

Довірчі інтервали для кожного із значущих коефіцієнтів регресії b_i визначимо з допомогою t -критерію.

Розрахунки виконано за допомогою розроблених алгоритмів з використанням програм "Microsoft Office Excel 2003" та "Maple 12".

Внаслідок цього розрахунку коефіцієнтів регресії та оцінювання їх значимості отримано рівняння регресії з кодовими позначеннями факторів в наступному виді:

$$\begin{aligned} y_1 &= b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 = \\ &= 29,2 - 7,5x_1 + 12,0x_2 - 2,5x_1 \cdot x_2 + 29,2(x_1^2 + x_2^2). \\ y_2 &= 30,15 - 2,5x_1 + 8,3x_2 + 30,15(x_1^2 + x_2^2) - 3,4x_1 \cdot x_2. \\ y_3 &= 32,3 - 3,06x_1 - 1,86x_2 - 0,06x_3 - 0,49x_1 \cdot x_2 - 1,16x_1 \cdot x_2 \cdot x_3. \end{aligned}$$

Отримані залежності дають змогу прогнозувати зміну продуктивності праці, енерговитрат та собівартості деревини залежно від умов роботи та типу трелювальних засобів.

Література

1. Сиякевич І.М. Лісова політика: теорія і практика у контексті економічних, екологічних та соціальних потреб лісокористування / І.М. Сиякевич. – Львів : Вид-во "Піраміда", 2008. – 612 с.
2. Шкіря Т.М. Технологія і машини лісосічних робіт / Т.М. Шкіря. – Львів : Вид-во "Тріада плюс", 2003. – 352 с.
3. Генсирук С.А. Ліси України / С.А. Генсирук. – К. : Вид-во "Наук. думка", 1992. – 408 с.
4. Зінько Р.В. Методика експериментальних досліджень роботи механічних систем / Р.В. Зінько, І.С. Лозовий, Ю.М. Черевко, М.І. Черевко. – Львів : Вид-во ЛІСВ, 2009. – 160 с.
5. Пилипчук М.І. Основи наукових досліджень : підручник / М.І. Пилипчук, А.С. Григор'єв, В.В. Шостак. – К. : Вид-во "Знання", 2007. – 272 с.

Собко Н.М. Исследование основных показателей работы лесозаготовительной техники в горных условиях

С целью исследования изменения показателей работы лесозаготовительной техники использована методика планирования многофакторного эксперимента. Получены уравнения регрессии для определения производительности машин, энергоёмкости трелёвочной техники и себестоимости вывезенной древесины в зависимости от естественных и производственных условий, которые позволят прогнозировать изменение этих параметров.

Sobko N.M. Mountain terms have research of basic indexes of work of timber cutting technique

For the analysis of change of basic parameters of timber cutting technique the method of planning of multivariable experiment is utilized. Equalization of regression is got for determination of the productivity machines technique and prime price of the taken out wood depending on natural and production terms which will enable to forecast the change of these parameters.

УДК 614.843(075.32)

Ад'юнкт І.В. Паснак¹ –

Львівський ДУ безпеки життєдіяльності

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ДОЇЗДУ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПОЖЕЖНОГО ПРИЧЕПА ДО МІСЦЯ ВИНИКНЕННЯ ПОЖЕЖІ

Наведено результати експериментальних досліджень тривалості доїзду багатофункціонального пожежного причепа до місця виникнення пожежі на основі методу дробово-факторного експерименту. Отримано адекватну емпіричну залежність процесу впливу на тривалість доїзду до місця виникнення пожежі багатофункціонального пожежного причепа опору дороги, кількості поворотів причепа, маси причепа та відстані до місця виникнення пожежі. Встановлено, що на тривалість доїзду багатофункціонального пожежного причепа найбільше впливає відстань до місця виникнення пожежі.

Ключові слова: пожежний причеп, тривалість доїзду, дробово-факторний експеримент, ліквідація пожежі.

Постановка проблеми. Одним з основних напрямків швидкої ліквідації пожежі є зменшення інтервалу часу до подачі перших стволів на гасіння пожежі завдяки оперативності прибуття до місця пожежі. З цією метою у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності було розроблено багатофункціональний пожежний причеп [1-3].

Робота багатофункціонального причепа полягає в можливості його експлуатації з квадроциклом, мотоциклом та вручну, оскільки його ширина не перевищує ширину керма зазначених вище транспортних засобів, що дає змогу здійснювати рух по пішохідних тротуарах під час загорів у процесі переміщення. Пожежогасіння може здійснюватися як від зовнішніх вододжерел, так і від вбудованої ємності за допомогою пожежно-рятувального обладнання, яким причеп комплектується залежно від специфіки об'єкта. За допомогою освітлювальної щогли в нічний час здійснюється освітлення місця проведення оперативних дій. Внаслідок таких можливостей підвищується маневреність та прохідність причепа, що призводить до зменшення часу вільного розвитку пожежі.

Для встановлення впливу факторів залежно від специфіки об'єкта на тривалість доїзду багатофункціонального пожежного причепа до місця виникнення пожежі було поставлено завдання провести його експериментальне дослідження.

Мета роботи. Здійснити експериментальне дослідження тривалості доїзду багатофункціонального пожежного причепа до місця виникнення пожежі.

Виклад основного матеріалу. Експериментальне дослідження тривалості доїзду багатофункціонального пожежного причепа до місця виникнення пожежі проводимо на основі методу дробовофакторного експерименту 2^{4+1} , який є пів-реплікою від повнофакторного експерименту 2^4 з метою визначення впливу на тривалість доїзду опору дороги f , кількості поворотів причепа K , маси причепа M та відстані до місця виникнення пожежі S . Коефіцієнт опору дороги f [4] відображає вид долівки, по якій рухається причеп.

¹ Наук. керівник: доц. О.Е. Васильєва, канд. техн. наук

Експериментальні дослідження згідно з [5] проводили у такій послідовності відповідно до план-матриці експериментальних досліджень (табл. 2): 7, 1, 7, 2, 3, 8, 4, 5, 6, 6, 3, 1, 2, 4, 5, 8. Здійснено кодування факторів, перевівши натуральні величини в безрозмірні (табл. 1).

Табл. 1. Рівні зміни факторів

Рівень факторів		f		K		M, кг		S, м	
назва	кодоване значення	$\tilde{X}_1 = f$	$\ln \tilde{X}_1$	$\tilde{X}_2 = K$	$\ln \tilde{X}_2$	$\tilde{X}_3 = M$	$\ln \tilde{X}_3$	$\tilde{X}_4 = S$	$\ln \tilde{X}_4$
Верхній	+1	0,2	-1,6094	5	1,6094	500	6,2146	1000	6,9078
Основний	0	0,106	-	3	-	300	-	650	-
Нижній	-1	0,012	-4,4228	1	0	100	4,6052	300	5,7038

Скориставшись табл. 1, побудуємо матрицю планування та результатів дробовофакторного експерименту 2^{4-1} , де відображаємо результати досліджень, кожне з яких проведено двічі.

Табл. 2. План-матриця експериментальних досліджень

№ дослідю	X_1	X_2	X_3	$X_4 = X_1 X_2 X_3$	τ_1, c	τ_2, c	$\bar{\tau}, c$	$\ln \bar{\tau}$
1	-1	-1	-1	-1	28	26	27	3,2958
2	+1	-1	-1	+1	120	126	123	4,8122
3	-1	+1	-1	+1	94	96	95	4,5539
4	+1	+1	-1	-1	54	54	54	3,9890
5	-1	-1	+1	+1	107	101	104	4,6444
6	+1	-1	+1	-1	47	49	48	3,8712
7	-1	+1	+1	-1	48	48	48	3,8712
8	+1	+1	+1	+1	156	164	160	5,0752

Здійснивши перетворення незалежних змінних \tilde{X}_i (табл. 1) в безрозмірні величини за залежністю

$$X_i = \frac{2 \cdot (\ln \tilde{X}_i - \ln \tilde{X}_{i\max})}{\ln \tilde{X}_{i\max} - \ln \tilde{X}_{i\min}} + 1, \quad (1)$$

отримали

$$\begin{aligned} X_1 &= 0,7109 \cdot \ln f + 2,1441, \\ X_2 &= 1,2427 \cdot \ln K - 1, \\ X_3 &= 1,2427 \cdot \ln M - 6,7229, \\ X_4 &= 1,6611 \cdot \ln S - 10,4748. \end{aligned} \quad (2)$$

Рівняння в кодових змінних з введенням членів, які враховують взаємодію факторів має вигляд

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{14} X_1 X_4 + b_{23} X_2 X_3 + b_{24} X_2 X_4 + b_{34} X_3 X_4. \quad (3)$$

Коефіцієнти для моделі (3) з врахуванням експериментально отриманих значень визначаємо за залежністю

$$b_n = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{in} \ln \bar{\tau}_i, \quad (4)$$

де: X_{in} – код фактора; $\bar{\tau}$ – середнє значення результатів експериментальних досліджень за певних значень факторів; N – кількість дослідів.

За результатами експериментальних досліджень було отримано значення коефіцієнтів рівняння регресії (3): $b_0 = 4,2641$; $b_1 = 0,1729$; $b_2 = 0,1082$; $b_3 = 0,1014$; $b_4 = 0,5073$; $b_{12} = -0,0130$; $b_{13} = -0,0651$; $b_{14} = -0,0005$; $b_{23} = -0,0005$; $b_{24} = -0,0651$; $b_{34} = -0,0130$.

За умови однакової кількості паралельних дослідів r (у нашому випадку $r=2$) на кожному поєднанні рівнів факторів відтворюваність перевіряється за критерієм Кохрена [6].

$$G = \frac{S_{pi\max}^2}{S_p^2} \leq G_{(0,05; N; f_r)}, \quad (5)$$

де: $S_{pi\max}^2$ – найбільше значення дисперсії розсіювання S_{pi}^2 ; N – кількість дослідів (у нашому випадку $N=8$); f_r – кількість ступенів вільності кожної оцінки (у нашому випадку $f_r=r-1=2-1=1$); $G_{(0,05; N; f_r)}$ – табличне значення критерію Кохрена [5].

Дисперсія розсіюваності визначається за залежністю $S_p^2 = \sum_{i=1}^{16} S_{pi}^2$, де S_{pi}^2 – дисперсія розсіюваності на кожному досліді; $S_{pi} = \ln \tau_{i(1,2)} - \ln \bar{\tau}_i$. У нашому випадку за результатами експериментальних досліджень $S_p^2 = 0,007941$. Тоді критерій Кохрена буде дорівнювати

$$G = \frac{S_{pi\max}^2}{S_p^2} = \frac{0,001421}{0,007941} = 0,178945 < G_{(0,05; 8; 1)} = 0,680.$$

Отже, згідно з [7], для нашого випадку відтворюваність дослідю забезпечується.

Оцінку значущості коефіцієнтів регресії здійснюємо за допомогою критерію Стьюдента [6-7]. Коефіцієнт вважається значущим, якщо виконується нерівність з урахуванням половини довжини довірчого інтервалу:

$$|b_i| \geq \Delta b_i = t_{(0,05; f)} S(b_i) \quad (6)$$

де $t_{(0,05; f)}$ – критичне значення критерію Стьюдента для $f=N(r-1)$ (для нашого випадку маємо $f=8(2-1)=8$, $\alpha=0,05$; згідно з [7] $f=2,31$).

$$S(b_i) = \pm \sqrt{\frac{S_p^2}{N \cdot r}} = \pm \sqrt{\frac{0,007941}{8^2(2-1)2}} = \pm 0,007874$$

Отже, половина довжини довірчого інтервалу:

$$\Delta b_i = 2,31 \cdot 0,007874 = 0,018189.$$

Встановлено, що значущими коефіцієнтами моделі є $|b_0| = 4,2641$; $|b_1| = 0,1729$; $|b_2| = 0,1082$; $|b_3| = 0,1014$; $|b_4| = 0,5073$; $|b_{13}| = 0,0651$; $|b_{24}| = 0,0651$, а коефіцієнти $|b_{12}| = 0,0130$; $|b_{14}| = 0,0005$; $|b_{23}| = 0,0005$; $|b_{34}| = 0,0130$ – незначущими.

З врахуванням значущих коефіцієнтів, модель (3) набуде вигляду:

$$Y = 4,2641 + 0,1729X_1 + 0,1082X_2 + 0,1014X_3 + 0,5073X_4 - 0,0651X_1X_3 - 0,0651X_2X_4 \quad (7)$$

Перевірку адекватності моделі здійснюємо за критерієм Фішера. Стверджувати, що модель є адекватна, можна у випадку, коли виконується нерівність [6]:

$$F = \frac{S_{ao}^2}{S_e^2} \leq F_{(0,05;f_1;f_2)}, \quad (8)$$

де S_{ao}^2 – дисперсія адекватності, визначається за залежністю

$$S_{ao}^2 = \frac{r}{N-m} \sum_{i=1}^N (\ln \bar{\tau}_i - \hat{Y}_i)^2, \quad (9)$$

де: \hat{Y}_i – розрахункове значення параметра згідно зі залежністю (7) після підстановки значень (-1) та (+1) згідно з план-матрицею експериментальних досліджень; $F_{(0,05;f_1;f_2)}$ – критичне значення критерію Фішера при $\alpha=0,05$; $f_1=N-m$; $f_2=N(r-1)$. У нашому випадку маємо $f_1=8-7=1$ (m – число членів апроксимуючого полінома, у цьому випадку $m=7$), $f_2=8(2-1)=8$, отож, згідно з табличними значеннями [7] $F_{кр}=5,32$.

S_e^2 – дисперсія відтворюваності

$$S_e^2 = \frac{0,007941}{8(2-1)} = 0,0009926.$$

Значення параметра \hat{Y}_i знаходимо за рівнянням (7). Маємо $\hat{Y}_1=3,2441$; $\hat{Y}_2=4,8649$; $\hat{Y}_3=4,4751$; $\hat{Y}_4=4,0667$; $\hat{Y}_5=4,7219$; $\hat{Y}_6=3,7927$; $\hat{Y}_7=3,9237$; $\hat{Y}_8=5,0237$.

За залежністю (9) знаходимо дисперсію адекватності моделі:

$$S_{ao}^2 = \frac{2}{8-7} \cdot 0,0352734 = 0,0705468.$$

У зв'язку з тим, що $S_{ao}^2 > S_e^2$, маємо:

$$F = \frac{S_{ao}^2}{S_e^2} = \frac{0,0009926}{0,0705468} = 0,014 < F_{(0,05;f_1;f_2)} = 5,32.$$

Таким чином модель (7) адекватна.

Щоб встановити точність опису експериментальних даних рівнянням регресії, визначаємо коефіцієнт множинної кореляції за залежністю

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^N (\ln \bar{\tau}_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (\ln \bar{\tau}_i - \bar{\tau}^*)^2}}, \quad (10)$$

де $\bar{\tau}^*$ – середнє значення функції $\ln \bar{\tau}_i$.

Здійснивши необхідні розрахунки, знаходимо коефіцієнт множинної кореляції:

$$R = \sqrt{1 - \frac{0,0352734}{2,5089340}} = 0,9929455.$$

Як бачимо, коефіцієнт R наближається до 1, а отже, рівняння (7) майже повністю описує результати експериментальних досліджень.

Для здійснення переходу до моделі в натуральних змінних підставимо (2) в (7) та проведемо обрахунок. Внаслідок цього отримаємо модель процесу впливу на тривалість доїзду τ до місця пожежі багатофункціонального пожежного причепа опору дороги f , кількості поворотів причепа K , маси причепа M та відстані до місця виникнення пожежі S :

$$\tau = 0,2974 \cdot f^{0,4340} \cdot K^{0,9819} \cdot M^{-0,0475-0,0575 \cdot \ln f} \cdot S^{0,9508-0,1344 \cdot \ln K}. \quad (11)$$

Також розглянемо, як безпосередньо впливає на тривалість доїзду τ до місця пожежі багатофункціонального пожежного причепа кожен із чинників. Для встановлення адекватності математичної моделі при використанні середніх значень ($f=0,106$, $K=3$, $M=300$ кг, $S=650$ м) було виконано контрольні дослідження. На підставі отриманих результатів будемо графічні залежності тривалості доїзду причепа та здійснюємо порівняння результатів з контрольними експериментальними випробуваннями.

Відносну похибку досліді визначаємо за залежністю:

$$\delta = \frac{\tau_{к.д.} - \tau_{мод.}}{\tau_{к.д.}} \cdot 100\%, \quad (12)$$

де: $\tau_{к.д.}$ – отримане значення тривалості доїзду причепа під час контрольного експериментального дослідження; $\tau_{мод.}$ – тривалість доїзду за моделлю.

Порівнявши результати графічних залежностей та здійснивши розрахунок відносної похибки досліді було встановлено, що модель процесу впливу на тривалість доїзду τ до місця пожежі багатофункціонального пожежного причепа опору дороги f , кількості поворотів причепа K , маси причепа M та відстані до місця виникнення пожежі S відносно результатів контрольних експериментальних досліджень має похибку до 7 %.

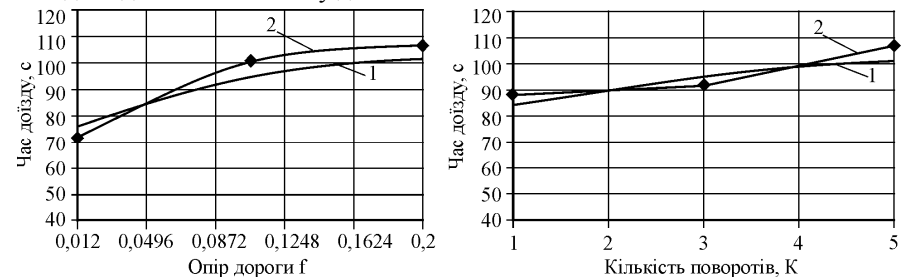


Рис. 1. Залежність тривалості доїзду причепа τ від опору дороги f при середніх значеннях чинників ($K=3$, $M=300$ кг, $S=650$ м):

1) за моделлю; 2) контрольне експериментальне дослідження

Рис. 2. Залежність тривалості доїзду причепа τ від кількості поворотів K при середніх значеннях чинників ($f=0,106$, $M=300$ кг, $S=650$ м):

1) за моделлю; 2) контрольне експериментальне дослідження

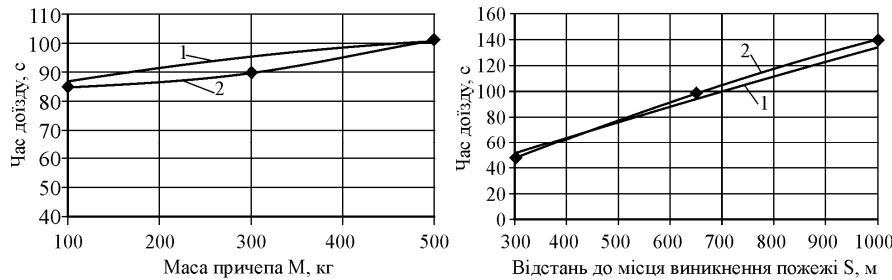


Рис. 3. Залежність тривалості доїзду причепа τ від маси причепа M при середніх значеннях чинників ($f=0,106, K=3, S=650$ м):

1) за моделлю; 2) контрольне експериментальне дослідження

Рис. 4. Залежність тривалості доїзду причепа τ від відстані до місця виникнення пожежі S при середніх значеннях чинників ($f=0,106, K=3, M=300$ кг):

1) за моделлю; 2) контрольне експериментальне дослідження

Проаналізувавши графічні залежності, встановлено, що зі збільшенням опору дороги з $f=0,012$ до $f=0,2$ (в 16,67 раз) тривалість доїзду τ до місця пожежі багатфункціонального пожежного причепа збільшується в 1,34 раза. У разі збільшення кількості поворотів з $K=1$ до $K=5$ (в 5 раз) тривалість доїзду причепа збільшується в 1,2 раза. Зміна маси причепа з $M=100$ кг до $M=500$ кг (в 5 раз) призводить до зростання тривалості доїзду в 1,15 раза. У разі збільшення відстані до місця виникнення пожежі з $S=300$ м до $S=1000$ м (в 3,33 рази), тривалість доїзду причепа збільшується в 2,65 раза. Отже, бачимо, що на тривалість доїзду до місця пожежі багатфункціонального пожежного причепа найбільше впливає відстань до місця виникнення пожежі.

Висновки:

1. Отримано адекватну емпіричну залежність процесу впливу на тривалість доїзду τ до місця пожежі багатфункціонального пожежного причепа опору дороги f , кількості поворотів причепа K , маси причепа M та відстані до місця виникнення пожежі S , котра відносно результатів контрольних експериментальних досліджень має похибку до 7 %.
2. Математична модель повністю описує досліджуваний процес, оскільки коефіцієнт множинної кореляції 0,9929455 наближається до 1.
3. На тривалість доїзду до місця пожежі багатфункціонального пожежного причепа найбільше впливає відстань до місця виникнення пожежі. У разі її збільшення з $S=300$ м до $S=1000$ м (в 3,33 раза), тривалість доїзду причепа збільшується в 2,65 раза. У разі збільшення опору дороги з $f=0,012$ до $f=0,2$ (в 16,67 раз), тривалість доїзду τ до місця пожежі багатфункціонального пожежного причепа збільшується в 1,34 раза. У разі збільшення кількості поворотів з $K=1$ до $K=5$ (у 5 разів), тривалість доїзду причепа збільшується в 1,2 раза. Зміна маси причепа з $M=100$ кг до $M=500$ кг (у 5 разів) призводить до зростання тривалості доїзду в 1,15 раза.

Література

1. Пат. 63299 Україна, МПК (2011.01), А62С 27/00. Багатфункціональний пожежний причіп / І.В. Паснак, О.Е. Васильєва, Е.М. Гуліда, П.М. Гашук, А.Г. Ренкас, І.О. Мовчан. № у 2011 01338; заявл. 07.02.2011; опубл. 10.10.2011, Бюл. № 19.

2. Паснак І.В. Універсальний багатфункціональний пожежний причіп / І.В. Паснак, О.Е. Васильєва // Строительство, материаловедение, машиностроение // Сборник научных трудов. – Днепропетровск : Изд-во ГВУЗ ПГАСА. – 2011. – Вип. 62. – С. 272-276.

3. Паснак І.В. Вплив критичного часу пожежі в приміщенні промислового підприємства на технології її ліквідації / І.В. Паснак // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.6. – С. 103-114.

4. Гашук П.М. Теорія автомобіля: Колесо : навч. посібн. [для студ. ВНЗ] / П.М. Гашук, Т.Г. Миськів. – Львів : Вид-во "Українські технології", 2010. – 256 с.

5. Большев Л.Н. Таблицы математической статистики / Л.Н. Большев, Н.В. Смирнов. – М. : Изд-во "Наука". Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 416 с.

6. Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. – К. : Вид-во "Техніка", 1975. – 168 с.

7. Семенов С.А. Планирование эксперимента в химии и химической технологии : учебно-метод. пособ. / С.А. Семенов. – М. : Изд-во ИПЦ МИТХТ, 2001. – 93 с.

Паснак І.В. Експериментальне дослідження часу доезда мно- гофункціонального пожежного причепа к месту возникновения пожара

Представлены результаты экспериментальных исследований времени доезда многофункционального пожарного прицепа к месту возникновения пожара на основе метода дробно-факторного эксперимента. Получена адекватная эмпирическая зависимость процесса воздействия на время доезда к месту пожара многофункционального пожарного прицепа сопротивления дороги, количества поворотов прицепа, массы прицепа и расстояния до места возникновения пожара. Установлено, что на время доезда многофункционального пожарного прицепа наибольшее влияние имеет расстояние до места возникновения пожара.

Ключевые слова: пожарный прицеп, время доезда, дробно-факторный эксперимент, ликвидация пожара.

Pasnak I.V. Experimental investigation of arriving time of multifunctional fire trailer to the fire origin

The article deals with the results of experimental investigation of arriving of multifunctional fire trailer to the fire origin based on the fractional and factorial experiment. An equivalent empirical dependence of the process of influence of road resistance, number of trailer turnings, weight of trailer and distance to the fire origin on the time of arriving to the place of fire origin by multifunctional fire trailer is received. It was determined that the distance to the place of fire origin has the influence on the time of the arriving of multifunctional fire trailer.

Keywords: fire trailer, time of arriving, fractional and factorial experiment, fire suppression.