

**Є. Я. ПРАСОЛОВ**, канд. техн. наук, доц., проф., ПДАА, Полтава;  
**Т. Г. ЛАПЕНКО**, канд. техн. наук, доц., зав. каф., ПДАА, Полтава

## **ЗНИЖЕННЯ ТРАВМО НЕБЕЗПЕК МОБІЛЬНИХ АГРЕГАТІВ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ ТЕХНІЧНИМИ ЗАСОБАМИ ЗАХИСТУ**

Приведений аналіз причини виникнення травм та вузли машини для розкидання органічних добрив, робота з якими є небезпечною. Розроблений пристрій блокування робочих органів розкидача та побудована математична модель його роботи. За результатами математичного моделювання розроблені рекомендації щодо роботи з розкидачем органічних добрив при використанні запропонованого пристрою, що дозволило підвищити вірогідність безпечної роботи до 98%.

**Ключові слова:** травматизм, машини для внесення органічних добрив, шнековий барабан, пристрій блокування робочих органів, математичне моделювання, коефіцієнт безпечної діяльності.

**Вступ.** Показники виробничого травматизму в агропромисловому комплексі в 1,5...2 рази перевищують рівень травматизму в інших галузях по Україні, причому 75...80% нещасних випадків приходиться на механізовані технологічні процеси.

Одним із трудомістких процесів в рослинництві є внесення добрив, на долю яких припадає 30...35% від загальних затрат праці. Механізація процесу знижує ці затрати на 17...20%, але при цьому підвищується вірогідність травмування операторів під час використання механізмів та устаткування.

**Постановка проблеми.** Нині найбільш розповсюдженим і ефективним є розкидач органічних добрив РОУ-6, який має низькі експлуатаційні витрати. Аналіз летального травматизму показав, що кожний десятий випадок виник під час обслуговування агрегатів. Тому, питання підвищення безпеки праці операторів мобільних розкидачів органічних добрив є актуальними [1].

**Аналіз стану питання.** Значну небезпеку для персоналу в конструкції агрегату створюють шнекові барабани та карданний вал.

Основні причини травмування механізаторів це:

- очищення кузова і робочих органів розкидача від залишків органічних добрив;
- звільнення заклинених шнекових барабанів від чужорідних включень;
- виконання ремонтних робіт в кузові мобільного розкидача добрив при працюючому двигуні трактора, з яким агрегується машина;
- виконання технічного обслуговування, регулювання і очищення від решток при включеному приводі вала відбору потужності трактора, з яким агрегується машина.

Із аналізу статистичних даних було встановлено, що зі збільшенням віку оператора спостерігається зниження числа травмованих, що пояснюється:

- а) придбанням навичок безпечного виконання робіт;
  - б) перевага обдуманих дій над необґрунтованим ризиком при роботі;
  - в) додаткові труднощі доступу до робочих органів, що викликано похилим віком.
- Зрозуміло, що передбаченого комплексу профілактичних заходів по попередженню нещасних випадків під час експлуатації мобільних розкидачів недостатньо і тому необхідно розробити та дослідити роботу блокувальних технічних засобів [2 – 4].

**Мета досліджень** – зниження травматизму мобільних агрегатів для

внесення органічних добрив, шляхом розробки та дослідження роботи технічних засобів захисту механізаторів.

**Викладення основного матеріалу.** Для досягнення поставленої мети була розроблена математична модель, з використанням якої забезпечувалась безпечна експлуатація агрегату під час очищення робочих органів шнекових барабанів. В основу моделі взято: моторно-трансмісійна установка трактора; виконавчий та клерувальний механізм блокувального пристрою.

На вході моделі вибрано крутний момент на валу відбору потужності трактора. На виході системи – вірогідність роботи без травм, що контролюється часом швидкодії блокувального пристрою [5]. Обернений зв'язок забезпечує умову, коли роз'єднуються муфти і проходить повна зупинка робочих органів гальмом блокувального пристрою, тоді оператор здійснюватиме роботу в кузові розкидача добрив без травмування. В цьому випадку момент гальмування більший або дорівнює крутному моменту. На рис. 1 представлений графік залежності між швидкодією системи блокування і безпекою оператора мобільного розкидача добрив при роботі в зоні дії шнекових барабанів.

Точка А – це середньостатистичний час попадання оператора в небезпечну зону. Відрізок АВ відповідає швидкодії системи блокування з гарантованою безпекою обслуговування робочих органів. Координати точок А і В визначаються дослідним шляхом.

Для оцінки вірогідності  $P(t)$  травмування оператора мобільного розкидача добрив використаємо коефіцієнт безпечної діяльності:  $k_d = 1 - P(t)$  [6,7,8].

Для досягнення поставленої мети був розроблений пристрій блокування робочих органів розкидача органічних добрив, який включає роз'єднуючу муфту, барабанне гальмо, механізм керування пристроєм. Принцип роботи пристрою полягає в роз'єднанні привода розкидача муфтою і блокування обертів робочих органів розкидача гальмом.

Під час реалізації програми досліджень використовувались методика аналізу та прогнозування травматизму, експертної оцінки, матричне планування експерименту і хронометраж [9–12].

Виходячи із аналізу конструкції блокування і апріорної інформації, визначені наступні впливові фактори: зусилля на сходи блокувального пристрою, відповідно до маси людини, котра піднімається до кузова мобільного розкидача добрив в межах 55...75 кг; кількість обертів гвинта від 1 до 11,0 об., зміна зусилля пружини 410...610Н блокувального пристрою; частота обертів вала відбору потужності трактора, з яким агрегується машина 200...540  $\text{хв}^{-1}$ .

Для визначення оптимальних параметрів і режимів спрацювання запропонованого пристрою було використане матричне планування експерименту із наступною статистичною обробкою результатів досліджень. По результатам досліджень визначені закономірності впливу факторів на безпеку роботи операторів мобільного розкидача органічних добрив і представлені у вигляді загального рівняння регресії (1).

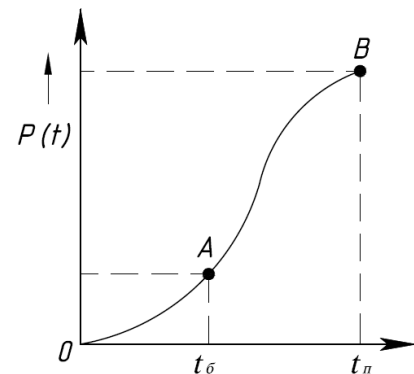


Рис. 1 – Вірогідність попадання робочого в небезпечну зону дії шнекових барабанів в залежності від часу

$$t_b = 4,6571 - 0,1113F_m + 0,1715F_N - 0,0509f - 0,0025F_m \cdot F_N + 0,0042F_N \cdot f + 0,00065F_m^2 + 0,0105F_N - 0,0025 \cdot f^2 \quad (1)$$

де  $F_m$  – зусилля на сходах драбини при масі людини 55...75 кг;  $F_N$  – зусилля пружини блокувального пристрою;  $f$  – частота обертання ВВП трактора, з яким агрегатується машина.

Перевірка по критерію Фішера показала, що при рівні значущості 0,05 модель регресії адекватно описує процес дослідження.

Згідно моделі регресії графічні залежності часу спрацювання блокувального пристрою від зміни значення окремого фактору при граничних значеннях двох інших відповідного рівняння представлені на рис. 2.

При зміні частоти обертів вала відбору потужності трактора (рис.2) час до повної зупинки робочих органів мобільного розкидача органічних добрив змінюється в діапазоні 0,05...0,45 с, а при варіанті фактору  $F_m$  в межах досліджень (рис.3) спостерігається зміна критерію оптимізації на 0,075...0,75 с. найбільше впливає на час швидкодії системи блокування кількість обертів гвинта пружини (рис.4) і складає десь 0,75...1,55 с.

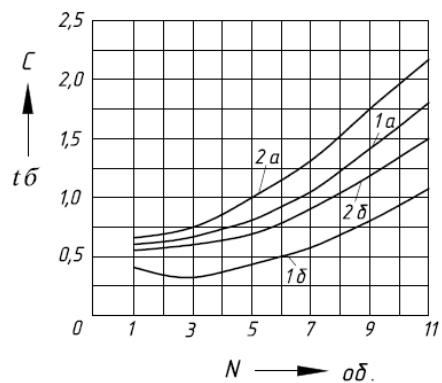
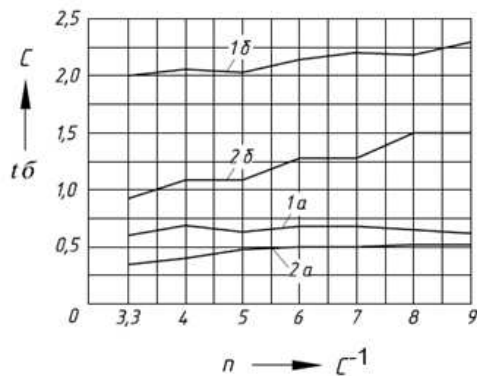


Рис. 2 – Залежність часу швидкодії системи блокування від частоти обертів вала відбору потужності при: 1а і 2а відповідно  $N=1\text{об}$  і  $N=11\text{об}$  при  $m=55\text{ кг}$ ; 1б і 2б відповідно  $N=1\text{об}$  і  $N=11\text{об}$  при  $m=75\text{ кг}$ .

Рис. 3. Залежність часу швидкодії системи блокування від зусилля на сходах при: 1а і 2а відповідно  $N=1\text{об}$  і  $N=11\text{об}$  при  $n=3,3\text{с}^{-1}$ ; 1б і 2б відповідно  $N=1\text{об}$  і  $N=11\text{об}$  при  $n=9,0\text{с}^{-1}$ .

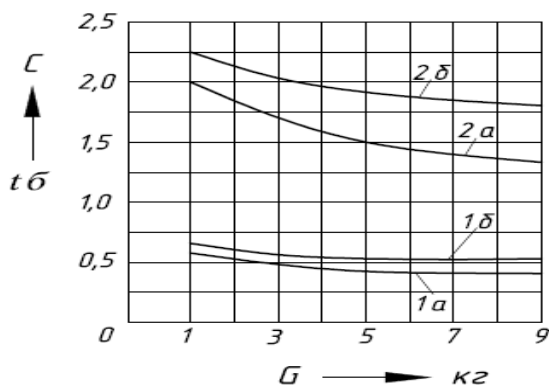


Рис. 4 – Залежність часу швидкодії системи блокування від кількості обертів гвинта пружини при: 1а і 2а відповідно  $n=3,3\text{с}^{-1}$  і  $n=9,0\text{с}^{-1}$  при  $m=55\text{ кг}$ ; 1б і 2б відповідно  $n=3,3\text{с}^{-1}$  і  $n=9,0\text{с}^{-1}$  при  $m=75\text{ кг}$ .

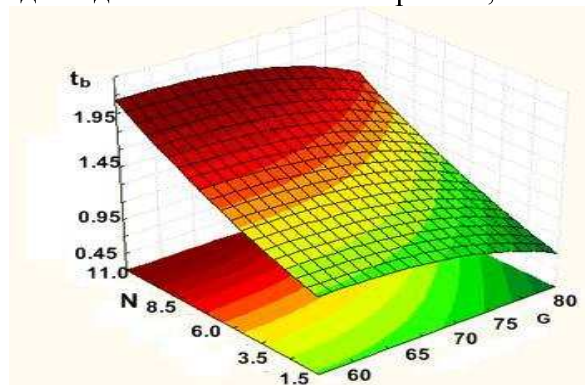


Рис. 5 – Поверхня відгуку, яка характеризує час швидкодії від зусилля на сходах керування роз'єднуючою муфтою, гальмом і числом обертів закручування гвинта пружини при  $n=6,15\text{с}^{-1}$ ;  $t_b$  – час швидкодії блокування пристрою, с;  $N$  – кількість обертів гвинта, що змінює зусилля пружини блокуючого пристрою, об;  $G$  – зусилля на драбині блокувального пристрою, кг.

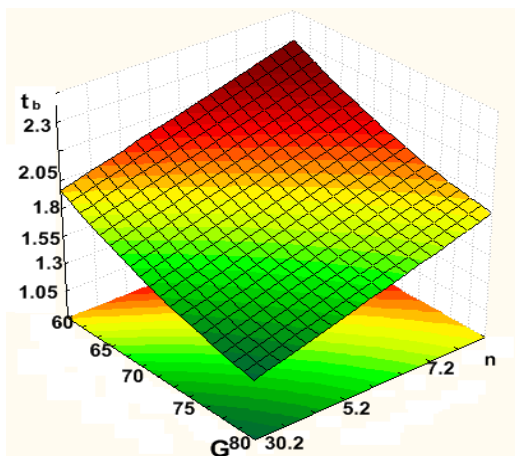


Рис. 6 – Поверхня відгуку, яка характеризує час швидкодію від зусилля на сходах керування муфти, гальма, частоти обертів відбору потужності при  $N=10,5$  об:  $t_b$  – час швидкодії блокування пристрою, с;  $G$  – зусилля на драбині блокувального пристрою, кг;  $n$  – частота обертів ВВП,  $\text{с}^{-1}$ .

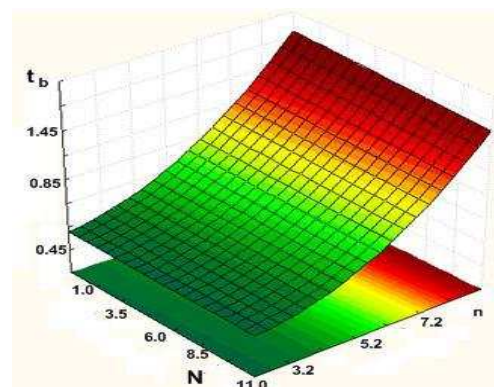


Рис. 7 – Поверхня відгуку, що характеризує час швидкодії в залежності від числа обертів закручення гвинта жорсткості пружини і частоти обертання відбору валом потужності трактора при 65 кг:  $t_b$  – час швидкодії блокування пристрою, с;  $N$  – кількість обертів гвинта, що змінює зусилля пружини блокую чого пристрою, об;  $n$  – частота обертів ВВП,  $\text{с}^{-1}$ .

Розроблена математична модель визначає наступні оптимальні значення впливових факторів, які забезпечують узгодження конструктивних параметрів блокувального пристрою та раціональні режими безпечної експлуатації розкидача добрив:

- зусилля на сходах блокувального пристрою  $G=715\dots775\text{A}$ ;
- зусилля пружини блокувального пристрою  $F=60\dots620\text{ Н}$  при  $N=10\dots11$  об;
- частота обертання валу відбору потужності трактора, з яким агрегується трактор –  $n=200\dots320\text{хв}^{-1}$ .

Параметри безпеки діяльності оператора мобільного розкидача добрив при виконанні рекомендацій, розроблених згідно із приведеною математичною моделлю складає  $k_d=0,925\dots0,985$ , час швидкодії блокувального пристрою під час раціонального режиму роботи мобільного розкидача добрив дорівнює  $1,25\dots1,65$  с, що в  $2,9\dots3,45$  рази менше часу попадання оператора в зону дії шнекових барабанів і складає  $3,5\dots5,85$  с. При таких показниках значно зменшується травмо небезпечність розкидача добрив і скорочується рівень травматизму під час обслуговування запропонованого пристрою в  $3,45\dots3,75$  рази в порівнянні з існуючим.

**Висновки.** За результатами проведеного системного аналізу травматизму операторів сільськогосподарської техніки встановлено, що найчастіше поширеним і ефективним засобом внесення добрив є розкидач органічних добрив РОУ-6. Більшість травм відбувається при роботі із шнековими барабанами машини. Для зниження рівня травматизму запропонований пристрій блокування робочих органів розкидача органічних добрив.

Обґрунтована принципова схема пристрою блокування робочих органів, використання якого приводить до зниження виробничого травматизму під час експлуатації мобільного розкидача добрив. Час швидкодії блокувального пристрою під час експлуатації розкидача добрив складає  $1,25\dots2,0$  с, що є достатньо для

попередження попадання оператора в зону дії робочих органів. Для дослідження ефективності його роботи та розробки рекомендацій щодо оптимальних параметрів його використання побудована математична модель. Із використанням розроблених на основі математичної моделі рекомендацій при застосуванні запропонованого блокувального пристрою забезпечуються коефіцієнт безпечної діяльності оператора, який сягає значення 0,98. На даному етапі проводяться подальші дослідження щодо вдосконалення та оптимізації параметрів запропонованого пристрою блокування робочих органів.

**Список літератури:** 1. *Прасолов, Є. Я.* Вдосконалення агрегату для розкидання мінеральних добрив Текст. / *Є. Я. Прасолов, Є. В. Педора, Я. В. Бочарова* // Вісник НТУ «ХПІ» Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ» – 2013 р. – № 38 (1011) – С 26–33. 2. *Чепелев, Н. И.* Анализ травматизма и основное направление повышения безопасности при внесении твёрдых органических удобрений Текст. / *Н.И. Чепелев, А.В. Зотов, А. В. Гордеев, А. Ю. Щёкин* // Вестник КрасГАУ – 2009. – №7 – С. 175–178. 3. *Киндер, Н.В.* Прогнозирование производственных опасностей Текст. / *Н.В. Киндер* // Мех. и электр. сел. хоз-ва. 1982. – № 75 с. 51-53. 4. *Дронте, М. Я.* Анализ производственного травматизма при использовании мобильной сельскохозяйственной техники Текст. / *М. Я. Дронте, Е.Д. Лесков* // Охрана труда в сельском хозяйстве: сб. науч. тр. Лит. СХА. Вильнюс, 1986. – С. 58-62. 5. *Белов, С. В.* Средства защиты в машиностроении: расчет и проектирование: справочник Текст. / *С.В. Белов* [и др.]; под ред. *С. Ф. Белова.* –М.: Машиностроение, 1989. 368 с. 6. *Прыгунов, М. И.* Исследование и пути совершенствования защитных ограждений сельскохозяйственной техники Текст. / *М.И. Прыгунов, А. В. Пыталев* // Охрана труда в АПК: сб. науч. тр. Т. 2. Вильнюс: Мокслас, 1988.-С. 135-138. 7. *Канарев, Ф. М.* Охрана труда Текст. / *Ф. М. Канарев*, [и др.]; под ред. *Ф. М. Канарева.* 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1988. -351 с. 8. *Козлов, В. И.* Модели и алгоритмы решения задач безопасности труда Текст. / *В. И. Козлов.* Рига: Зинатне, 1978. – 131с. 9. Безпечність машин. Основні поняття, загальні принципи проектування. Ч. 2. Технічні принципи і технічні умови: ДСТУ EN 292-2-2001 – [Чинний від 2002-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2002. – 63 с. – (Національний стандарт України). 10. Безпечність машин. Мінімальні зазори для виключення можливості роздавлювання частин тіла людини: ДСТУ EN 349-2002 – [Чинний від 2004-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2004. – 10 с. – (Національний стандарт України). 11. Безпечність машин. Блокувальні пристрої, що з'єднані з огорожами. Принципи проектування і вибору: ДСТУ EN 1088-2003 – [Чинний від 2004-10-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2004. – 32 с. – (Національний стандарт України). 12. *Абегауз, Г. Г.* Справочник по вероятностным расчетам Текст. / *Г. Г. Абегауз, А. П. Тронь, Ю. Н. Копенкин, И. А. Корovina.* М.: Воениздат, 1970. – 536 с.

*Поступила в редколлегию 05.11.2013*

УДК 631.41 (477.8) 631.316; 631.343

**Зниження травм небезпек мобільних агрегатів для внесення добрив технічними засобами захисту / Прасолов Є. Я., Лапенко Т. Г.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 70 (1043). – С.144-148. – Бібліогр.: 12 назв.

Приведен анализ причин возникновения травм и выявлены узлы машин для разбрасывания органических удобрений, работа с которыми является опасной. Разработано устройство блокировки рабочих органов разбрасывателя и построена математическая модель его работы. По результатам математического моделирования разработаны рекомендации по работе с разбрасывателем органических удобрений при использовании предлагаемого устройства, что позволило повысить вероятность безопасной работы до 98 %.

**Ключевые слова:** травматизм, машины для внесения органических удобрений, шнековый барабан, устройство блокировки рабочих органов, математическое моделирование, коэффициент безопасной деятельности.

The analysis of the causes of injuries and identified dangerous units of machines for application of organic fertilizers has been held. Devices lock workers of the spreader and a mathematical model of its operation. According to the results of mathematical modeling developed guidelines for working with organic manure spreader using the proposed device, thus improving the probability of safe operation up to 98 %.

**Keywords:** injuries, machinery for making organic fertilizer, mathematical modeling, the coefficient of safe operation.

**УДК 66.061:569.21**

**В. В. ШМЕЛЬКОВ**, аспирант, НТУ «ХПИ»;

**В. Ф. РАЙКО**, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;

**М. А. ЦЕЙТЛИН**, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСЕДАНИЯ ТВЕРДОЙ ЧАСТИЦЫ, СОПРОВОЖДАЮЩЕЕСЯ ЕЕ РАСТВОРЕНИЕМ**

Рассмотрен процесс осаждения частицы в жидкости под действием сил гравитации, сопровождающийся ее растворением. Получено уравнение для расчета скорости и глубины оседания в произвольный момент времени. Найдено, что оседающая частица движется равнозамедленно с ускорением, зависящим от скорости растворения. Уравнение преобразовано для расчета коэффициента скорости растворения по результатам эксперимента.

**Ключевые слова:** осаждение, растворение, коэффициент скорости растворения, математическое моделирование

**Введение.** Растворение твердых веществ в воде – процесс достаточно широко распространенный в ряде отраслей, в частности, пищевой и химической промышленности, а также энергетике. В большом разнообразии предложенных для этого устройств значительное место принадлежит аппаратам, в которых растворяемый материал находится во взвешенном состоянии в восходящем токе растворителя [1]. Кинетика растворения в этих аппаратах определяется скоростью скольжения растворяемого материала относительно растворителя, которая зависит от структуры потока и физико-химических свойств растворителя, а также геометрии растворяемых частиц и силы гравитации [2]. Последняя является константой и может быть исключена из состава факторов. При ламинарном течении жидкости в солерастворителе структура потоков также оказывает весьма незначительное влияние на скорость скольжения и эту величину можно практически приравнять к скорости оседания растворяемого вещества в растворителе. Таким образом, скорость оседания частиц оказывается определяющим фактором, как в исследовании кинетики растворения, так и в расчете и проектировании солерастворителей с восходящим током растворителя.

**Цель работы.** Настоящая статья посвящена математическому описанию осаждения твердой частицы, которое сопровождается ее растворением и разработке на этой основе методики экспериментального определения коэффициента скорости растворения.

**Обсуждение результатов.** Математическому моделированию растворения твердых веществ в жидкостях посвящена обширная литература и, в том числе, ряд монографий, среди которых следует особо отметить работы [2] и [3]. Методы разработки моделей рассматриваемого процесса можно подразделить на две группы. В первой из них используют теоретические или экспериментальные данные о кинетике растворения одиночных сферических частиц или монодисперсной системы сферических частиц, функции распределения частиц полидисперсного материала по размерам и структуре потока растворителя в рассматриваемом аппарате.

В основе методов второй группы лежит понятие кинетической функции – зависимости доли нерастворившегося компонента от безразмерного времени при