

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

**К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ  
КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С УПРУГО-  
ЖЕСТКИМИ НЕСУЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ****ON THE ISSUE OF SUBSTANTIATION OF THE  
DESIGN SPECIFICATIONS ON MECHANICAL  
SYSTEM WITH RIGID ELASTIC LOAD-  
CARRYING COMPONENTS**

Курасов Владимир Станиславович  
д-р техн. наук, профессор кафедры тракторов,  
автомобилей и технической механики  
РИНЦ SPIN-код: 361522  
*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный  
аграрный университет»  
350044, ул. Калинина, 13, Краснодар,  
Краснодарский край, Россия  
[kurasoff@gmail.com](mailto:kurasoff@gmail.com)*

Kurasov Vladimir Stanislavovich  
Doctor of Engineering Science, Professor of the  
Academic Department of tractors, motor vehicles and  
engineering mechanics  
RSCI SPIN-code: 361522  
*FSBEI HPE "Kuban State Agrarian University"  
350044, Kalinina st., 13, Krasnodar,  
Krasnodar Krai, Russia  
[kurasoff@gmail.com](mailto:kurasoff@gmail.com)*

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

Sokolenko Oksana Nikolaevna  
Candidate of Engineering Science, Senior Lecturer of  
the Academic Department of  
machinery and equipment for food production  
RSCI SPIN-code: 3902-5014  
*FSBEI HE "Kerch State Maritime Technological  
University", 298309, Ordzhonikidze St., 82, Kerch, the  
Republic of Crimea, Russia, [sokoleko.oksana@mail.ru](mailto:sokoleko.oksana@mail.ru)*

Основной причиной отставания развития животноводческого сектора РФ ниже уровня его генетического потенциала является нарушение технологического процесса содержания и откорма сельскохозяйственных животных и птицы, из-за недостатка традиционных кормов. В связи с этим возникла необходимость разработки круглогодичного производства дополнительных кормов, позволяющая сбалансировать кормовые рационы на протяжении всего года. Этим требованиям отвечает гидропонный метод выращивания зеленых кормов (ГЗК). Анализ технологий и средств механизации производства ГЗК позволяет утверждать, что действующие в настоящее время установки отличаются сложностью в изготовлении, дорогостоящие и требуют для их работы большого числа дополнительных механизмов. В ФГБОУ ВО «КГМТУ» разработана одноярусная гидропонная установка с дугвыми направляющими и упруго-жесткими несущими элементами, в которой закладка посевного материала и выгрузка выращенного ГЗК осуществляются под действием сил тяжести без дополнительных трудовых затрат и механизмов. На основании проведенного анализа конструктивных особенностей предложенной установки, было выявлено, что в рассматриваемой системе возможно возникновение параметрических резонансов, с целью предотвращения которых проведено исследование устойчивости движения лотка. Движение лотка рассматриваемой гидропонной установки описывает классическое

The main reason of the developmental delay of the RF livestock sector below the level of its inherent potential capacity is a detrimental alteration in methodological procedure of livestock and poultry management, occurring due to shortage of traditional feeds. As a result, a necessity to develop the yearlong production of additional fodders, allowing for balanced feeding throughout the year, arose. The method of hydroponic green fodder (HGF) cultivation meets these requirements. Analysis of HGF production methods and labor saver mechanisms makes possible to claim that existing systems are characterized by high costs and difficulties in fabrication, and require a number of additional mechanical devices to work. In the FSBEI HE "KSMTU", a one-tier hydroponic system has been developed, fitted with curved (arched) guideways and rigid elastic load-carrying components, where loading of seeds and takeout of grown HGF occur by gravity without additional devices of labour input. Based on analysis performed on design features of the proposed system, it has been established that emergence of parametric resonances in the system under consideration is possible; and the study of tray dynamical stability has been carried out with the aim to prevent them. The motion of the hydroponic system tray under consideration is described by the classical Mathieu equation, including two parameters  $a$  and  $q$ . The further studies of sets of stable and unstable solutions in the plane of  $a$  and  $q$  parameters are presented by the Ince-Strutt diagram. As a result of the performed calculations, the diameter of the load-carrying component was identified ( $d=5$  mm), which

уравнение Матье, содержащее два параметра  $a$  и  $q$ . Дальнейшие исследования областей устойчивых и неустойчивых решений в плоскости параметров  $a$  и  $q$  представляются диаграммой Айнса – Стретта. В результате проведенных расчетов определен диаметр сечения несущего элемента ( $d=5$  мм), обеспечивающий надежную работоспособность и стабильность гидропонной установки в целом

Ключевые слова: ГИДРОПОННЫЙ ЗЕЛЕНЬЙ КОРМ (ГЗК), ОДНОЯРУСНАЯ ГИДРОПОННАЯ УСТАНОВКА, ДУГОВЫЕ НАПРАВЛЯЮЩИЕ, РЕЗОНАНС, ДВИЖЕНИЕ ЛОТКА, УРАВНЕНИЕ МАТЬЕ, НЕСУЩИЙ ЭЛЕМЕНТ

should ensure reliable working capacity and stability of the hydroponic system in whole

Keywords: HYDROPONIC GREEN FODDER (HGF), A ONE-TIER HYDROPONIC SYSTEM, CURVED GUIDEWAYS, RESONANCE, MOTION OF THE TRAY, MATHIEU EQUATION, LOAD-CARRYING COMPONENT

## 1. Введение

Основной целью активно развиваемой в настоящее время мировой внешнеполитической стратегии США и большинства европейских стран, являются, так называемые, процессы сдерживания развития науки, агропромышленного и военного комплексов Российской Федерации, а также ее государственной, финансовой и банковской сфер. Особо уязвимой, в данной ситуации, является макрологистическая система агропромышленного комплекса РФ, ввиду наличия, до недавнего времени, в своей структуре, глубоких и устойчивых внешнеэкономических связей.

Благодаря проводимой государством политики импортозамещения, открылись скрытые возможности аграрного потенциала РФ, позволяющие обеспечить продовольственную безопасность государства. Однако уровень производства продукции растениеводства и животноводства в настоящее время значительно ниже генетического потенциала сельскохозяйственных культур и животных. Особенно ярко такое отставание прослеживается в животноводческом секторе.

Основной причиной такого положения является нарушение технологического процесса содержания и откорма сельскохозяйственных животных и птицы, из-за недостатка традиционных кормов, концентрированных комбикормов и витаминов [1]. В связи с этим возникла необходимость разработки круглогодичного производства

дополнительных кормов, позволяющая сбалансировать кормовые рационы на протяжении всего года. Этим требованиям отвечает гидропонный метод выращивания зеленых и белковых кормов [2].

По данным фирмы «Элеусис. С.А.» (Австрия) гидропонный зеленый корм (ГЗК) в 6 – 8 раз дешевле травяной муки, в 5 – 6 раз комбикорма и в 3 раза сена. ГЗК содержит требуемые питательные вещества и витамины, хорошо поедается и усваивается, является экологически чистой продукцией. Производство этих кормов не зависит от времени года и может осуществляться как в закрытом помещении, так и на открытом пространстве, в зависимости от климатических условий местности [2, 3].

В нашей стране выращивание ГЗК началось в 30-е годы прошлого века, но до настоящего времени сдерживается недостатками проведения технологических процессов и низким уровнем их механизации. В таких странах как Австрия, Испания, Англия, Япония гидропонный метод выращивания кормов является одним из основных в кормопроизводстве. Экспортируемые этими странами гидропонные установки являются довольно дорогостоящими, что исключает возможность их приобретения, особенно в сложившейся в настоящее время экономической ситуации [4, 5].

На протяжении последних пятнадцати лет в ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет» (ФГБОУ ВО «КГМТУ»), а в последние два года совместно с ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВПО Кубанский ГАУ), ведутся исследования, целью которых является разработка комплексных научно-технических основ создания средств механизации производства гидропонных кормов, обеспечивающих оптимальные конструктивно-технологические решения условий протекания технологических процессов, существенно снижающие энерго- и материалоемкость,

трудовые затраты и обеспечивающие экономическую эффективность их применения. [6, 7, 8]

## **2. Постановка задачи**

Произвести анализ конструкции гидропонной установки, разработанной в ФГБОУ ВО «КГМТУ» (по А.С. №1512528, №1628983, 1732872), с целью определения возможных технологических и конструктивных недостатков, негативно влияющих на отдельные элементы системы в процессе эксплуатации [9,10,11]. С целью определения характера движения рассматриваемой системы необходимо составить уравнение движения лотка. Необходимо также определить параметры, характеризующие динамическую устойчивость рассматриваемой системы, позволяющие определить конструктивные размеры гидропонной установки, а также обеспечить ей надежную работоспособность в процессе эксплуатации.

## **3. Результаты исследований**

Анализ технологий и средств механизации производства гидропонной продукции позволяет утверждать, что действующие в настоящее время установки отличаются сложностью в изготовлении и эксплуатации, дорогостоящие и требуют для их работы большого числа дополнительных механизмов. Закладка посевного материала и снятие урожая производится вручную, что приводит к увеличению стоимости выпускаемой продукции.

В ФГБОУ ВО «КГМТУ» разработан ряд гидропонных установок ярусного типа. В этих установках устранены отдельные конструктивные и технологические недостатки ранее разработанных механических систем [6, 7, 8]. Отдельные технологические операции в них осуществляются под действием сил тяжести без дополнительных трудовых затрат и механизмов. Последнее достигается благодаря конструктивным особенностям системы установки. При проектировании этих установок

преследовалась цель: снизить ресурсозатраты на производство готовой продукции.

Итак, за проектную основу приняты одно- и двухъярусные установки с жесткими, упругими и упруго-жесткими несущими элементами, как наиболее приемлемые с точки зрения экономии энергоносителей, снижения ресурсозатрат, а также возможности локального обогрева [12].

На рисунке 1 представлена механическая модель гидропонной установки. Лоток для выращивания гидропонной продукции с конструктивными элементами, допускающими разгрузку урожая и возврат в исходное рабочее положение под действием сил тяжести без дополнительных энергетических и трудовых затрат, устанавливается на дуговые направляющие  $CD$  и  $C'D'$ . Дуговые направляющие крепятся к жестким стержням  $AB$  и  $A'B'$  с помощью таких же жестких стержней  $CB$ ,  $BD$  и  $C'B'$ ,  $B'D'$  шарнирно. Вся рассмотренная система подвешивается к упругим элементам  $EAF$  и  $E'A'F'$ , которые в свою очередь, шарнирно крепятся к перекрытию в точках  $E$ ,  $F$  и  $E'F'$ . Дуговые направляющие, а также точки крепления системы к перекрытию соединены между собой жесткими связями  $EF$  и  $E'F'$ . Через точки  $A$  и  $A'$  проходит система полива  $Q - Q'$ . Полив производится методом дождевания. На жесткие связи  $EF$  и  $E'F'$  укладывается система облучения  $M - M'$  с лампами ДРЛ – 125. В качестве жестких стержней, в зависимости от силы тяжести лотка с урожаем, рекомендуется использовать металлические прутки диаметром 3 – 5 мм, а в качестве упругих элементов в опытных установках использовалась стальная проволока диаметром 5 мм с разрывным усилием 1400 – 2000 Н/мм<sup>2</sup>, с учетом того, что вес лотка с урожаем может изменяться в пределах 700 – 1400 Н. Угол наклона лотка к горизонту в процессе выращивания урожая  $\varphi_0 = 3 - 5^0$  достигается незначительным смещением точек подвеса  $A$ ,  $A'$  от вертикальной плоскости симметрии установки, т.е. расстояние  $S_1$  незначительно превышает  $S_2$  [12].

Установка работает следующим образом. На зафиксированный под углом  $\varphi_0$  к горизонту лотком производится посев зерна равномерным слоем. После посева центр тяжести лотка с семенами для проращивания располагается на уровне близком к оси цилиндрических секторов с некоторым смещением в сторону опрокидывания за счет начального угла наклона сетки. Угол наклона предусматривает свободное стекание излишков воды или питательного раствора, а также удаление вредных вещества, осевших в корневой системе и вызывающих грибковые заболевания растений.

С ростом растений общий центр тяжести лотка и урожая смещается в вертикальном и горизонтальном направлениях. К моменту созревания урожая (продолжительность выращивания ГЗК 7 – 8 суток) общий центр масс системы «лоток – урожай» располагается выше оси цилиндрических секторов со смещением в сторону опрокидывания.

При срабатывании фиксаторов (на рисунке 1, фиксатор не указан) накопленный в процессе роста растений запас потенциальной энергии системы «лоток – урожай» преобразуется в кинетическую энергию движения, т.е. происходит качение без скольжения цилиндрических секторов по дуговым направляющим.

Дуговые направляющие способствуют непрерывному уменьшению скорости движения лотка. При повороте лотка на угол  $90^0$  скорость его движения обращается в нуль, т.е. происходит плавная разгрузка зеленой массы в транспортное средство. После разгрузки урожая центр масс лотка располагается ниже оси цилиндрических секторов. Под действием сил тяжести лоток возвращается в исходное рабочее положение с последующим фиксированием.

При малых возмущениях лотков в рассматриваемой системе возможно возникновение параметрических резонансов, т.е. перекачки энергии поперечных колебаний в энергию продольных. С целью

предотвращения перекачки энергии поперечных колебаний в энергию продольных возникает необходимость исследовать устойчивость движения лотков [12]. Обозначим расстояние между точками подвеса установки к перекрытию через  $l$ , длину жесткого стержня  $l_1$ , а массу лотка с урожаем  $m$ . Поместим начало координат в точку  $E$ , ось  $y$  направим вертикально вниз, а ось  $x$  по направлению от точки  $E$  к точке  $F$ . Тогда расстояние  $EF$  будет равно  $EF=l=S_1+S_2$ . Эквивалентная расчетная схема установки представлена на рисунке 2.

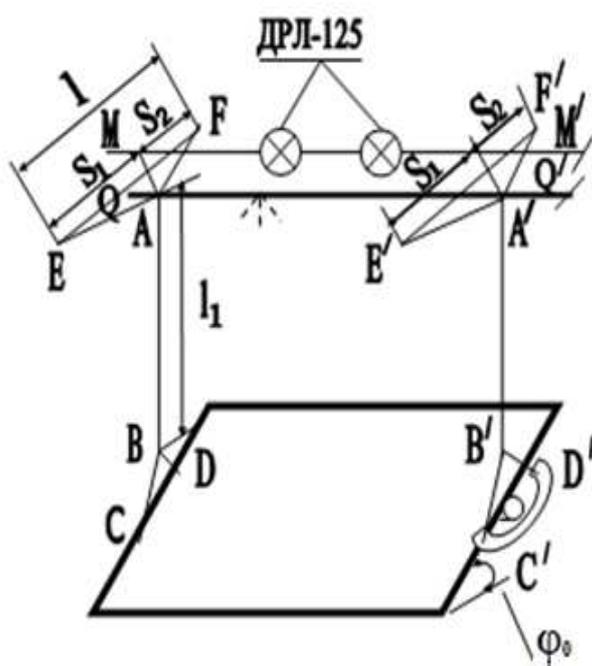


Рисунок 1 – Механическая модель установки с упруго-жесткими несущими элементами и дуговыми направляющими

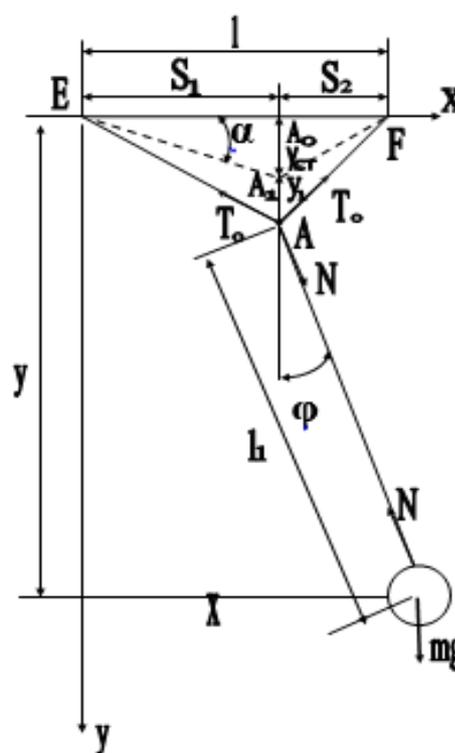


Рисунок 2 – Расчетная схема механической модели установки

На рисунке 2 используются следующие обозначения:  $mg$  – сила тяжести центра масс лотка с урожаем,  $N$  – усилие в жестком стержне,  $x$  и  $y$  – отклонение центра масс лотка с урожаем по отношению к началу

координат в произвольный момент времени  $t$ ,  $\varphi$  – угол отклонения жесткого стержня от вертикали в произвольный момент времени  $t$ ,  $y_{ст}$  – статический прогиб упругого элемента,  $y_1$  – вертикальная динамическая составляющая, – натяжения ветвей упругого элемента принимаются равными, т.к. смещение точки подвеса А жесткого стержня от вертикальной плоскости симметрии незначительно. Исходя из второго закона Галилея – Ньютона дифференциальные уравнения движения лотка относительно осей координат  $x$  и  $y$  имеют вид

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -N \cdot \sin \varphi, \\ m\ddot{y} = -N \cdot \cos \varphi + mg. \end{cases} \quad (1)$$

Координаты центра масс лотка с урожаем соответственно равны

$$\begin{cases} x = S_1 + l_1 \sin \varphi, \\ y = y_{cm} + y_1 + l_1 \cos \varphi. \end{cases} \quad (2)$$

Продифференцировав соотношения (2) дважды по времени подставим вторые производные в уравнения (1), исключив при этом,  $N$  получим

$$l_1 \ddot{\varphi} - \ddot{y}_1 \cdot \sin \varphi + g \cdot \sin \varphi = 0. \quad (3)$$

Как показали опыты, проведенные в лабораторных условиях, на установках с параметрами близкими к реальным, что колебания лотков устойчивы при  $\varphi = 5 - 20^\circ$ . Полагая  $\sin \varphi = \varphi$  соотношение (3) в виде

$$l_1 \ddot{\varphi} + (g - \ddot{y}_1) \varphi = 0. \quad (4)$$

Второе дифференциальное соотношение получим из условия равновесия шарнирного узла А. Это соотношение имеет вид

$$N \cdot \cos \varphi - \frac{T_0(y_1 + y_{cm})}{S_1} - \frac{T_0(y_1 + y_{cm})}{S_2} = 0. \quad (5)$$

Определим  $N$  из второго уравнения системы (1) и подставив полученное выражение в (5), при этом учтём второе соотношение, в (2). В результате получаем

$$\frac{lT_0(y_1 + y_{cm})}{S_1 S_2} + m[\ddot{y}_1 - l_1(\ddot{\varphi} \cdot \sin \varphi + \dot{\varphi}^2 \cdot \cos \varphi)] - mg, \quad (6)$$

где 
$$T_0 = \frac{mg \cdot S_1 \cdot S_2}{l \cdot y_{cm}}.$$

Малость угла  $\varphi$  позволяет отбросить в полученном соотношении (6) нелинейный член и записать следующее дифференциальное уравнение относительно  $y_1$

$$\ddot{y}_1 + K^2 y_1 = 0, \tag{7}$$

где 
$$K^2 = \frac{T_0 l}{m \cdot S_1 S_2} = \frac{g}{y_{cm}}.$$

Решение уравнения (7) при начальных условиях  $t=0, y_1=y_{cm}$  и  $\dot{y}_1 = 0$  имеет вид

$$y_1 = y_{cm} \cdot \cos Kt. \tag{8}$$

Подставляем решение уравнения (8) в соотношение (4). В результате подстановки получаем дифференциальное уравнение для определения  $\varphi$

$$\ddot{\varphi} + \frac{1}{l_1} (g + y_{cm} \cdot K^2 \cos Kt) \cdot \varphi = 0. \tag{9}$$

Полагая  $Kt = 2\tau$ , получаем классическое уравнение Матъе

$$\frac{d^2 \varphi}{d\tau^2} + (a + 2q \cos 2\tau) \cdot \varphi = 0, \tag{10}$$

где 
$$2q = \frac{4y_{cm}}{l_1}, \quad a = \frac{4g}{K^2 l_1} = \frac{4y_{cm}}{l_1}.$$

Уравнение (10) содержит два параметра –  $a$  и  $q$ . Дальнейшее исследование областей устойчивых и неустойчивых решений в плоскости  $a$  и  $q$  хорошо изучены и представляются диаграммой Айнса – Стретта (рисунок 3). Эта диаграмма полностью освобождает от решения уравнения Матъе.

Практическая ценность проведенного расчета заключается в том, что достаточно составить уравнение (10), т.е. найти значения параметров  $a$  и  $q$ , после чего получить ответ об устойчивости или неустойчивости системы с помощью диаграммы Айнса – Стретта. А далее, если система окажется

устойчивой, можно сделать вывод и о конструктивных размерах установки.

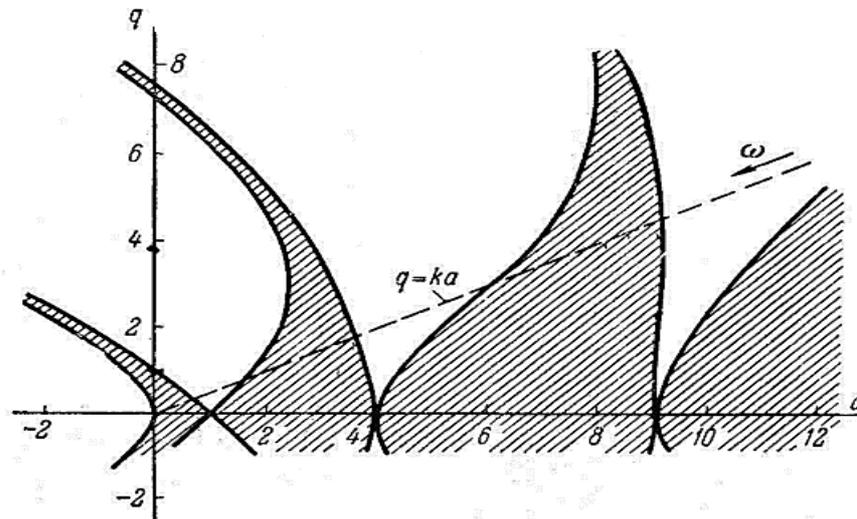


Рисунок 3 – Диаграмма Айнса-Стретта

Рассмотрим пример. Пусть  $l=45\text{см}$ ,  $l_1=15\text{см}$ ,  $m=100\text{ кг}$  (рисунок 3).  
 Определим натяжение  $T_0$  упругого элемента АЕ

$$T_0 = \frac{mg}{2 \sin \alpha}. \quad (11)$$

Удлинение этого элемента под действием сил тяжести натяжения  $T_0$  будет определяться как

$$\Delta l = \frac{T_0 \cdot \frac{l}{2}}{EF_0}, \quad (12)$$

где  $E=2 \cdot 10^{11}$  – модуль упругости стали, Па;

$F$  – площадь сечения упругого элемента,  $\text{м}^2$ .

Эта площадь сечения можно определить из условия прочности  $\left(F_0 = \frac{T_0}{[\sigma]}\right)$ , где  $[\sigma]=400$  - допускаемое напряжение пружинной стали, МПа.

Подставляя последнюю формулу в уравнение (12) в результате находим

$$\Delta l = \frac{T_0 l [\sigma]}{2ET_0} = \frac{[\sigma] l}{2E}.$$

Угол  $\alpha$  определим, как  $\cos \alpha = \frac{\frac{l}{2}}{\frac{l}{2} + \Delta l} = \frac{\frac{l}{2}}{\frac{l}{2} + \frac{[\sigma] l}{2E}} = \frac{1}{1 + \frac{[\sigma]}{E}}$ . Подставляя

численные значения находим  $\cos \alpha = 0,098$ , откуда  $\alpha = 3,62^0$ .

Статическую деформацию упругих элементов АЕ и АФ определим по формуле  $y_{cm} = \left(\frac{l}{2} + \Delta l\right) \sin \alpha = \left(\frac{l}{2} + \frac{[\sigma] l}{2E}\right) \sin \alpha$ . После подстановки численных данных получаем  $y_{cm} = 0,0142 \text{ м} = 1,42 \text{ см}$ .

Зная статическую деформацию, определим в какой зоне диаграммы Айнса – Стретта находится точка с координатами  $a = \frac{4y_{cm}}{l_1} = \frac{4 \cdot 1,42}{15} = 0,379$ ,  $q = \frac{2y_{cm}}{l_1} = \frac{2 \cdot 1,42}{15} = 0,189$ .

Полученные значения  $a$  и  $q$  согласно диаграммы Айнса – Стретта находятся в зоне устойчивости движения лотка. Далее определим сечение несущего элемента ЕАФ и его диаметр. Согласно формулы (11) и условия прочности находим площадь сечения

$$F_0 = \frac{T_0}{[\sigma]} = \frac{mg}{2[\sigma] \sin \alpha} = \frac{100 \cdot 10}{2 \cdot 400 \cdot 10^6 \cdot \sin 3,62^0} = 19,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 19,8 \text{ мм}^2,$$

и диаметр сечения  $d = \sqrt{\frac{4F_0}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 19,8}{3,14}} = 5 \text{ мм}$ .

**Выводы.** 1. На основании проведенного анализа конструктивных особенностей предложенной установки, было выявлено, что в рассматриваемой системе возможно возникновение параметрических резонансов, с целью предотвращения которых проведено исследование устойчивости движения лотка.

2. Движение лотка рассматриваемой гидропонной установки описывает классическое уравнение Матье, содержащее два параметра  $a$  и  $q$ . Дальнейшее исследование областей устойчивых и неустойчивых

решений в плоскости параметров  $a$  и  $q$  представляются диаграммой Айнса – Стретта.

3. В результате проведенных расчетов определен диаметр сечения несущего элемента ( $d=5$  мм), обеспечивающий надежную работоспособность и стабильность гидропонной установки в целом.

### Список литературы

1. Калетник, Г.Н. Инженерные проблемы производства гидропонного зеленого корма / Г.Н. Калетник, О.Н. Соколенко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК: зб. наук. пр. – К.: НУБиП, 2010 – Вип. 144. – Ч. 3. – 2010. – С. 415.
2. Соколенко, О.Н. Обоснование параметров работы и конструкции установки для выращивания зеленых кормов гидропонным способом: дис... канд. техн. наук : 05.20.01 / О.Н. Соколенко; Кубанский ГАУ. – Краснодар, 2015. – 154 с.
3. Кругляков, Ю.А. Оборудование для непрерывного выращивания зеленого корма гидропонным способом / Ю.А. Кругляков. – М.: ВО Агропромиздат, 1991. – 79 с.
4. Костюченко, В.А. Агротехническое обоснование машин для производства гидропонного зеленого корма: монография / В.А. Костюченко, В.М. Булгаков, Н.А. Свирень, В.В. Дрига. – Кировоград: КОД, 2010. – 320 с.
5. Соколенко, О.Н. Анализ существующих средств механизации для производства гидропонного зеленого корма / О.Н. Соколенко // Рыбное хозяйство Украины: материалы VI научно-практической конференции «Морские технологии: проблемы и решения – 2008». – Керчь: КГМТУ, 2008. – Вып.7. – С. 81...83.
6. Кирдань, Е.Н. Динамика двухъярусных механических гидропонных установок с жесткими несущими элементами / Е.Н. Кирдань, С.Н. Пилипенко, О.Н. Соколенко // Механизация сельскохозяйственного производства: сб. науч. трудов. – Симферополь: КГАУ, 1999. – Вып.59. – Ч.2. – С. 168.
7. Костюченко, В.А. Исследование динамики трехъярусной гидропонной установки с упругими несущими элементами и прямолинейными направляющими / В.А. Костюченко, А.С. Виннов, О.Н. Балака // Сб. научн. трудов КМТИ «Механизация производственных процессов рыбного хозяйства, промышленных и аграрных предприятий». – Керчь: КМТИ, 2001. – С. 36.
8. Пат. 85260 Україна, МПК (2006.01) A01G31/02. Пристрій для гідропонного вирощування зеленого корму / О.М. Соколенко (Україна). – № u201307329; заявл. 10.06.2013; опубл. 11.11.2013, Бюл. №21.
9. А.С.№1512528 СССР, A01G31/02. Установка для выращивания растений на зеленый корм / В.А. Костюченко, Н.П. Ермаков (СССР). – № 4330605; заявл. 6.11.1987; опубл. 8.06.89, Бюл. №15.
10. А.С.№1628983 СССР, A01G31/02. Установка для производства гидропонного зеленого корма / В.А. Костюченко (СССР). – № 469649; заявл. 12.06.88; опубл. 22.10.90, Бюл. №19.
11. А.С.№1732872 СССР, A01G31/02. Установка для выращивания растений на зеленый корм / В.А. Костюченко, П.П. Фоменко (СССР). – № 4796880; заявл. 8.10.90; опубл. 15.01.92, Бюл. №1.
12. Калетник, Г.Н. К вопросу устойчивости движения лотков механических гидропонных установок без направляющих с упруго-жесткими несущими элементами /

Г.Н. Калетник, О.Н. Соколенко // Техніка і технології АПК: науково – виробничий журнал. – Київ, 2010. – № 9 (12). – С. 31...33.

### References

1. Kaletnik, G.N. Inzhenernye problemy proizvodstva gidroponnogo zelenogo korma / G.N. Kaletnik, O.N. Sokolenko // Naukovij visnik Nacional'nogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannja Ukraïni. Serija: tehnika ta energetika APK: zb. nauk. pr. – K.: NUBiP, 2010 – Vip. 144. – Ch. 3. – 2010. – S. 415.
2. Sokolenko, O.N. Obosnovanie parametrov raboty i konstrukcii ustanovki dlja vyrashhivanija zelenyh kormov gidroponnym sposobom: dis... kand. tehn. nauk : 05.20.01 / O.N. Sokolenko ; Kubanskij GAU. – Krasnodar, 2015. – 154 s.
3. Krugljakov, Ju.A. Oborudovanie dlja nepreryvnogo vyrashhivanija zelenogo korma gidroponnym sposobom / Ju.A. Krugljakov. – M.: VO Agropromizdat, 1991. – 79 s.
4. Kostjuchenko, V.A. Agromehaničeskoe obosnovanie mashin dlja proizvodstva gidroponnogo zelenogo korma: monografija / V.A. Kostjuchenko, V.M. Bulgakov, N.A. Sviren', V.V. Driga. – Kirovograd: KOD, 2010. – 320 s.
5. Sokolenko, O.N. Analiz sushhestvujushhih sredstv mehanizacii dlja proizvodstva gidroponnogo zelenogo korma / O.N. Sokolenko // Rybnoe hozjajstvo Ukrainy: materialy VI nauchno-praktičeskoj konferencii «Morskie tehnologii: problemy i reshenija – 2008». – Kerch': KGMTU, 2008. – Vyp.7. – S. 81...83.
6. Kirdan', E.N. Dinamika dvuh#jarusnyh mehaničeskijh gidroponnyh ustanovok s zhestkimi nesushhimi jelementami / E.N. Kirdan', S.N. Pilipenko, O.N. Sokolenko // Mehanizacija sel'skoho#hozjajstvennogo proizvodstva : sb. nauch. trudov. – Simferopol' : KGAU, 1999. – Vyp.59. – Ch.2. – S. 168.
7. Kostjuchenko, V.A. Issledovanie dinamiki treh#jarusnoj gidroponnoj ustanovki s uprugimi nesushhimi jelementami i prjamolinejnymi napravljajushhimi/ V.A. Kostjuchenko, A.S. Vinnov, O.N. Balaka // Sb. nauchn. trudov KMTI «Mehanizacija proizvodstvennyh processov rybnogo hozjajstva, promyšlennyh i agrarnyh predpriyatij». – Kerch': KMTI, 2001. – S. 36.
8. Pat. 85260 Ukraïna, MPK (2006.01) A01G31/02. Pristrij dlja gidroponnogo viroshhuvannja zelenogo kormu / O.M. Sokolenko (Ukraïna). – № u201307329; zajavl. 10.06.2013; opubl. 11.11.2013, Bjul. №21.
9. A.S.№1512528 SSSR, A01G31/02. Ustanovka dlja vyrashhivanija rastenij na zelenyj korm / V.A. Kostjuchenko, N.P. Ermakov (SSSR). – № 4330605; zajavl. 6.11.1987 ; opubl. 8.06.89, Bjul.№15.
10. A.S.№1628983 SSSR, A01G31/02.Ustanovka dlja proizvodstva gidroponnogo zelenogo korma / V.A. Kostjuchenko (SSSR). – № 469649; zajavl. 12.06.88 ; opubl. 22.10.90, Bjul.№19.
11. A.S.№1732872 SSSR, A01G31/02.Ustanovka dlja vyrashhivanija rastenij na zelenyj korm / V.A. Kostjuchenko, P.P. Fomenko (SSSR). – № 4796880; zajavl. 8.10.90 ; opubl. 15.01.92, Bjul.№1.
12. Kaletnik, G.N. K voprosu ustojčivosti dvizhenija lotkov mehaničeskijh gidroponnyh ustanovok bez napravljajushhih s uprugo-zhestkimi nesushhimi jelementami / G.N. Kaletnik, O.N. Sokolenko // Tehnika i tehnologii APK : nauково – virobničij zhurnal. – Kiev, 2010. – № 9 (12). – S. 31...33.