

**Ю.В. Чигарев<sup>1</sup>**, д.ф.-м.н., **И.С. Крук<sup>1</sup>**, к.т.н., доц., **Ф.И. Назаров<sup>1</sup>**, к.т.н., **А.С. Воробей<sup>2</sup>**, к.т.н.

<sup>1</sup> УО «БГАТУ»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: Yuri.Chigarev.44@mail.ru, Kruk-Igar@mail.ru, windor@mail.ru

<sup>2</sup> РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: labpotato@mail.ru

## ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ АГРОЭКОСИСТЕМ

*Аннотация.* В статье рассматривается вероятностный подход к оценке устойчивости агроэкосистем с учетом допустимого давления на почву.

*Ключевые слова:* схема взаимодействия, напряжения, вязкость, устойчивость, вероятность, математическое ожидание, дисперсия.

**Yu.V. Chigarev<sup>1</sup>, I.S. Kruk<sup>1</sup>, F.I. Nazarov<sup>1</sup>, A.S. Vorobei<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> EE "BSATU"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: Yuri.Chigarev.44@mail.ru, Kruk-Igar@mail.ru, windor@mail.ru

<sup>2</sup> RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: labpotato@mail.ru

## ABOUT ONE APPROACH TO THE ASSESSMENT OF SUSTAINABILITY OF AGROECOSYSTEMS

*Abstract.* The article considers a probabilistic approach to assessing the stability of an agroecosystem, taking into account the allowable pressure on the soil.

*Keywords:* experiment scheme, voltage, viscosity, probability, probability, mathematical expectation, variance.

### Введение

Современные технологии обработки почвы ведут не только к уменьшению плодородия, но и к изменению состояния агроэкосистем. Энергетический цикл агроэкосистем отличается от природных биоценозов, так как имеет внешнее воздействие со стороны технологических машин и агрегатов. Для восстановления трофических и других биологических связей агроэкосистемы необходимо подпитывать элементами питания, обеспечивать севооборот, регулировать интенсивность антропогенного воздействия. Агроэкосистемы создаются и управляются человеком, а это не гарантирует им состояние устойчивого природного равновесия, присущего ненарушенным биоценозам.

Устойчивость состояния агроэкосистем зависит от многих параметров. Одним из таких важных параметров является почва. Агрофизическое состояние почв определяется упругостью, вязкостью, пластичностью и другими известными физическими свойствами, которые изменяются в зависимости от технологий обработки почвы и климатических условий.

Особую роль в деградации почвы играют колесные движители, массы которых превосходят допустимое давление на почву. Поэтому в математических моделях агроэкосистем желательно учитывать влияние допустимого механического воздействия на почву со стороны сельскохозяйственных деформаторов [1], сохраняющее их плодородие, а следовательно, обеспечивающее устойчивое состояние агроэкосистем.

## Основная часть

На рис. 1 представлена схема взаимодействия сельскохозяйственной техники с почвой (агро-экосистемой) модели, которая описывается уравнением [2]:

$$\bar{Y} = A \cdot \bar{X}, \quad (1)$$

где  $\bar{X}$  – входные параметры;  $\bar{Y}$  – выходные параметры;  $A$  – оператор.

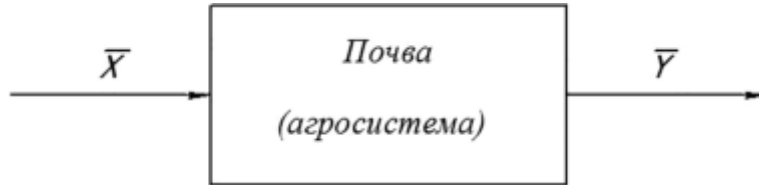


Рис. 1. Структурная схема воздействия сельскохозяйственной техники на почву (агроэко систему)

Оператор  $A$  ставит в соответствие реализацию воздействия  $\bar{X}$  реализации состояния  $\bar{Y}$ .

В соответствии модели (1) составляется уравнение колебаний напряжений, возникающих в почве от воздействия сельскохозяйственных машин

$$m \cdot \ddot{x} + \mu \cdot \dot{x} + k_o \cdot x = y(t), \quad (2)$$

где  $m$  – масса почвы;  $\mu$  – коэффициент вязкости;  $k_o$  – коэффициент жесткости;  $x$  – напряжение в почве;  $y(t)$  – случайное внешнее воздействие, связанное с обработкой почвы сельскохозяйственными деформаторами [2].

Решение данного уравнения после ряда преобразований будет

$$x(t) = x(t_o)x_1(t-t_o) + \dot{x}(t_o)x_2(t-t_o) + \int_{t_o}^t h(t-\tau)d\tau, \quad (3)$$

$$x_1(t) = e^{-\beta\omega_o t} \left( \cos \bar{\omega} t + \frac{3\omega_o}{\omega} \sin \bar{\omega} t \right),$$

$$x_2(t) = \frac{1}{\omega} e^{-\beta\omega_o t} \sin \bar{\omega} t,$$

$$h(t) = x_2(t),$$

$$\bar{\omega} = \omega_o \sqrt{1-\beta^2}; \quad 0 < \beta < 1,$$

$$\omega_o = \frac{k_o}{m}.$$

Обычная процедура дает возможность получить математическое ожидание  $m_x(t)$  и дисперсию  $D_x(t)$  данного процесса.

Считаем, что допустимое давление на почву определяется средним напряжением  $m_x(t)$ .

В случае нормального распределения вероятность того, что  $x$  лежит в малом интервале от  $x$  до  $x + dx$  в момент времени  $t$  определяется выражением

$$\rho(x)dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_x}} 5\rho E \left\{ -\frac{(x-m_x)^2}{2D_x^2} \right\} dx,$$

где  $\rho(x)$  – плотность вероятности малых отклонений от среднего значения  $m_x$  для  $x(t)$ .

При больших отклонениях от среднего значения вероятность того, что контактное напряжение превзойдет величину несущей способности почвы будет

$$\rho[|x(t) - m_x(t)| > D_x(t)] = 1 - \text{Irf}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right),$$

где  $\text{Irf} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{\sqrt{2}}} e^{-t^2} dt$  – интеграл вероятности.

Полученные вероятностные характеристики можно использовать в теоремах устойчивости [3], которые применимы в данной задаче.

### **Заключение**

Полученные в статье зависимости позволяют оценить устойчивость агроэкосистемы с учетом допустимого давления на почву.

### **Список использованных источников**

1. Чигарев, Ю.В., Синкевич П.Н. Математические основы механики почвы / Ю.В. Чигарев, П.Н. Синкевич. – Минск : УП «Технопринт», 2004. – 163 с.
2. Болотин, В.В. Случайные колебания упругих систем / В.В. Болотин. – М. : «Наука», 1979. – 335 с.
3. Хасьминский, Р.З. Устойчивость систем дифференциальных уравнений при случайных возмущениях их параметров / Р.З. Хасьминский. – М. : «Наука», 1969. – 245 с.