

МОДЕЛЮВАННЯ КОМПРЕСІЙНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ У СМІТТЄВОЗІ НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ «PlanExp»

¹Вінницький національний технічний університет

Показано можливості розробленої та зареєстрованої комп'ютерної програми «PlanExp» для обробки результатів планування багатофакторного експерименту. Отримано, необхідну для розробки стратегії, комплексу машин та обладнання для поводження з твердими побутовими відходами, математичну модель компресійної характеристики твердих побутових відходів у сміттєвозі.

Ключові слова: сміттєвоз, тверді побутові відходи, компресійна характеристика, планування експерименту, комп'ютерна програма.

Вступ

Відомо, що тверді побутові відходи (ТПВ) загрожують безпеці навколишнього середовища та охороні здоров'я [1—6]. Щорічний об'єм ТПВ, що утворюються в населених пунктах України перевищує 46 млн. м³, переважна більшість (96,5 %) яких захоронюється на 4530 полігонах та сміттєзвалищах площею майже 7700 га та лише частково переробляються або утилізуються на сміттєспалювальних заводах [7]. Лише протягом останніх років загальна площа полігонів та сміттєзвалищ в Україні збільшилась в 2,5 рази. Тому для зменшення темпів зростання площ полігонів виконується технологічна операція ущільнення ТПВ при їхньому завантаженні у сміттєвоз [8]. Високий коефіцієнт ущільнення ТПВ сприяє ефективнішому використанні площі полігона. Крім того, на перевезення ТПВ сміттєвозами до місця утилізації на мінімальну відстань 30 км, що відповідає розмірам санітарної зони, витрачається більше 45 тис. тонн пального. Це пов'язано зі значними фінансовими витратами [9, 10]. Постанова Кабінету Міністрів України № 265 [11] заклала основні засади для розробки Національної стратегії поводження з ТПВ в Україні, зазначивши серед пріоритетних напрямів поводження з ТПВ забезпечення застосування сучасних високоефективних сміттєвозів. Перспективним для підвищення ефективності сміттєвозів є збільшення коефіцієнта ущільнення ТПВ. Тому побудова математичної моделі компресійної характеристики твердих побутових відходів у сміттєвозі з метою розробки стратегії, комплексу машин та обладнання для поводження з ТПВ, є актуальною науково-технічною задачею.

В статті [12] наведено основні характеристики ТПВ. В роботі [10] визначено залежність між тиском пресування ТПВ та параметрами процесу відносної деформації та насипної густини на основі проведення однофакторних експериментів, які не можуть враховувати ефекту взаємодії вказаних параметрів. Внаслідок цього згадана залежність виявилась громіздкою, а її точність не достатньо високою. В статті [13] опубліковані експериментальні компресійні характеристики відходів деревини, отримані за допомогою однофакторного регресійного аналізу. В роботі [14] наведено табличну залежність коефіцієнта ущільнення ТПВ від висоти полігона, а в статті [15] запропонована однофакторна регресійна залежність коефіцієнта ущільнення ТПВ від висоти полігону. В роботі [16] наведено залежність для визначення потреби в бульдозерах на виконання технологічних операцій ущільнення ТПВ на карті полігону. В статті [17] запропонована математична модель вібраційного гідроприводу плити пресування ТПВ, а в роботі [18] проведено її аналітичне дослідження.

Метою дослідження є побудова багатофакторної математичної моделі компресійної характеристики твердих побутових відходів у сміттєвозі для розробки стратегії, комплексу машин та обладнання для поводження з ТПВ.

Аналіз результатів дослідження

Дослідження впливу одночасно декількох факторів на цільову функцію при проведенні однофакторних експериментів пов'язане зі значними труднощами і обсягами робіт. Тому доцільно проводити багатофакторний експеримент для отримання рівняння регресії для цільової функції за допомогою планування багатофакторного експерименту [19, 20].

Для визначення коефіцієнтів багатofакторних регресійних залежностей розроблено оригінальну комп'ютерну програму «PlanExp», яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір [21], загальний вигляд діалогового вікна якої наведено на рис. 1.

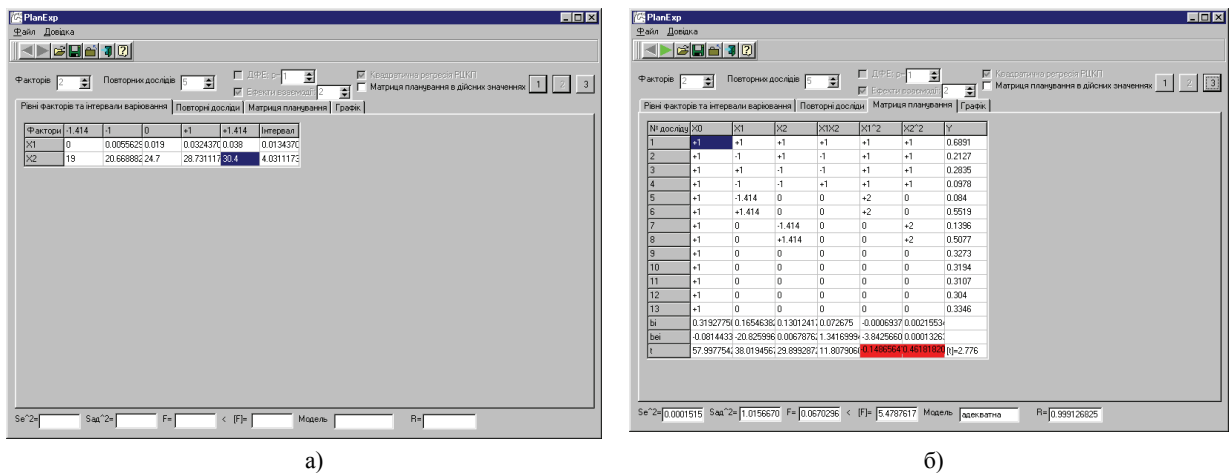


Рис. 1. Загальний вигляд діалогового вікна програми «PlanExp»: а — вихідні дані; б — результати

Програма дозволяє формувати матрицю планування та обробляти результати як повного, так і дробового багатofакторного експерименту з побудовою лінійних та квадратичних (ротатбельним центральним композиційним плануванням) регресійних моделей з ефектами взаємодії методом Бокса–Уілсона зі збереженням результатів в форматі MS Excel (рис. 2) та Witmar.

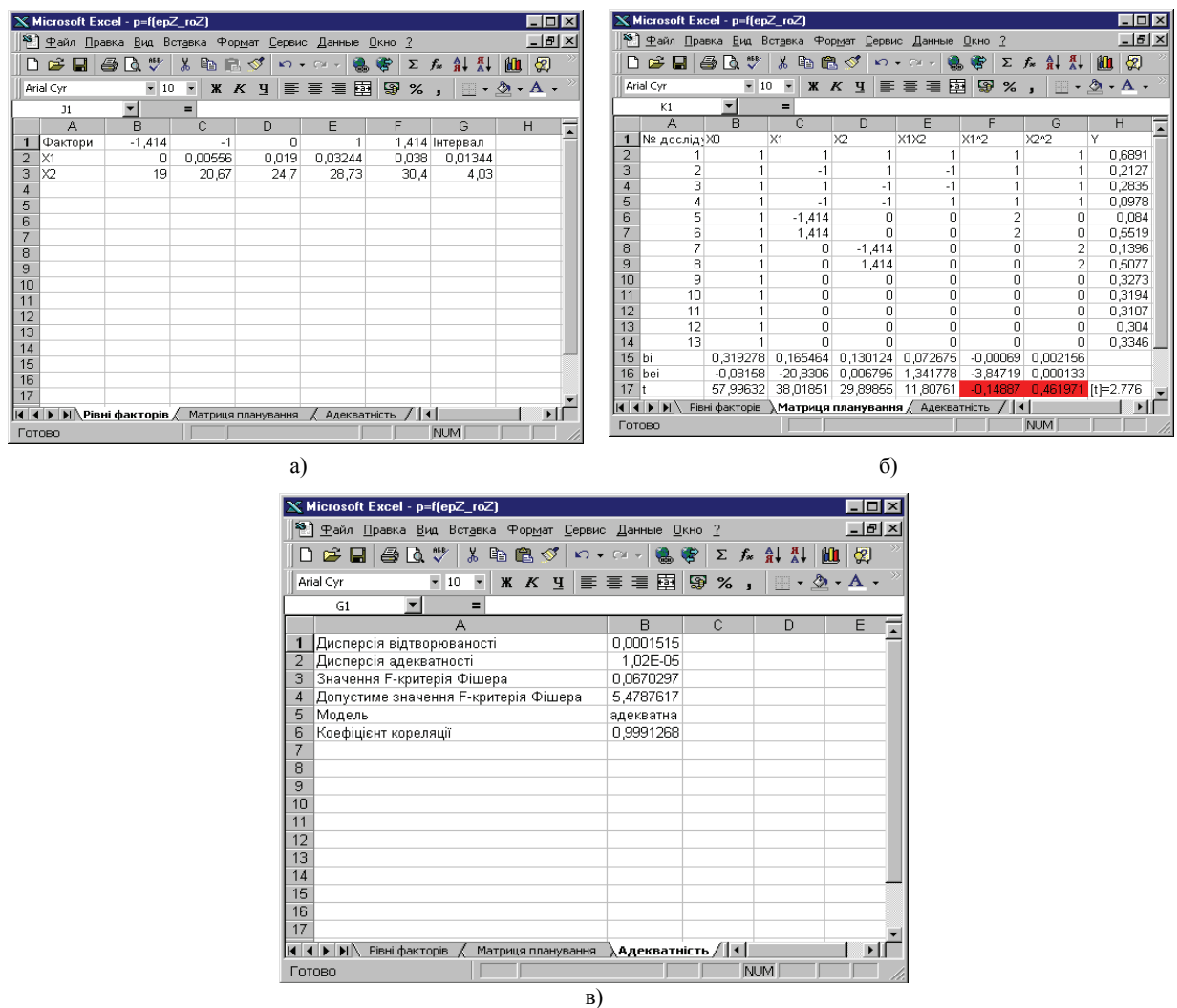


Рис. 2. Збереження результатів роботи програми «PlanExp» в книзі MS Excel: а — рівні факторів; б — матриця планування; в — адекватність

Адекватність регресійних моделей перевіряється програмою за F -критерієм Фішера, а перевірка значущості коефіцієнтів регресії проводиться за t -критерієм Стьюдента [22, 23]. Якщо коефіцієнт регресії незначущий, то комірка з відповідним значенням t -критерію Стьюдента зафарбовується в червоний колір (див. рис. 16 і рис. 26).

Попередні експерименти [10] показали, що залежність тиску пресування ТПВ p_v від відносної деформації ε та насипної густини ρ (компресійна характеристика) не може бути адекватно описана ні лінійною, ні квадратичною регресійною моделлю, тому прийнято рішення про визначення регресійної моделі від факторів впливу, піднесених до дробових степенів. Значення показників степенів отримано в результаті попередніх пошукових експериментів. Таким чином, математична модель компресійної характеристики ТПВ у сміттєвозі виглядає так

$$p_v = f(\varepsilon^{9,17}, \rho^{0,592}). \quad (1)$$

Кількість повторних дослідів в центрі плану експерименту знаходилась за рекомендаціями [24, 25].

Вибір діапазонів варіювання факторів функції (1) проводився таким чином, щоб будь-яка їх сукупність в передбачених планом експерименту діапазонах могла бути реалізована і не призводила до протиріч. Для цього було проведено пошукові експерименти для визначення області, в якій необхідні сукупності рівнів факторів були б надійно реалізовані.

Всі фактори, які входять у функцію (1), є величинами, що мають різну розмірність, а значення цих величин факторів мають різні порядки. Тому для отримання поверхні відгуку цієї функції проведено операцію кодування факторів тобто лінійне перетворення факторного простору. Встановлено такі значення рівнів факторів в умовному масштабі: мінімальний -1 , середній 0 , максимальний $+1$ та зіркові значення $-1,414$; $+1,414$. Дійсні та кодовані значення факторів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Рівні факторів та інтервали варіювання основних параметрів впливу на тиск пресування ТПВ

Фактори		Рівні факторів					Інтервали варіювання
кодовані	дійсні	$-1,414$	-1	0	$+1$	$+1,414$	
x_1	$\varepsilon^{9,17}$	0	$0,00556$	$0,019$	$0,03244$	$0,038$	$0,01344$
x_2	$\rho^{0,592}$	19	$20,67$	$24,7$	$28,73$	$30,4$	$4,03$

Для цільової функції (1) планувалось отримати таку регресійну модель 2-го порядку з ефектом взаємодії 1-го порядку:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2, \quad (2)$$

де $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$ — коефіцієнти регресії.

Для проведення ротатабельного центрального композиційного планування другого порядку на основі повнофакторного експерименту виду 2^2 було складено матрицю планування експерименту, яку наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Матриця планування експерименту

№ дослідів	X_0	X_1	X_2	X_1X_2	X_1^2	X_2^2	Y
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0,6891
2	+1	-1	+1	-1	+1	+1	0,2127
3	+1	+1	-1	-1	+1	+1	0,2835
4	+1	-1	-1	+1	+1	+1	0,0978
5	+1	$-1,414$	0	0	$+2$	0	0,0840
6	+1	$+1,414$	0	0	$+2$	0	0,5519
7	+1	0	$-1,414$	0	0	$+2$	0,1396
8	+1	0	$+1,414$	0	0	$+2$	0,5077
9	+1	0	0	0	0	0	0,3273
10	+1	0	0	0	0	0	0,3194
11	+1	0	0	0	0	0	0,3107
12	+1	0	0	0	0	0	0,3040
13	+1	0	0	0	0	0	0,3346

№ досліду	X_0	X_1	X_2	X_1X_2	X_1^2	X_2^2	Y
b_i	0,31928	0,1654	0,13012	0,07268	-6,937E-4	0,002156	—
β_i	-0,08158	-20,8306	0,006795	1,341778	-3,84719	0,000133	—
t	57,9963	38,019	29,8986	11,8076	-0,14887	0,46197	$[t] = 2,776$

Для функції відгуку тиску пресування p_e згідно з проведеним багатofакторним експериментом рівняння регресії для кодovаних значень має вигляд

$$p_B = 0,3193 + 0,1655x_1 + 0,1301x_2 + 0,07268x_1x_2 - 0,00069x_1^2 + 0,002156x_2^2. \quad (3)$$

Для дійсних значень факторів рівняння регресії для функції відгуку p_B після відкидання факторів малої значущості має вигляд

$$p_B = 1,342\varepsilon^{0,17} \rho^{0,592} - 20,83\varepsilon^{0,17} + 0,006795\rho^{0,592} - 0,08158. \quad (4)$$

При цьому $S_{\text{відт}}^2 = 1,515 \cdot 10^{-4}$; $S_{\text{ад}}^2 = 1,015 \cdot 10^{-5}$; $F = 0,067 < [F] = 5,479$, отже, за критерієм Фішера гіпотезу про адекватність регресійної моделі (4) можна вважати правильною з 95 %-ю достовірністю. Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,9983$ свідчить про високу точність отриманих результатів.

За критерієм Стьюдента виявлено, що більшою мірою тиск пресування ТПВ залежить від їхньої відносної деформації, а в меншій — від їхньої насипної густини.

На рис. 3 показано поверхню відгуку тиску пресування p_B ТПВ в площині дійсних значень параметрів впливу: відносної деформації ε та насипної густини ρ , яка дозволяє наочно проілюструвати вказану залежність.

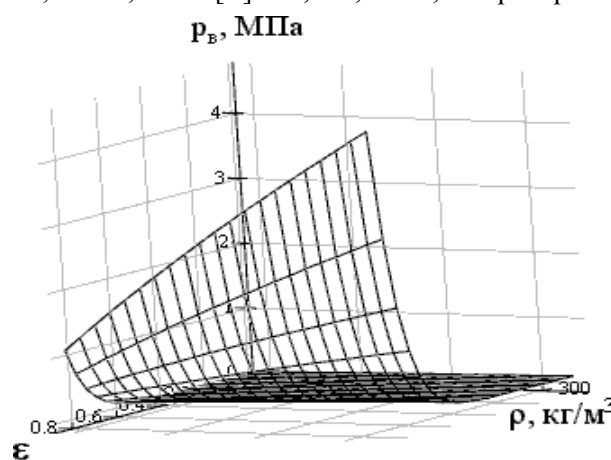


Рис. 3. Поверхня відгуку тиску пресування ТПВ $p_B = f(\varepsilon, \rho)$

Висновки

1. Показано можливості розробленої та зареєстрованої комп'ютерної програми «PlanExp», яка дозволяє обробляти результати як повного, так і дробового багатofакторного експерименту з побудовою лінійних та квадратичних (ротатбельним центральним композиційним плануванням) регресійних моделей з ефектами взаємодії методом Бокса-Уїлсона зі збереженням результатів у форматі MS Excel та Bitmap.

2. Запропоновано адекватну двофакторну неповну квадратичну регресійну модель компресійної характеристики твердих побутових відходів у сміттєвозі, що може бути використана під час розробки стратегії, комплексу машин та обладнання для поводження з ними.

3. Виявлено, що за критерієм Стьюдента більшою мірою тиск пресування твердих побутових відходів залежить від їхньої відносної деформації, а меншою — від їхньої насипної густини.

4. Побудовано поверхню відгуку, яка дозволяє наочно проілюструвати залежність значень тиску пресування твердих побутових відходів від основних параметрів впливу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Hamer G. Solid waste treatment and disposal: effects on public health and environmental safety / G. Hamer // *Biotechnology Advances*. — Elsevier, 2003. — Vol. 22, No. 1—2. — P. 71—79.
2. Impact assessment of contamination pattern of solid waste dumpsites soil : a comparative study of bauchi metropolis / D. S. Buteh, I. Y. Chindo, E. O. Ekanem, E. M. Williams // *World Journal of Analytical Chemistry*. — 2013. — Vol. 1, No. 4. — P. 59—62.
3. Орлова Т. А. Экологическая оценка земельных участков, занятых объектами обращения с отходами / Т. А. Орлова // *Містобудування та територіальне планування : науково-теоретичний збірник*. — К. : КНУБА, 2006. — Вип. 25. — С. 167—181.

4. Березюк О. В. Моделювання поширеності способів утилізації звалищного газу для розробки обладнання та стратегії поводження з твердими побутовими відходами / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2014. — № 5. — С. 65—68.
5. Кориневская В. Ю. Отходы городских систем как потенциальный ресурс и источник загрязнения окружающей природной среды / В. Ю. Кориневская, Т. П. Шанина // Вісник Одеського державного екологічного університету. — 2011. — Вип. 11. — С. 27—34.
6. Годовська Т. Б. Критерії індикаторів впливу на агроєкосистеми полігону твердих побутових відходів м. Житомир / Т. Б. Годовська, В. П. Фещенко // Вісник ЖНАЕУ : наук.-теорет. зб. — 2011. — № 1 (28), Т. 1. — С. 400—407.
7. Березюк О. В. Визначення регресійних залежностей витрат на управління твердими побутовими відходами від рівня доходів населення / О. В. Березюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2012. — № 5. — С. 24—26.
8. Патент України № 42145 У, МПК(2009) В 65 F 3/00. Гідропривод ущільнюючої плити сміттєвоза / Березюк О. В.; власник патенту Вінницький національний технічний університет. — 200900495; Заявл. 23.01.2009. Одерж. 25.06.2009.
9. Мороз О. В. Економічні аспекти вирішення екологічних проблем утилізації твердих побутових відходів : монографія / О. В. Мороз, А. О. Свентух, О. Т. Свентух. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. — 110 с.
10. Савуляк В. І. Технічне забезпечення збирання, перевезення та підготовки до переробки твердих побутових відходів : монографія / В. І. Савуляк, О. В. Березюк. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. — 218 с.
11. Постанова Кабінету Міністрів України від 4 березня 2004 року № 265 «Про затвердження Програми поводження з твердими побутовими відходами» [Електронний ресурс] / Кабінет Міністрів України. — Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/265-2004-%D0%BF>.
12. Масленников А. Ю. Характеристика твердых бытовых отходов [Электронный ресурс] / А. Ю. Масленников // Отраслевой портал. Вторичное сырье. — Режим доступа : <http://www.recyclers.ru>.
13. Експериментальне визначення необхідних умов і параметрів процесу та приводу пресування паливних брикетів з відходів деревини / В. І. Савуляк, О. В. Березюк, В. П. Пурдик, С. П. Білошицький // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2010. — № 5. — С. 96—99.
14. Карлова О. А. Технології виробництва в міському господарстві : навч. посібник / О. А. Карлова. — Харків : ХНАМГ, 2005. — 156 с.
15. Березюк О. В. Определение регрессии коэффициента уплотнения твердых бытовых отходов от высоты полигона на основе компьютерной программы «RegAnaliz» / О. В. Березюк // Автоматизированные технологии и производства. — 2015. — № 2 (8). — С. 43—45.
16. Полігони твердих побутових відходів. Основи проектування : ДБН В.2.4-2-2005. — [Чинний від 2006-01-01]. — К. : Держбуд України, Мінприроди України, 2005. — 35 с. — (Національні стандарти України).
17. Березюк О. В. Математичне моделювання вібраційного гідроприводу плити пресування твердих побутових відходів / О. В. Березюк, С. Б. Сторожук, І. В. Коц // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. — Львів : НУ «Львівська політехніка». — 2006. — № 40. — С. 20—25.
18. Березюк О. В. Аналітичне дослідження математичної моделі вібраційного гідроприводу пресування твердих побутових відходів / О. В. Березюк // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». — Харків : НТУ «ХПІ». — 2008. — № 38. — С. 96—102.
19. Налимов В. В. Логические основания планирования эксперимента / В. В. Налимов, Т. И. Голикова. — [2-е изд., перераб. и доп.] — М. : Металлургия, 1981. — 152 с.
20. Барабашук В. И. Планирование эксперимента в технике / В. И. Барабашук, Б. П. Креденцер, В. И. Мирошниченко. — К. : Техника, 1984. — 200 с.
21. Березюк О. В. Комп'ютерна програма «Планування експерименту» («PlanExp») / Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 46876 // власник свідоцтва О. В. Березюк. — К. : Державна служба інтелектуальної власності України. — Дата реєстрації: 21.12.2012.
22. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. — [2-е изд., перераб. и доп.] — М. : Наука, 1976. — 280 с.
23. Методы исследований и организация экспериментов / под ред. проф. К. П. Власова. — Х. : Гуманитарный центр, 2002. — 256 с.
24. Левшина Е. С. Электрические измерения физических величин : (Измерительные преобразователи) / Е. С. Левшина, П. В. Новицкий. — Л. : Энергоатомиздат, 1983. — 320 с.
25. Новицкий П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. — [2-е изд., перераб. и доп.] — Л. : Энергоатомиздат, 1991. — 304 с.

Рекомендована кафедрою безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 17.11.2016

Березюк Олег Володимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, e-mail: berezukoleg@yandex.ru.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

O. V. Bereziuk¹

Modeling of Compression Description of Hard Domestic Wastes in Dust-Cart on the Basis of the Computer Program «PlanExp»

¹Vinnytsia National Technical University

There have been presented the possibilities of developed and registered computer program «PlanExp» for result treatment of planning a multiple-factor experiment. There has been received the mathematical model of compression description of hard domestic wastes in garbage-removal truck, necessary at development of strategy, complex of machines and equipment for handling hard domestic wastes.

Keywords: garbage-removal truck, hard domestic wastes, compression description, experiment planning, computer program.

Bereziuk Oleg V. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Security of Life and Pedagogy of Security, e-mail: berezyukoleg@yandex.ru

О. В. Березюк¹

Моделирование компрессионной характеристики твердых бытовых отходов в мусоровозе на основе компьютерной программы «PlanExp»

¹Винницкий национальный технический университет

Показаны возможности разработанной и зарегистрированной компьютерной программы «PlanExp» для обработки результатов планирования многофакторного эксперимента. Получена, необходимая при разработке стратегии, комплекса машин и оборудования для обращения с твердыми бытовыми отходами, математическая модель компрессионной характеристики твердых бытовых отходов в мусоровозе.

Ключевые слова: мусоровоз, твердые бытовые отходы, компрессионная характеристика, планирование эксперимента, компьютерная программа.

Березюк Олег Владимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности и педагогики безопасности, e-mail: berezyukoleg@yandex.ru