

УДК (636.085.51:631.589.2):621.492

UDC (636.085.51:631.589.2):621.492

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСЕВНОГО МАТЕРИАЛА ПО ВЕГЕТАЦИОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЛОТКА ГИДРОПОННОЙ УСТАНОВКИ**THE STUDY OF THE PROCESS OF SEED DISPERSAL OVER THE PLANT GROWING SURFACE OF A TRAY IN HYDROPONIC SYSTEM**

Соколенко Оксана Николаевна
старший преподаватель кафедры машин и аппаратов пищевых производств
РИНЦ SPIN-код: 3902-5014
sokolenko.oksana@mail.ru
*ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»
298309, ул. Орджоникидзе, 82, Керчь, Республика Крым, Россия.*

Sokolenko Oksana Nikolaevna
Senior lecturer of the Academic Department of machinery and equipment for food production
SPIN-code: 3902-5014
sokoleko.oksana@mail.ru
*FSBEI HE "Kerch State Maritime Technological University"
298309, Ordzhonikidze St., 82. Kerch, the Republic of Crimea, the Russian Federation,*

Общим недостатком оборудования для выращивания гидропонного зеленого корма (ГЗК) является низкий уровень механизации посевных и уборочных работ. Разработанная установка представляет собой многоярусную конструкцию, на каждом ярусе которой расположен лоток, на котором происходят процессы распределения посевного материала, проращивания и выгрузки выращенного ГЗК. В результате качения лотка с трубой относительно ее оси в противоположные стороны, движущийся слой посевного материала покрывает равномерным по толщине слоем всю поверхность лотка. Разработана математическая модель динамики системы «сыпучая среда – лоток», на основании которой после проведения имитационного моделирования, были определены рациональные углы отклонения лотка, находящиеся в диапазоне 20 – 30 градусов. Экспериментальные исследования проводились с ячменем сорта Вакула, влажностью 10%, 14%, 16% и 18%, в ходе которых определены основные факторы, влияющие на рассматриваемый процесс: влажность зерна ячменя; начальный угол отклонения лотка; количество качений лотка. Установлено, что повышение коэффициента заполнения лотка достигается фиксированием начального угла его отклонения от горизонта, зависящего от влажности ячменя, используемого в процессе производства ГЗК. Для сухого зерна влажностью 10 – 14%, а также для влажного и сырого зерна этот угол составляет 22 – 24 и 25 – 27 градусов соответственно. Для получения конечной продукции высокого качества необходимо установить предельную влажность посевного материала, принимаемого на технологический процесс. При производстве ГЗК должен использоваться ячмень влажностью 10 – 15%, а углы наклона лотка соответственно 23 – 25 градусов

The low rate of planting and harvesting mechanization is a common drawback of the equipment for hydroponic green fodder (HGF) cultivation. The system, that has been developed, is represented by a rack construction with a tray positioned on each rack; a tray is the place where the processes of seed dispersal and growth and the takeout of grown HGF occur. A tray with a pipe sways in opposite directions over pipe axis, and, as a result, moving bulk of seeds covers the entire tray surface with a seed layer of uniform thickness. The mathematical model of dynamics in the “granular medium – tray” system has been developed; on the basis of this model, after execution of simulation modeling, practical angles of tray tilt were identified as being within the range of 20 – 30 degrees. Experimental investigations have been carried out on the barley of “Vakula” cultivar with seed moisture contents 10%, 14%, 16% and 18%. During the research, the main factors influencing the process under consideration were identified: the moisture content in barley seeds; initial angle of tray tilt; the number of tray swaying motions. It was determined that the increase of tray filling rate can be achieved by means of setting up the initial angle of its tilt from a reference level, which depends on the moisture content in the barley seeds used in the process of HGF production. This angle is 22 – 24 degrees for the dry barley seed with moisture content 10-14% and 25 – 27 degrees for the barley seed with higher moisture content. The upper limit of moisture content in the seeds used in work process should be specified to achieve high quality of a final product. The barley seeds with moisture content 10-15% and the angles of tray tilt 23 – 25 degrees should be used during HGF production

Ключевые слова: ГИДРОПОННЫЙ ЗЕЛЕНЬЙ КОРМ (ГЗК), ГИДРОПОННАЯ УСТАНОВКА, СИСТЕМА «СЫПУЧАЯ СРЕДА – ЛОТОК»,

Keywords: HYDROPONIC GREEN FODDER (HGF), HYDROPONIC SYSTEM, “GRANULAR MEDIUM - TRAY” SYSTEM, PLANTING, OPER-

1. Введение

Решение многих задач, возникших в последнее время в АПК Крыма, в значительной степени зависит от технической оснащенности сельскохозяйственных производств, а также внедрения новых передовых технологий. Особое внимание следует уделить таким отраслям как животноводство и птицеводство, конечная продукция которых занимает первое место в питательном рационе человека.

В последнее время повышается интерес к методам и технологиям, позволяющим государственным, фермерским и подсобным сельскохозяйственным производствам самостоятельно и с малыми материально-финансовыми затратами, получать сбалансированные кормовые рационы в течение всего года. Одной из перспективных инновационных технологий является технология гидропонного выращивания зеленых кормов [1, 2, 3, 4]. Гидропонный зеленый корм (ГЗК) содержит требуемые питательные вещества и витамины, хорошо поедается и усваивается, является экологически чистой продукцией, а также его производство отличается простотой и экономичностью [5]. Общим недостатком большинства существующего оборудования для выращивания ГЗК является низкий уровень механизации посевных и уборочных работ [1, 6].

2. Постановка задачи

Разработать математическую модель динамики системы «сыпучая среда – лоток» гидропонной установки, а также провести имитационное моделирование данного процесса. На основании результатов экспериментальных исследований подтвердить адекватность полученной математической модели, с целью определения рациональных параметров работы гидропонной установки.

3. Результаты исследований

Разработанная гидропонная установка представляет собой многоярусную конструкцию, на каждом ярусе которой расположен лоток, на котором происходят процессы распределения посевного материала, проращивания и выгрузки выращенного ГЗК. Ярусы гидропонной установки расположены вертикально друг над другом и объединены общей тягой и одним приводным механизмом, т.е. работают в синхронном режиме. Лоток гидропонной установки представляет собой гладкую прямоугольную поверхность с бортами по его периметру, длина которого значительно больше всех остальных его размеров. Лоток жестко крепится к цилиндрической трубе (по его длине), которая в свою очередь шарнирно крепится к каркасной конструкции установки. Шарнирное крепление позволяет проворачиваться трубе с жестко закрепленным на ней лотком, в результате чего данная система является подвижной.

Для определения рациональных режимов работы разработанной гидропонной установки, необходимо составить и описать комплексную математическую модель всей системы [7, 8, 9, 10]. В процессах посева и выгрузки лоток совершает определенное колебательное движение (качение относительно оси трубы), позволяющее осуществить две технологические операции. В результате качения лотка с трубой относительно ее оси в противоположные стороны, посевной материал перемещается от одного борта прямоугольной поверхности к другому борту. Движущийся слой посевного материала от одного качения к другому постоянно расширяется по поверхности, что и обеспечивает его равномерное распределение. После определенного числа качений посевной материал покрывает равномерным по толщине слоем всю поверхность лотка.

Для построения математической модели используем уравнение движения в векторной записи в переменных Эйлера и уравнение неразрывно-

сти механической среды [9, 10], в результате детализации которых, с учетом того, что ($\rho = const$), получим следующую систему уравнений

$$\begin{cases} \frac{\partial v_x}{\partial t} = -\ddot{\Omega} - g \cdot \sin \alpha - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right), \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} = -\rho g \cdot \cos \alpha, \\ \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $v_y = v_z = 0$; $\ddot{\Omega}$ – ускорение лотка, c^{-2} ; α – угол наклона лотка к горизонту, град; τ – интенсивность касательных напряжений, H/m^2 .

Для случая плоской деформации, в пластической зоне объем сыпучего материала при деформациях остается постоянным, а главные оси тензоров напряжений и скоростей деформаций образуют между собой угол μ , определяемый из выражения

$$\sin 2\mu = \frac{\omega}{\gamma} \cdot \frac{\partial \tau}{\partial p}, \quad (2)$$

где ω – угловая скорость вращения элемента объема как твердого тела, c^{-1} ; γ – интенсивность скоростей деформации, c^{-1} ; p – статическое давление, Па.

Для определения угловой скорости вращения элемента объема составим антисимметрическую часть тензора градиентов скоростей, из которого найдем модуль угловой скорости вращения элемента объема

$$\omega = \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2 + \omega_z^2} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial v_x}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} \right)^2}. \quad (3)$$

Для определения скорости v_x и компонента тензора $\bar{\sigma}$ используем формулы перехода для компонент тензора напряжений при повороте осей, и получим приведенную систему уравнений в виде

$$\begin{cases} \tau_{xz} \cos \varphi - \tau_{xy} \sin \varphi = 0, \\ \tau_{xy} \cos \varphi + \tau_{xz} \sin \varphi = \pm [\rho g (H - y) \cos \alpha + \Psi], \\ \frac{\partial v_x}{\partial z} \cos \varphi - \frac{\partial v_x}{\partial y} \sin \varphi = 0, \\ \frac{\partial v_x}{\partial t} = -\ddot{\Omega} - g \cdot \sin \alpha - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right), \end{cases} \quad (4)$$

где Ψ – коэффициент сцепления частиц сыпучей среды; H – высота борта, м; y – высота слоя частиц сыпучей среды, м.

После проведения преобразований, из четвертого уравнения системы (4), определим линейное ускорение каждого слоя сыпучего материала

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} = -\ddot{\Omega} - g \left[\sin \alpha \pm f \left(1 + \frac{f_1}{f} y_1 \right) \cos \alpha \right], \quad (5)$$

где f_1 – коэффициент трения среды о стенки лотка, f – коэффициент внутреннего трения среды.

На основе полученной модели «сыпучая среда – лоток» (зависимость (5)) было произведено имитационное моделирование. Результаты которого, приведены на рисунках 1 – 4. В процессе моделирования, было рассмотрено движения пяти слоев сыпучей среды, т.е. ее начальный объем рассекли пятью плоскостями на равных расстояниях по высоте. При угле наклона лотка $\alpha = 10^\circ$ (рисунок 1) видно, что расслоение материала практически не наблюдается, другими словами при данном колебательном движении у всего объема сыпучей среды практически отсутствует какое-либо перемещение, т.е. отсутствует факт ее распределения по поверхности лотка.

При угле наклона лотка $\alpha = 20^\circ$ (рисунок 2) наблюдается небольшое расслоение, позволяющее распределить начальный объем по поверхности лотка, при этом соблюдается критерий неразрывности, т.е. сыпучая среда может рассматриваться как сплошная.

При углах наклона $\alpha = 30^\circ$ и выше (рисунок 3 – 4) имеет место уменьшения расслоения и увеличения скорости перемещения сыпучей среды, что может привести к ее выходу с поверхности и за пространство лотка.

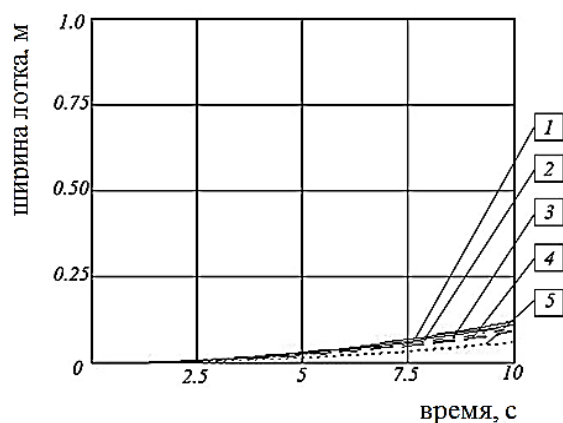


Рисунок 1 – Зависимость распределения слоев сыпучей среды по ширине лотка от времени распределения при угле $\alpha = 10^\circ$

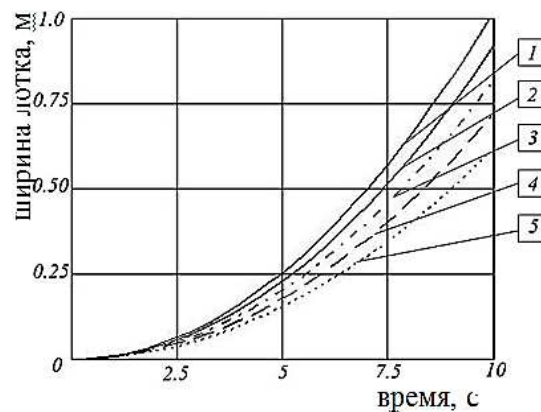


Рисунок 2 – Зависимость распределения слоев сыпучей среды по ширине лотка от времени распределения при угле $\alpha = 20^\circ$

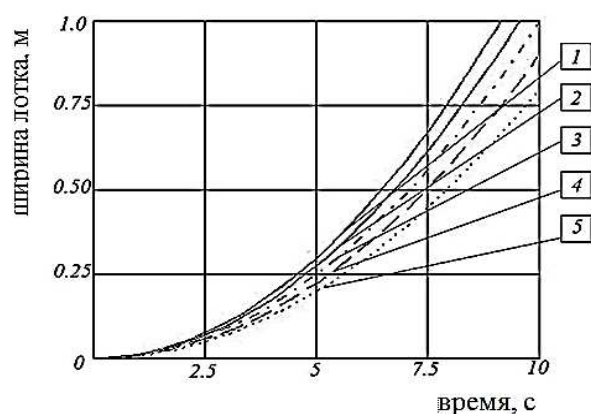


Рисунок 3 – Зависимость распределения слоев сыпучей среды по ширине лотка от времени распределения при угле $\alpha = 30^\circ$

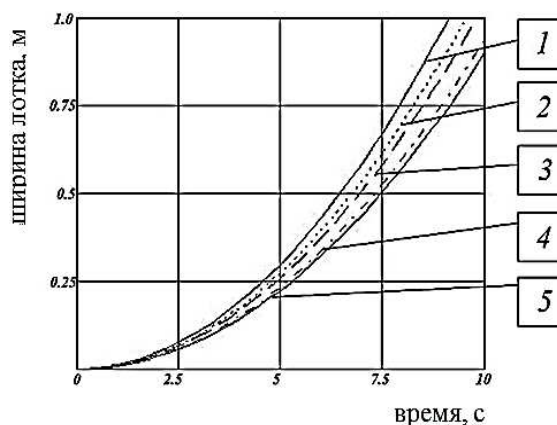


Рисунок 4 – Зависимость распределения слоев сыпучей среды по ширине лотка от времени распределения при угле $\alpha = 40^\circ$

Анализируя полученные результаты (рисунки 1 – 4) можно сделать вывод, что рациональные углы отклонения лотка гидропонной установки относительно некоторой оси будут находиться в диапазоне $\alpha = 20 \div 30^\circ$, а наиболее рациональный «угол движения» (текучести) для зерна ячменя в зависимости от угла наклона лотка составляет $\alpha = 20^\circ$.

Как отмечалось выше, основным узлом разработанной установки является лоток, присоединенный к вращающемуся вокруг своей оси валу. Особенностью разработанной установки является то, что все ярусы конструктивно одинаковы. Ввиду ограниченного количества ярусов установки

по высоте (предполагается от 4 до 6 ярусов) они не будут существенно влиять на работу друг друга по отдельности.

Исходя из вышеизложенного, можно прийти к выводу, что для проверки полученных теоретическим путем основных параметров работы основного узла разработанной установки, достаточно рассматривать ее одноярусную конструкцию.

Экспериментальная гидропонная установка будет представлять собой одноярусную конструкцию, установленную на жестком каркасе с тягой и приводным механизмом.

На рисунке 5 представлен общий вид экспериментальной гидропонной одноярусной установки с поворачивающимся лотком.



Рисунок 5 – Общий вид экспериментальной гидропонной одноярусной установки с поворачивающимся лотком

Лоток 1 (размерами 500×330 мм), присоединенный стальными хомутами 2 к трубе 3 устанавливается на торцы деревянных брусков 4, жестко прикрепленных к полу (размеры торцевой поверхности брусков 100×100 мм, высота брусков 800 мм) (рисунок 6). Один из бортов лотка (по его длине) отогнут в наружу на определенный угол относительно перпендику-

ляра, проведенного к его дну. Данный угол откоса обусловлен технологической необходимостью, обеспечивающей нормальное протекание процесса выгрузки выращенного урожая ГЗК. В бортах лотка по его ширине расположен штуцер 5 для подсоединения дренажного шланга (шланг на рисунке 6 не указан).

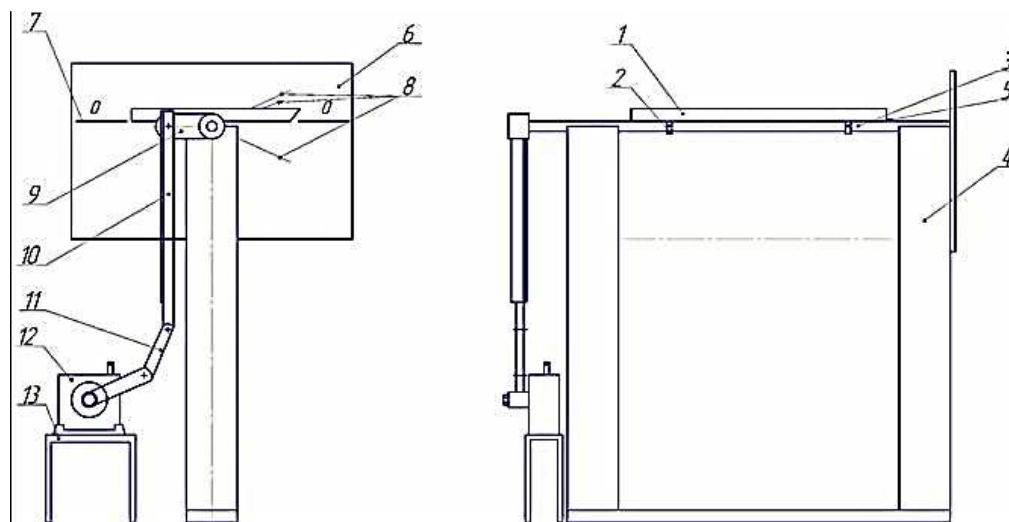


Рисунок 6 – Схема экспериментальной гидропонной одноярусной установки с поворачивающимся лотком

В торцевой поверхности брусков были изготовлены пазы, по размеры трубы (25×1мм), на которой прикрепляется лоток. Установка лотка с трубой в данный паз, позволяет отклонять его на определенные (заданные) углы. На картонную поверхность 6 наклеена белая бумага, на которую была нанесена горизонтальная линия 7, совпадающая по высоте с дном лотка, при его горизонтальном положении, и ожидаемые углы его отклонения 8. Данная картонная поверхность помещена на стену, к которой практически в плотную установлены бруски с лотком. Со стороны свободной от стены на выходной конец трубы крепится рычаг 9, пластина которого присоединена к общей тяге 10 (изготавливаемой из уголка 15×15 мм), которая в свою очередь через промежуточную тягу 11 присоединена к валу редуктора 12, установленного на подставку 13. Для данного процесса использовался червячный самотормозящийся редуктор (РЧУ-50).

Исследования проводились с ячменем сорта Вакула. В соответствии с ГОСТ 12036-85, была проведена проверка всхожести семян, которая составила 91 %. В процессе исследований использовался ячмень влажностью 10%, 14%, 16% и 18%, т.е. сухой средней и предельной влажности, влажный и сырой. Влажность зерна ячменя проверялась ускоренным методом (на приборе Чижовой). Эксперимент проводился в лабораторных условиях, при фиксированной влажности окружающей среды (85 – 88%). Влажность в помещении лаборатории контролировалась цифровым термогигрометром AR837 каждые 30 мин в течение всего эксперимента.

В ходе экспериментальных исследований были определены основные факторы, влияющие на рассматриваемый процесс, а именно: влажность зерна ячменя; начальный угол отклонения лотка; количество качений лотка.

Необходимую порцию зерна ячменя высыпали вручную «кучкой» на поверхность лотка экспериментальной установки (рисунок 7) у прямоугольного борта.



Норма зерна ячменя помещенная на поверхность лотка площадью 0,165 м²



Форма движущегося слоя зерна ячменя при первом качении лотка



Форма движущегося слоя зерна ячменя при втором качении лотка



Форма движущегося слоя зерна ячменя при третьем качении лотка



Форма движущегося слоя зерна ячменя при четвертом качении лотка



Полное распределение зерна ячменя по поверхности лотка при пятом качении лотка

Рисунок 7 – Этапы процесса распределения зерна ячменя по вегетационной поверхности лотка

Согласно принятым норма посева (5 кг зерна ячменя на 1 м² вегетационной поверхности), на лоток экспериментальной установки площадью 0,165 м² помещалось 910 г зерна ячменя. Масса навески для посева определялась путем взвешивания на технических весах с трехкратной повторностью и точностью до 1 грамма. Вращая ручку редуктора, лоток отклоняли на необходимый угол, после чего производились необходимые замеры, а именно координаты движущегося слоя зерна. Для этого на внутреннюю поверхность лотка и бортов были нанесены шкалы (ось абсцисс от -5 до +5, а ось ординат от 0 до 1). Предварительными исследованиями было выявлено, что при такого рода качениях лотка, зерно распределяется по нормальному закону, т.е. явно выражена кривая Гаусса. После проведения замеров лоток отклоняется на следующий исследуемый угол и т.д. В ходе проводимого эксперимента было выявлено, что для полного распределения зерна по вегетационной поверхности лотка необходимо было сделать в среднем 5 качений с затухающей амплитудой.

Проводился эксперимент типа 2³, где число факторов k=3, число уровней p=2, число опытов N=8, число повторных опытов n=5. После проведения опытов выполнена статистическая обработка результатов.

В результате экспериментальных исследований было установлено, что для сухого зерна коэффициент заполнения лотка зависит только от количества качений лотка.

По результатам исследований влажного и сырого зерна была получена регрессионная зависимость процесса распределения зерна по вегетационной поверхности лотка

$$y = 0,096 + 0,058x_1 + 0,02x_2 - 0,0067x_3, \quad (6)$$

где x_1 – влажность зерна, %; x_2 – начальный угол отклонения лотка, град; x_3 – количество качений лотка.

Согласно зависимости (6) были построены поверхности отклика для указанных влажностей зерна ячменя (рисунок 8).

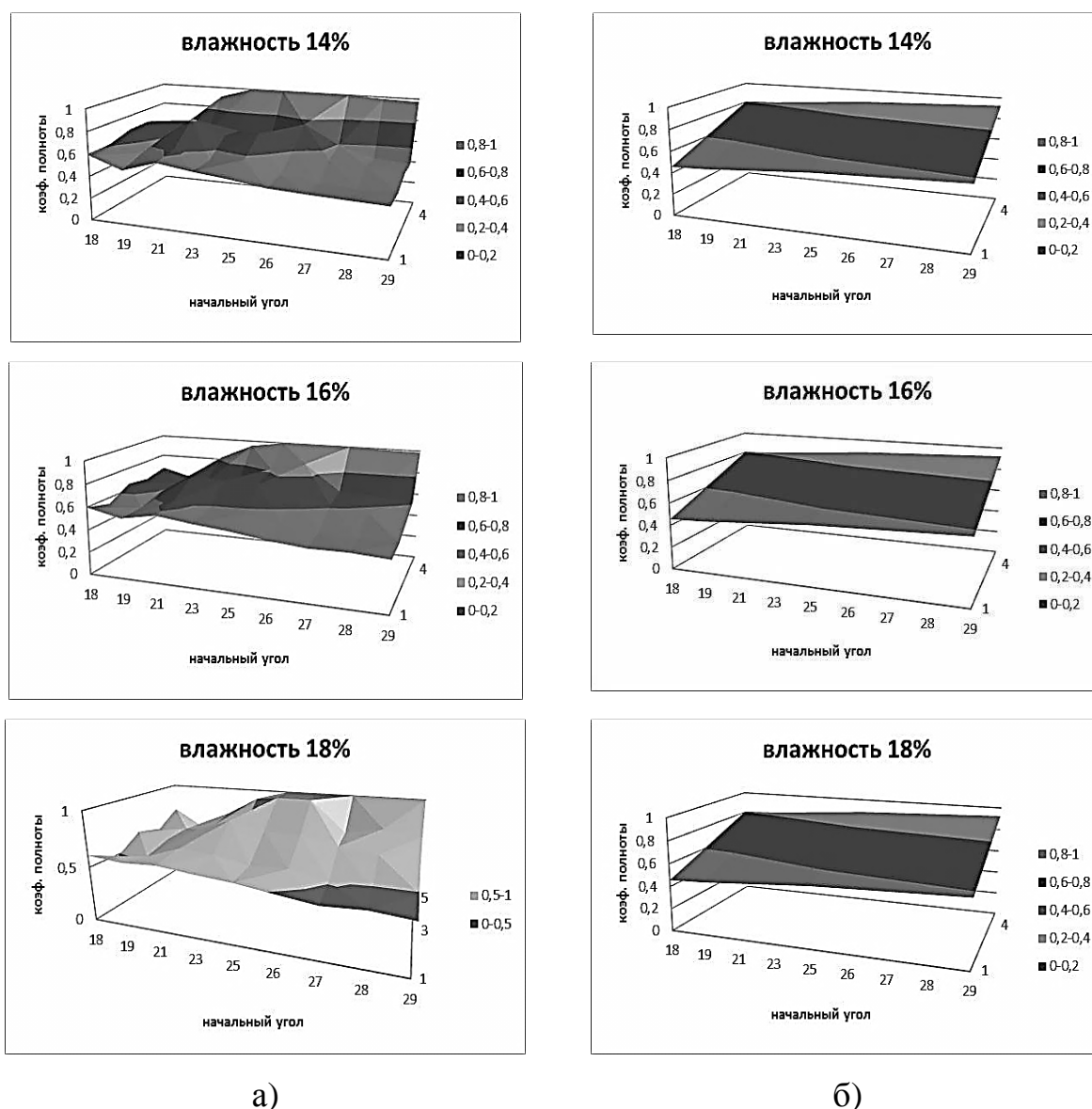


Рисунок 8 – Поверхности отклика: а) экспериментальная; б) регрессионная

4. Выводы

1. В результате проведенных теоретических исследований была получена математическая модель динамики системы «сыпучая среда – лоток», что дает возможность оценить параметры движения сыпучего материала на лотке в зависимости от его угла наклона. Установлено, что для

зерна ячменя наиболее рациональный «угол движения» (текучности) составляет примерно 20° .

2. Повысить коэффициент заполнения лотка можно, задавая определенный начальный угол его отклонения от горизонта. Данный угол будет зависеть от влажности посевного материала (зерна ячменя), используемого в процессе производства ГЗК. Для сухого зерна влажностью от 10 – 14% этот угол составляет $22 - 24^{\circ}$, для влажного и сырого зерна данный угол составит $25 - 27^{\circ}$.

3. Для получения конечной продукции высокого качества и определенного количества необходимо установить предельную влажность посевного материала, с которой он может быть принят на технологический процесс производства ГЗК. Является целесообразным то, что при производстве зеленого корма должен использоваться ячмень сухой и средней влажности (10 – 15%). Для назначенной влажности начальные углы наклона лотка будут составлять $23 - 25^{\circ}$.

4. С точки зрения эксплуатационных особенностей и экономической целесообразности, при установлении рациональных параметров работы гидропонной установки, необходимо учесть то, что при больших начальных углах отклонения лотка, необходимо будет увеличивать высоту его бортов для предотвращения «вылета» зерна из лотка. Это увеличит металлоемкость, а как следствие массу лотка. Увеличение массы лотка отразится на том, что приводить его в колебательное движение оператору будет гораздо сложнее, т.е. возрастет величина энергозатрат на создание колебательного процесса.

5. Если рассматривать разработанную многоярусную гидропонную установку в целом, то большие начальные углы лотков могут также привести к увеличению ее высоты, т.к. рассматриваемая система работает в синхронном режиме.

Список литературы

1. Кругляков Ю.А. Оборудование для непрерывного выращивания зеленого корма гидропонным способом. – М.: ВО Агропромиздат, 1991. – 79 с.
2. Бентли М. Промышленная гидропоника. – М.: Колос, 1955. – 368 с.
3. Костюченко В.А., Булгаков В.М., Войтюк Д.Г., Соколенко О.Н. Виробництво гідропонного зеленого корму // Український журнал по питанням агробізнесу «Пропозиція». – К.: 1999. - №11. – С.66 – 67.
4. Костюченко В.А., Булгаков В.М., Свирень Н.А., Дрига В.В. Агротехническое обоснование машин для производства гидропонного зеленого корма: монография. – Кировоград: КОД, 2010. – 320 с.
5. Соколенко О.Н. Количественные показатели химического состава гидропонного зеленого корма // Рыбное хозяйство Украины. Материалы V научно-практической конференции «Морские технологии: проблемы и решения – 2007». – Керчь: КГМТУ, 2007. – Вып.7. – С. 94 – 96.
6. Соколенко О.Н. Анализ существующих средств механизации для производства гидропонного зеленого корма // Рыбное хозяйство Украины. Материалы VI научно-практической конференции «Морские технологии: проблемы и решения – 2008». – Керчь: КГМТУ, 2008. – Вып.7. – С. 81 – 83.
7. Пришляк В.Н., Соколенко О.Н. Результаты имитационного моделирования динамики системы «сыпучая среда – лоток гидропонной установки»: тезисы // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Вібрації в техніці та технологіях в переробних і харчових виробництвах». – Вінниця, 2013. – С. 59 – 61.
8. Голубева О.В. Курс механики сплошных сред: учебное пособие для педвузов. – М.: Высшая школа, 1972. – 368 с.
9. Осипов А.А., Барышникова С.В. Моделирование процесса движения сыпучего материала на вибротолках // Интернет-конференция «Творчество молодых в науке и образовании»: Тезисы. – М.: МГУИЭ, 2003. – Ч.1. – С.73.
10. Осипов А.А., Першина С.В. Математическое описание движения сыпучего материала на наклонном вибрирующем лотке // Труды ТГТУ: Сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. – Тамбов: ТГТУ, 2004. – Вып.15. – С.81 – 84.
11. Механика сплошных сред в задачах. Т.1.: теория и задачи / под ред. М.Э. Эглита. – М.: «Московский лицей», 1996. – 396 с.
12. Механика сплошных сред в задачах. Т.2.: ответы и решения / под ред. М.Э. Эглита. – М.: «Московский лицей», 1996. – 394 с.

References

1. Krugljakov Ju.A. Oborudovanie dlja nepreryvnogo vyrashhivaniya zelenogo korma gidroponnym sposobom. – M.: VO Agropromizdat, 1991. – 79 s.
2. Bentli M. Promyshlennaja gidroponika. – M.: Kolos, 1955. – 368 s.
3. Kostjuchenko V.A., Bulgakov V.M., Vojtjuk D.G., Sokolenko O.N. Virobnictvo gidroponnogo zelenogo kormu // Ukraïns'kij zhurnal po pitannjam agrobiznesu «Propozicija». – K.: 1999. - №11. – S.66 – 67.
4. Kostjuchenko V.A., Bulgakov V.M., Sviren' N.A., Driga V.V. Agromehaničeskoe obosnovanie mashin dlja proizvodstva gidroponnogo zelenogo korma: monografija. – Kirovograd: KOD, 2010. – 320 s.
5. Sokolenko O.N. Kolichestvennyye pokazateli himičeskogo sostava gidroponnogo zelenogo korma // Rybnoe hozjajstvo Ukrainy. Materialy V nauchno-praktičeskoj konferencii «Morskie tehnologii: problemy i reshenija – 2007». – Kerch': KGMTU, 2007. – Vyp.7. – S. 94 – 96.

6. Sokolenko O.N. Analiz sushhestvujushhih sredstv mehanizacii dlja proizvodstva gidroponnogo zelenogo korma // Rybnoe hozjajstvo Ukrainy. Materialy VI nauchno-prakticheskoj konferencii «Morskie tehnologii: problemy i reshenija – 2008». – Kerch': KGMTU, 2008. – Vyp.7. – S. 81 – 83.

7. Prishljak V.N., Sokolenko O.N. Rezul'taty imitacionnogo modelirovanija dinamiki sistemy «sypuchaja sreda – lotok gidroponnoj ustanovki»: tezisy // Materiali mizhnarodnoï naukovu-tehnichnoï konferencii «Vibracii v tehnicii ta tehnologijah v pererobnih i harchovih virobniectvah». – Vinnicja, 2013. – S. 59 – 61.

8. Golubeva O.V. Kurs mehaniki sploshnyh sred: uchebnoe posobie dlja pedvuzov. – M.: Vysshaja shkola, 1972. – 368 s.

9. Osipov A.A., Baryshnikova S.V. Modelirovanie processa dvizhenija sypuchego materiala na vibrolotkah // Internet-konferencija «Tvorchestvo molodyh v nauke i obrazovanii»: Tezisy. – M.: MGUIJe, 2003. – Ch.1. – S.73.

10. Osipov A.A., Pershina S.V. Matematicheskoe opisanie dvizhenija sypuchego materiala na naklonnom vibrirujushhem lotke // Trudy TGTU: Sb. nauch. st. molodyh uchenyh i studentov. – Tambov: TGTU, 2004. – Vyp.15. – S.81 – 84.

11. Mehanika sploshnyh sred v zadachah. T.1.: teorija i zadachi / pod red. M.Je. Jeglita. – M.: «Moskovskij licej», 1996. – 396 s.

12. Mehanika sploshnyh sred v zadachah. T.2.: otvety i reshenija / pod red. M.Je. Jeglita. – M.: «Moskovskij licej», 1996. – 394 s.