

## ОБОСНОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПЕНОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ВНУТРИПОЧВЕННОГО ЛЕНТОЧНОГО ВНЕСЕНИЯ ЖИДКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

**Мельник В.И., д.т.н., проф. Лукьяненко А.В. ст. преп.**

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства  
имени Петра Василенко*

*В данной работе рассчитана и обоснована производительность пеногенератора для внутрепочвенного внесения жидких средств защиты растений*

**Актуальность.** Применение химических средств защиты растений не безопасно ни для человека, ни для окружающей среды, а, значит, должно базироваться на использовании высокоточного оборудования и тем обеспечивать наивысшее качество выполнения технологических процессов. Только таким образом можно достичь максимальной хозяйственной эффективности обработок при минимальном уроне для природы и человека. В этой связи использование пены при внутрепочвенном ленточном внесении гербицидов (ВЛВГ) представляется весьма актуальным. Во-первых, ВЛВГ уже само по себе относится к экологически щадящим методам [1]. Во-вторых, связанный пеной препарат меньше испаряется и выветривается, а, значит, полнее используется по назначению. В-третьих, такой технологический процесс более надежен, т.к. исключает применение внутрепочвенных распылителей.

**Состояние вопроса.** Само по себе использование пены на машинах для химической защиты растений известно давно, но широкое применение получило только в конструкциях пенных маркеров [2]. Сейчас такие маркеры теряют актуальность, поскольку им на смену приходит автоматическое вождение агрегатов по GPS [3]. Внутрепочвенное внесение пены известно только по работам авторов [4 - 8].

В зависимости от назначения, рабочий орган (РО) для внесения жидких средств химизации в слое пены может быть реализован по-разному. Если, например, при ленточном внутрепочвенном внесении вспененных гербицидов ставится задача минимизировать глубину заделки препарата, то не обойтись без применения стрелчатых РО с развитой сводообразующей частью, которая предупреждает выток пены в образующуюся за стойкой развальную борозду [4]. Если же глубина заделки превышает 6 см, то сводообразующая часть может присутствовать, но в значительно уменьшенном виде. Именно такой рабочий орган рассматривается в работах [1, 8].

**Целью настоящих исследований** является обоснование необходимой производительности пеногенератора. При этом она должна обеспечивать полное заполнение пеной пространства, которое образуется в кинематической

тени РО в процессе его движения на рабочих скоростях, при условии, что обрушение почвы сопровождается сжатием пены и не приводит к ее перемещению в направлении движения РО.

**Постановка задачи.** В работе [8] рассматривается РО для внутрпочвенного ленточного внесения химических средств защиты растений в составе пены. По конструкции он представляет собой симметричную плоскорежущую стрелчатую лапу. На рис. 1 с использованием правой трехмерной декартовой системы координат  $OXYZ$  представлена схема левого лемеха РО в состоянии движения под слоем почвы.

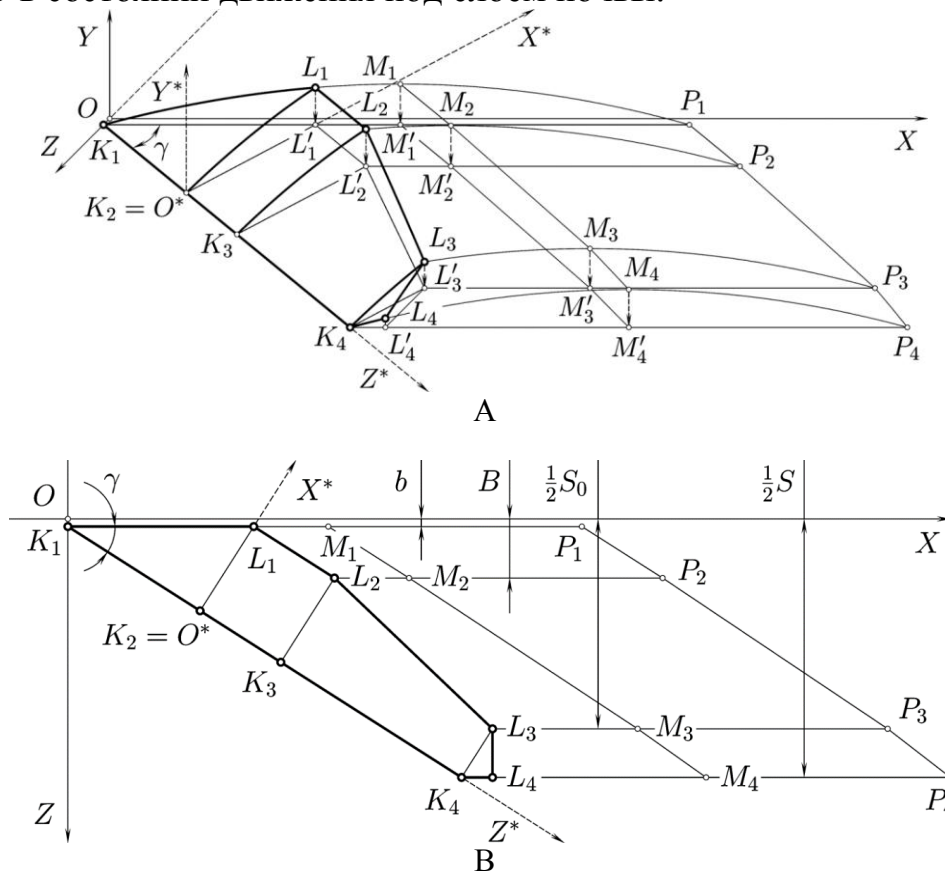


Рисунок 1 – Схема левого лемеха рабочего органа и формообразующих линий полости, которая образуется в его кинематической тени в процессе движения под слоем почвы: А – объемное представление; В – вертикальная проекция

Система координат  $OXYZ$  расположена и сориентирована таким образом, что плоскости  $OXZ$  и  $OXY$  совпадают, соответственно, с плоскостями резания и симметрии РО, а ось абсцисс параллельна вектору  $\vec{v}_0$  относительной скорости РО и совпадает с ним по направлению. Носок лемеха (точка  $K_1$ ) лежит на оси  $OZ$  и отстоит от начала координат (длина отрезка  $OK_1$ ) на величину  $b$  половины толщины стойки, которая на рис. 1 не показана. Тут же в кинематической тени стойки располагается канал для подвода рабочего вещества в виде пены (на рисунке также не показан). Место ее вытока находится ниже уровня цилиндрической лобовой поверхности (ЦЛП)  $K_1K_2K_3K_4L_4L_3L_2L_1$  лемехов лапы. Таким образом, в процессе рабочего хода РО пена изначально располагается вдоль оси  $OX$ .

Основные параметры рабочего органа следующие:  $h$  — максимальная высота РО без учета стойки, равна длине вертикальных отрезков  $L_1L'_1$  или  $L_2L'_2$ ;  $S$  — ширина захвата стрелчатого рабочего органа;  $S_0$  — гарантированная ширина полосы внесения пены;  $B$  — ширина, в пределах которой стрелчатый РО сохраняет свою максимальную высоту  $h$ ;  $b$  — смещение лемеха относительно плоскости симметрии РО, которое равно половине толщины стойки, измеренной на уровне крепления лемехов;  $\gamma$  — половина угла раствора лемехов РО. Параметр  $b$  вместе с углом  $\gamma$  посредством линейного уравнения.

$$z = \operatorname{tg} \gamma x + b \quad (1)$$

определяют ориентацию режущей кромки  $K_1K_4$  левого лемеха РО.

Для точного описания формы ЦЛП  $K_1K_2K_3K_4L_4L_3L_2L_1$  лемехов лапы используем новую правую декартову систему координат,  $O^*X^*Y^*Z^*$  с точкой привязки  $O^*$ , совпадающей с точкой  $K_2$ , которая в общем случае может располагаться в любом месте на режущей кромке  $K_1K_4$  лемеха. Ориентация осей системы  $O^*X^*Y^*Z^*$  понятна из рис. 1. В этой системе ЦЛП левого лемеха определяется уравнением образующей  $O^*L_1$  [8]:

$$y^* = \alpha_2 x^{*2} + \alpha_1 x^* + \alpha_0, \quad (2)$$

где:  $\alpha_0 = 0,0$ ;  
 $\alpha_1 = 0,498009$ ;  
 $\alpha_2 = -0,003299$ .

В качестве направляющей служит режущая кромка  $K_1K_4$  (1). В координатах  $(x, y, z)$  уравнение ЦЛП  $K_1K_2K_3K_4L_4L_3L_2L_1$  лемеха представляется так [8]:

$$y = a_2 [x \sin \gamma + (b - z) \cos \gamma]^2 + a_1 [x \sin \gamma + (b - z) \cos \gamma] + a_0. \quad (3)$$

Угол трения почвы о металл, равно как и состояние самой почвы, считаем фиксированными.

Рассматривая кинематику образования полости в почве, исходим из того, что частица, столкнувшись с ЦЛП РО и пройдя по ней, во-первых, совершает плоское движение; во-вторых, совсем не теряет горизонтальной составляющей

своей относительной скорости, которая остается равной  $v_x = v_0$ ; в-третьих, приобретает вертикальную составляющую скорости, которая определяется из условия безотрывности ее скольжения по лобовой поверхности уравнением

$v_y = v_0 \operatorname{tg} \alpha$ , где  $\alpha$  — угол между горизонтальной линией и параллельной к плоскости симметрии РО касательной к ЦЛП лемеха в текущей точке на траектории движения частицы.

После схода с ЦЛП частицы движутся в состоянии свободного полета по траектории [8]:

$$y = y_l + (x - x_l) \operatorname{tg} \alpha_l - \frac{g(x - x_l)^2}{2v_0^2}, \quad (4)$$

где:  $x_l$  и  $y_l$  — координаты частицы в момент ее схода с ЦЛП;  
 $\alpha_l$  — значение угла  $\alpha$  в точке отрыва частицы от ЦЛП.

С учетом принятой гипотезы о безотрывном скольжении частиц почвы по ЦЛП, точка схода частиц с ЦЛП принадлежит линии  $L_1L_2L_3L_4$  заднего обреза лемеха.

Для описания интересующей нас динамической полости в почве достаточно знать четыре таких траектории  $L_iM_iP_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ). Кусочно-сочлененная линия  $M_1M_2M_3M_4$  определяет геометрическое место максимумов на этих траекториях, а  $P_1P_2P_3P_4$  — начало области обрушения поднятой в полет почвы, на плоскость резания. Точки  $L'_i$  и  $M'_i$  — являются проекциями на плоскость резания уже известных точек  $L_i$  и  $M_i$ .

Введем обозначение:  $\alpha_{li}$  — углы схода частиц почвы в момент их отрыва от ЦЛП РО в точках  $L_i$ , с координатами  $(x_{li}, y_{li}, z_{li})$ . В таком случае горизонтальная  $v_{xli}$  и вертикальная  $v_{yli}$  составляющие скорости отрыва равны

$$v_{xli} = v_0, \quad v_{yli} = v_0 \operatorname{tg} \alpha_{li}, \quad (i = 1, 2, 3, 4) \quad (5)$$

где  $\operatorname{tg} \alpha_{li}$  определяется частной производной от уравнения ЦЛП (3) [8]

$$\operatorname{tg} \alpha_{li} = \left. \frac{\partial y}{\partial x} \right|_{(x=x_{li}; z=z_{li})} = \{2a_2[x_{li} \sin \gamma + (b - z_{li}) \cos \gamma] + a_1\} \sin \gamma, \quad (i = 1, 2, 3, 4). \quad (6)$$

**Результаты.** Мысленно представим, что поднятая в результате взаимодействия с ЦЛП РО почва, замирает на высоте максимального подъема и назад на плоскость резания не возвращается. В таком случае в кинематической тени РО образуется непрерывный виртуальный канал с площадью нормального сечения равной  $F_n$ . С учетом  $c_w$  нормативной степени его заполнения пеной ( $c_w < 1$  и определяется экспериментально) скорость прироста объема  $W$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) такого канала равна искомой производительности пеногенератора.

$$W = c_w v_0 F_n, \quad (7)$$

где теперь уже реальную величину  $F_n$  следует понимать, как площадь нормальной проекции на координатную плоскость  $OYZ$  криволинейного кусочносочлененного вертикального сечения динамической полости, которая образуется в кинематической тени РО, при условии, что секущая поверхность проходит через точки максимумов  $M_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) на траекториях, сходящих из ЦЛП РО частиц. Введем обозначения:  $y_{mi}$  и  $z_{mi}$  — ординаты и аппликаты точек  $M_i$ . Тогда  $F_n$  определяется так:

$$F_n = 2(F_m + by_{mi}), \quad (8)$$

где:  $F_m$  — площадь нормальной проекции пространственного многоугольника  $M_1M_2M_3M_4M'_4M'_3M'_2M'_1$  на плоскость  $OYZ$ ;  
 $by_{ml}$  — составляющая объема полости, образующейся за половиной стойки;  
 $y_{ml}$  — ордината точки максимума  $M_1$  на ближайшей к стойке траектории полета частицы.

Появление множителя "2" связано с симметрией РО и наличием двух лемехов. В свою очередь  $F_m$  определяется формулой

$$F_m = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 (y_{mi+1} + y_{mi}) (z_{mi+1} - z_{mi}), \quad (9)$$

где  $y_{mi}$  определим, как максимум подъема частицы после ее схода с ЦЛБ

$$y_{mi} = y_{li} + \frac{v_0^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_{li}}{2g}, \quad (i = 1, 2, 3, 4), \quad (10)$$

где  $y_{li}$  и  $\operatorname{tg} \alpha_{li}$  определяется выражениями (3) и (6), соответственно. После их подстановки в (10) получаем

$$y_{mi} = a_2 [x_{li} \sin \gamma + (b - z_{li}) \cos \gamma]^2 + a_1 [a_{li} \sin \gamma + (b - z_{li}) \cos \gamma] + a_0 + \frac{v_0^2}{2g} \{2a_2 [x_{li} \sin \gamma + (b - z_{li}) \cos \gamma + a_1]\}^2 \sin^2 \gamma \quad (i = 1, 2, 3, 4). \quad (11)$$

Для того, чтобы воспользоваться выражениями (11) и (9) нам необходимо знать координаты  $x_{li}$ ,  $z_{li}$  точек  $L_i$  и аппликаты  $z_{mi}$  точек  $M_i$ , когда  $i = 1, 2, 3, 4$ .

Величины аппликат  $z_{li} = z_{mi}$  точек  $L_i$  и  $M_i$  известны из рис 1

$$z_{l1} = z_{m1} = b, \quad z_{l2} = z_{m2} = B, \quad z_{l3} = z_{m3} = \frac{1}{2} S_0, \quad z_{l4} = z_{m4} = \frac{1}{2} S, \quad (12)$$

Кроме того из рис. 1 известно, что

$$y_{l1} = y_{l2} = h. \quad (13)$$

Абсциссы  $x_{l1}$  и  $x_{l2}$  точек  $L_1$  и  $L_2$  линии  $L_1L_2$  определим воспользовавшись уравнением ЦЛП (3) исходя из условия  $y = y_{l1} = y_{l2} = h$  (13):

$$a_2 [x \sin \gamma + (b - z) \cos \gamma]^2 + a_1 [x \sin \gamma + (b - z) \cos \gamma] + a_0 - h = 0. \quad (14)$$

Из последнего, решением относительно  $z$  получаем

$$z = x \operatorname{tg} \gamma + b + \frac{a_1 \mp \sqrt{a_1^2 - 4a_2(a_0 - h)}}{2a_2 \cos \gamma}. \quad (15)$$

Если принять во внимание, что  $a_0=0,0$ ;  $a_1=0,498009$ ;  $a_2= - 0,003299$ , то можно утверждать, что в (15) следует использовать верхний знак. Теперь последовательно выполнив подстановку  $z = z_{l1}$  и  $z = z_{l2}$  в уравнение (15) и

решив полученное относительно  $x$  находим

$$x_{l1} = \frac{\sqrt{a_1^2 - 4a_2(a_0 - h) - a_1}}{2a_2 \sin \gamma}, \quad (16)$$

$$x_{l2} = \frac{B-b}{\operatorname{tg} \gamma} + \frac{\sqrt{a_1^2 - 4a_2(a_0 - h) - a_1}}{2a_2 \sin \gamma}. \quad (17)$$

Абсциссу  $x_{l3}$  точки  $L_3$  определим из условия, что, во-первых,  $z_{l3} = \frac{1}{2}S_0$  (12), во-вторых, линия  $L_3K_4$  (рис. 1В) перпендикулярна  $K_1K_4$  и, в-третьих, координаты  $(x_{k4}, z_{k4})$  конечной точки  $K_4$  определяются из уравнения режущей кромки  $z = \operatorname{tg} \gamma x + b$  (1) при  $z = z_{k4} = \frac{1}{2}S$

$$x_{k4} = \frac{S-2b}{2\operatorname{tg} \gamma}, \quad z_{k4} = \frac{1}{2}S. \quad (18)$$

Теперь, поскольку уравнение линии  $L_3K_4$  следующее

$$z = \operatorname{tg} \left( \frac{1}{2}\pi + \gamma \right) (x - x_{k4}) + z_{k4}, \quad (19)$$

то с учетом значений  $x_{k4}, z_{k4}$  (18) находим

$$x_{l3} = \frac{1}{2}(S - S_0)\operatorname{tg} \gamma + \frac{S-2b}{2\operatorname{tg} \gamma}. \quad (20)$$

Абсцисса  $x_{l4}$  известна из конструкции РО (рис. 1)

$$x_{l4} = x_{l3} \quad (21)$$

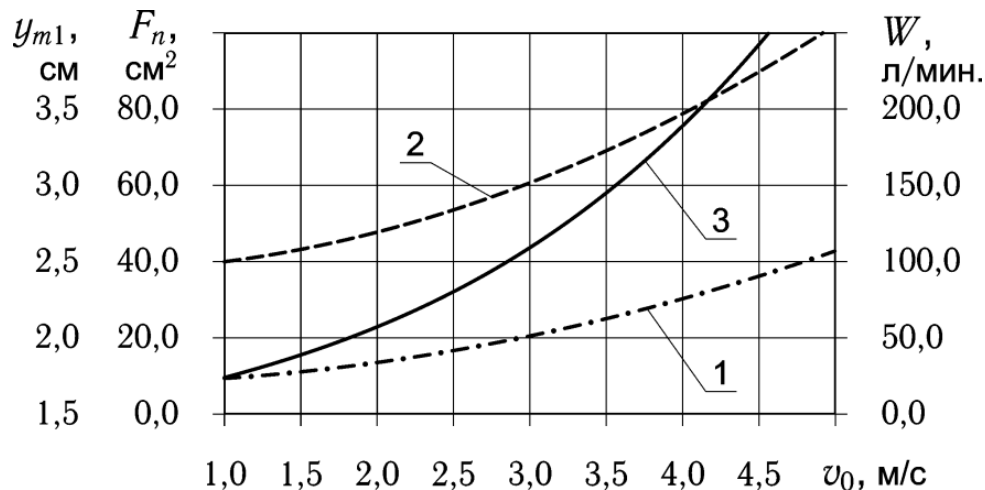


Рис. 2. Зависимость величины ординаты  $y_{mi}$  (11) (кривая 1), площади вертикального сечения полости в почве  $F_n$  (8) (кривая 2) и требуемой производительности пеногенератора  $W$  (7) (кривая 3) от скорости движения  $v_0$  рабочего органа, когда нормативное заполнение полости пены  $c_w = 0,1$

Тогда с учетом определения координат  $x_{li}$  (16), (17), (20), (21),  $z_{li} = z_{mi}$



(12), а также выражений для ординат  $z_{mi}$  (11) и площадей  $F_n$  (8),  $F_m$  (9) искомая величина  $W$  (7) требуемой производительности пеногенератора является определенной. На рис. 2 представлены графики, которые соответствуют заданному значению коэффициента нормативного заполнения полости пеной  $c_w=0,1$  и другим параметрам РО, приведенным выше. Их нелинейность связана с нелинейностью выражений, определяющих величину площадей,  $F_n$  (8),  $F_m$  (9).

Теперь сформулируем требования к перспективным машинам для ВЛВГ:

- расход рабочей жидкости должен укладываться в характерный для малообъемного внесения интервал 5 - 50 л/га [1];
- кратность пены должна быть не меньше той, которая сейчас реально достигаемая на пенных маркерах и составляет 1:100 [2];
- расход рабочей жидкости одним распылителем пеногенератора  $\leq 1$  л/мин [1];
- на каждый рядок растений должен приходиться один отдельный пеногенератор и соответственно один распылитель.

Если теперь взять верхние пределы интервалов указанных величин, то при возделывании сельхозкультур, например, кукурузы или подсолнечника, с шириной междурядий 0,7 м, рабочая скорость агрегата  $U_0$  должна быть больше 17,14 км/ч (4,76 м/с), а производительность  $W$  одного пеногенератора равняться 100 л/мин. Из рис. 2 видно, что для таких значений  $U_0$  с позиций заполняемости полости в почве, даже с учетом коэффициента заполнения  $c_w = 0,1$ , производительность пеногенератора  $W$  должна превышать 200 л/мин. Разумеется такую производительность пеногенератора можно обеспечить если увеличить расход рабочей жидкости до 2 л/мин и более. Но в таком случае общий расход рабочей жидкости выйдет за пределы малообъемного внесения, что не желательно.

**Выводы.** Для того чтобы обеспечить внутрпочвенное ленточное внесение пены с общим расходом рабочей жидкости, укладываемым в характерный для малообъемного внесения интервал 5 - 50 л/га, необходимо либо увеличивать кратность пены, в разы превышающую достигнутый уровень 1:100, либо применять рабочие органы, которые могли бы надежно осуществлять технологический процесс с долей заполнения полости в почве, которая составляет несколько процентов. Последнее реализовано авторами в конструкции рабочего органа с развитой сводообразующей частью, предусматривающей наличие ребер для принудительного перераспределения пены в пределах ширины полосы обработки. В любом случае, каким бы ни был рабочий орган, крайне желательно, чтобы производительность обслуживающего один рядок пеногенератора составляла 100 - 200 л/мин.

### Список использованной литературы

- Мельник В.И. Внутрпочвенное внесение жидкостей в растениеводстве: [монография] / В.И. Мельник. - Харьков: "Міськдрук", 2010. - 439 с.
- Ямников Ю. Маркеры для опрыскивателей / Юрий Ямников // Поле Августа, 2004. - №5(16). - С. 8.
- Скажіть маркеру — "до побачення"! // Новини агротехніки: виробничо-практичний журнал, 2007. №3. - С. 40 - 43.

4. Пат. 47751 Україна, МПК6 А 01 С 23/00, А 01 М 7/00. Спосіб підповерхневого внесення засобів хімізації у ґрунт / Мельник В.І., Лук'яненко О.В.; власник: Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка (UA). - № u200908160; заявл. 03.08.2009; опубл. 25.02.2010. Бюл. № 4/2010.
5. Мельник В.І. Обґрунтування методу для внесення рідких засобів хімізації [Текст] / В.І. Мельник, О.В. Лук'яненко // Вісник Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва: Зб. наук. праць / Харків: Дільниця оперативного друку ХНАУ, 2009. № 11(1). С. 17 - 19.
6. Мельник В.І. Спосіб підповерхневого ультрамолооб'ємного внесення рідких засобів хімізації і робочий орган для його здійснення [Текст] / В.І. Мельник, О.В. Лук'яненко, А.В. Павленко // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Випуск 107, Том 2 / Харків: Друкарня ФОП Червяк В.Є., 2011. -С 208-211.
7. Мельник В.И. Аргументированный выбор поверхностно-активного вещества для внутрпочвенного внесения химических средств защиты растений [Текст] / В.И. Мельник, А.В. Лукьяненко, С.В. Смицкая // Якість технологій і освіти: Зб. наук. праць Української інженерно-педагогічної академії (УІПА), 2011. -№ 2. -С. 117 - 119.
8. Мельник В.И. Обоснование формы лобовой поверхности рабочего органа для внутрпочвенного внесения пены [Текст] / В.И. Мельник, А.В. Лукьяненко, А.В. Борох // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Випуск 124, Том 2 / Харків: Друкарня ФОП Червяк В.Є., 2012. - С. 255 - 266.

## Анотація

### **ОБГРУНТУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПІНОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ПІДПОВЕРХНЕВОГО СТРІЧКОВОГО ВНЕСЕННЯ РІДКИХ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ РОСЛИН**

Мельник В.І., Лук'яненко О.В.

*У даній роботі розрахована і обґрунтована продуктивність пеногенератора для підповерхневого внесення рідких засобів захисту рослин*

## Abstract

### **RATIONALE FOR PERFORMANCE FOAM GENERATOR SUBSURFACE BANDING LIQUID PLANT PROTECTION PRODUCTS**

V. Melnik, A. Lukyanenko.

*In this paper we calculate and validate the performance of the foam generator for subsurface application of liquid plant protection products*