

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ МАШИН С УЧЕТОМ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АГРОЛАНДШАФТОВ

Ю.В. Чигарев, д. ф.–м. н., профессор, И.Н. Шило, докт. техн. наук, профессор, Н.Н. Романюк, старший преподаватель, М.И. Назарова (УО БГАТУ)

Аннотация

Проблема переуплотнения почв связана не только с восстановлением плодородия почв и увеличением урожайности сельскохозяйственных культур, но и с вопросом устойчивого поведения агроэкологических систем. Рассматривается моделирование систем машин с учетом экологической безопасности агроландшафтов. Показано, что система машин характеризуется циклами и периодами жизни, которые зависят от многих факторов, в том числе, и от физического состояния среды взаимодействия. Представлено влияние параметров машин на поведение агроэкосистем.

Введение

Система машин – это совокупность машин, удовлетворяющих определенным требованиям. В сельскохозяйственном производстве она должна формироваться в соответствии с новыми требованиями к агротехнологиям и охране окружающей среды. Чем выше уровень техники, тем больше своих функций человек стремится передать машине. Возникает взаимосвязи между человеком, машиной и средой. Именно интеграция таких взаимодействий создает технические системы.

Техника является средством реализации технологий. Технология – это последовательный перечень операций с указанием средств, сроков их выполнения и агротехнических требований. Выбор технологий определяется экономическими и экологическими аспектами, климатическими условиями.

Методика исследований

1. Циклы и периоды жизни машин

В основе создания системы машин необходимо учитывать их взаимодействие со средой. С одной стороны, среда и ее состояние влияют на работу машины, а с другой, машины влияют на изменение физического состояния среды. Такие связи вызывают необходимость рассматривать задачи взаимодействия среды и машины.

В сельскохозяйственных средах особую актуальность имеют решения задач трибологии, в том числе, задач о контакте колеса (гусеницы, плуга и т.д.) с почвой, задач износа орудий.

Каждая машина имеет цикл и период своего существования (жизни), зависящий от технологии и состояния среды, и это необходимо учитывать при обосновании системы машин.

Цикл – это измеряемая продолжительность службы сельскохозяйственной техники, связанная с процессом ее эксплуатации.

Период – это промежуток времени выполнения той или иной технологии сельскохозяйственного производства, фиксирующий повторения с определенным интервалом.

В технологиях земледелия существуют циклы взаимодействия сельскохозяйственной техники со средой (поле, луг, пастбище, дорога и др.), которые характеризуются временем жизни не только машин, но и среды.

В последние годы, как известно, возросло число земель непригодных для земледелия. Одной из причин ускоренной деградации почв является ее переуплотнение энергонасыщенными машинно-тракторными агрегатами. В определении цикла существенную роль играет время. Необходимо уменьшить его потери, чтобы увеличить интенсивность развития производства.

В пределах цикла жизни машин наблюдается наращивание объемов их выпуска до максимума (рис. 1), а затем происходит некоторая стабилизация в течение более или менее продолжительного периода времени.

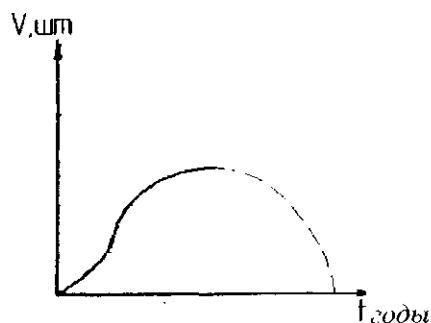


Рисунок 1. Объем выпуска изделий (V, шт) в производстве в зависимости от времени (t, годы).

Наконец, с некоторого момента времени начинается спад объемов выпуска до полного прекращения их производства (меняются модели тракторов, машин, орудий и т.д.).

Пропорционально темпам роста объема выпуска машин изменяются ее параметры, объем потребляемых материалов, технические характеристики.

Модели изучения циклов жизни машин используют методы регрессивного и интерактивного анализа, расчета математического ожидания, дисперсии и стандартного отклонения (ошибки).

Экономические циклы жизни машин оказывают существенное воздействие на организацию среды. В рыночной экономике одновременно с циклами жизни новых промышленных изделий рассматривают циклы жизни промышленных корпораций, которые включают четыре важнейшие функции: финансовую, маркетинг, производственную и управленческую. Благодаря использованию теории цикла жизни промышленных корпораций прогнозируется их развитие.

Взаимодействие системы машин с почвой (аглоландшафтами) происходит, как правило, циклически. При этом функционирование машины со средой происходит со своим внутренним циклом жизни. Классическими примерами внутренних циклов, которые имеют общие закономерности для многих физических процессов, являются зависимости изменения мощности (N) на валу двигателей от момента нагрузки (M), (рис. 2).

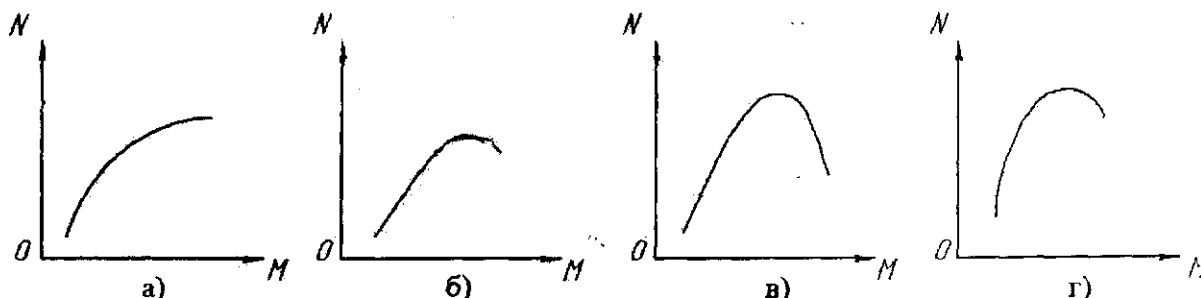


Рисунок 2. Механические характеристики: а) – электродвигателя постоянного тока с последовательной обмоткой возбуждения; б) – асинхронного короткозамкнутого двигателя с повышенным скольжением; в) – поршневого парового двигателя; г) – поршневого двигателя внутреннего сгорания.

В установившихся режимах, как это видно из рисунка 2, внутренний цикл жизни машин, в общем виде, можно охарактеризовать тремя фазами: восходящим, стабильным и нисходящим. Очевидно, что аналогичный характер будет для внутреннего цикла при построении зависимости биологической активности почвы от механического давления со стороны сельскохозяйственной техники. Средами функционирования, где осуществляется преобразовательная функция машин, являются технологическая, организационная, природная среда. В них на машины оказывают действие силы сопротивления, которые могут иметь как полезное, так и отрицательное влияние. Зависимость изменения сил воздействия машин на среды часто носит вид экспоненты или параболы.

Применение машин позволяет перевести среду в различные состояния (фазы). Например, при уплотнении почв, при первой фазе происходит уплот-

нение за счет уменьшения пор, затем образуется устойчивый равноупругий массив, прекращается колебание частиц и, наконец, образуются остаточные деформации.

Первая фаза сред может быть описана моделями процессов диффузии, вторая – моделями волновых процессов, третья – моделями остаточных деформаций, возникающих в средах, причем для третьей фазы, как правило, необходимо предусмотреть средства управления, которые могут содержать почвощадящие технологии.

Для обеспечения взаимодействий между средой и машиной должны быть созданы необходимые связи по обеспечению целенаправленного функционирования машины, учтены экологические факторы от ее действия на среду.

Повышение эффективности производства сельскохозяйственной продукции связано с интенсификацией процессов производства на основе комплексной механизации и внедрения систем машин, отвечающих современным требованиям экологической безопасности сельскохозяйственных сред. Применение комплексной механизации тесно связано с научно обоснованной системой машин, за счет которой обеспечивается механизация всех основных и вспомогатель-

ных работ по возделыванию и уборке сельскохозяйственных культур.

Таким образом, система машин характеризуется циклами и периодами жизни, которые могут зависеть от многих факторов, в том числе, и от физического состояния среды взаимодействия. В то же самое время состояние среды, ее изменение во многом определяется характером механического, химического и климатического нагружения. Понятно, что механическое нагружение связано с системой машин и технологией. Переуплотнение почв ведет к их ускоренной эрозии. Почвы, как главный компонент агроэкосистемы, оказывают существенное влияние на устойчивость их равновесия. За свой цикл жизни агроэкосистема может пройти несколько фаз развития. Первые фазы характеризуются устойчивыми состояниями, когда внешние механические и климатические воздействия не могут вывести агроэкосистему из ус-

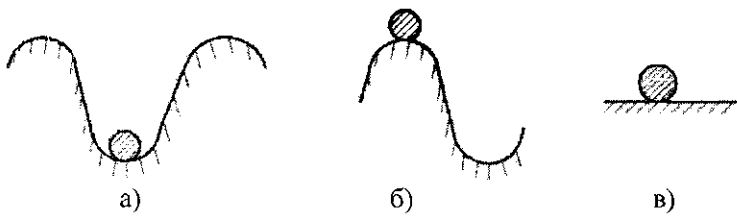


Рисунок 3. Различные состояния сред:
а) - устойчивое; б) - неустойчивое;
в) - безразличное равновесие.

стойчивого положения. В физике такое состояние характеризуется «потенциальной ямой». Положение шарика является устойчивым (рис. 3, а), так как после приложения к нему возмущений, он через некоторое время возвращается в первоначальное положение. Такие состояния могут быть у почв с ненарушенной структурой, высоким содержанием гумуса, т.е. у плодородных почв.

Положение (рис. 3, б) характеризуется неустойчивым состоянием равновесия, когда даже очень малые возмущения выводят шарик из исходного положения, в которое он уже не возвращается. Это относится к переуплотненным почвам, с нарушенной структурой, с низким содержанием гумуса. К сожалению, число таких почв растет. Наконец, последняя стадия развития характеризуется безразличным равновесием (рис. 3, в). Таким состоянием отмечены земли непригодные для земледелия (пустыни), и их число непрерывно растет.

Поэтому в обосновании системы машин должно быть учтено ее влияние на экологическую безопасность агроландшафтов.

2. Учет параметров машин в оценке равновесия агроэкосистем.

Рассмотрим влияние процесса воздухопроницаемости почвы на поведение агроэкосистем. Поскольку рассматриваемые экосистемы являются открытыми, то изменение энтропии такой системы выражается суммой энтропии, полученной внутри системы ($d_i S$), и энтропии, поступающей извне ($d_e S$) [1]:

$$dS = d_i S + d_e S \quad (1)$$

Аппроксимируем поверхность почвенного массива некоторой агроэкологической системы совокупностью ячеек $\sum_{i=1}^m N_i = N$ (модель Изинга) [2]. Пусть

p_i – закономерности нахождения ячеек в зависимости от воздухопроницаемости B_i (безразмерная величина).

Воздухопроницаемость рассматриваемого почвенного массива (B) найдем по зависимости:

$$B = \sum_{i=1}^m p_i B_i \quad (p_i = \frac{N_i}{N}) \quad (2)$$

при этом

$$\sum_{i=1}^m p_i = 1 \quad (3)$$

В соответствии с [1], энтропия рассматриваемой системы:

$$S = -K \sum_{i=1}^m p_i \ln p_i \quad (4)$$

где K – постоянная Больцмана.

Умножим уравнение (3) на $(\alpha - 1)$, а (2) – на

$$\lambda = \beta E, \text{ где } \beta = \frac{1}{KT}, \text{ } T - \text{температура,}$$

$\alpha = const$, E – внутренняя энергия.

Путем преобразований аналогичных [1], подставив полученные уравнения в соотношение (4), получим:

$$S = \alpha K + \frac{EB}{T} \quad (5)$$

Согласно [3] установлено, что воздухопроницаемость почвы зависит от массы эксплуатируемой техники, количества проходов, физических и геометрических свойств почвы и движителя:

$$B = B_0(1 - H); \quad H = 1 - \exp\left(-\frac{PMn}{D^2 ar}\right) \quad (6)$$

где B_0 – воздухопроницаемость агротехнически неповрежденной почвы;

P – нагрузка на ось колеса;

M – математическое ожидание модуля деформации почвы;

a – проекция длины линии контакта на горизонтальную ось;

r – радиус колеса;

n – количество проходов техники по следу;

D – дисперсия модуля деформации почвы.

Параметр H характеризует вероятность агротехнической повреждаемости почвы.

На рисунке 4 показана зависимость воздухопроницаемости почвы от количества механических воздействий.

Изменение энтропии культурного биоценоза зависит от интенсивности антропогенного воздействия, в том числе, и от количества проходов техники, т.е. $S = S(n)$. Накоплению антропогенных изменений в почве, в том числе и изменению воздухопроницаемости, противодействуют реактивные функции охраны живой подсистемы, которая стремится к природному самовосстановлению.

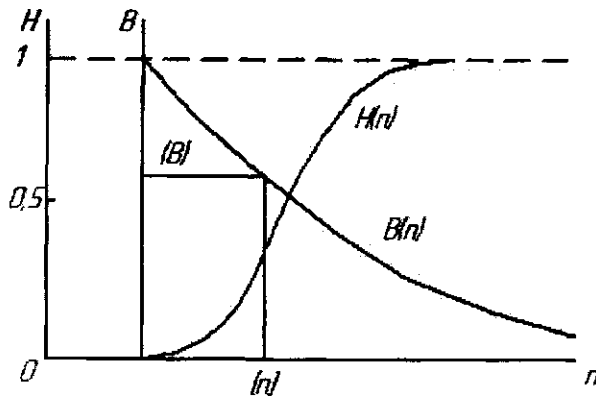


Рисунок 4. Зависимость воздухопроницаемости почвы от количества механических воздействий.

Однако, при постоянно действующем техногенезе с перегрузками, которые превышают допустимые, может произойти снижение природных замкнутых функций саморегулируемой подсистемы, в результате чего наступает экстремальная ситуация. При этом агроэкологическая система теряет экологическое равновесие в локальном или всеобщерегиональном масштабе. Пусть dS/dn – интенсивность изменения энтропии (σ). Тогда можно записать [1]:

$$\sigma = \frac{dS}{dn} = \frac{\partial S}{\partial B} \frac{dB}{dn} \quad (7)$$

или

$$\sigma = XI, \quad (8)$$

где $X = \frac{\partial S}{\partial B}$ – сила аэробного потока;

$$I = \frac{dB}{dn} \text{ – аэробный поток.}$$

Связь между X и I обычно выражается через кинетический коэффициент R :

$$I = RX, \quad (9)$$

где R с учетом (6) будет:

$$R = \frac{B_0 \Delta KT}{E} \exp(-\Delta n), \quad (10)$$

где

$$\Delta = \frac{PM}{D^2 ar} \quad (11)$$

В случае рассмотрения поведения экосистемы в виде многомерного процесса интенсивность энтропии будет зависеть от многих экстенсивных переменных, поэтому в общем случае:

$$\sigma = \sum_{i=1}^m X_i I_i \quad (12)$$

а связь между потоками и силами будет:

$$I_i = \sum_{j=1}^m R_{ij} X_j, \quad (13)$$

где R_{ij} – кинетические коэффициенты.

Подставив (9) в (8), получим:

$$\sigma = RX^2. \quad (14)$$

Продифференцировав (14) дважды по X , получим:

$$\frac{1}{2} \frac{\partial^2 \sigma}{\partial X^2} R \pi 0. \quad (15)$$

Из соотношения (15) следует, что интенсивность возрастания энтропии максимальная, т.е. положение саморегулируемой подсистемы неустойчивое. Следовательно, неустойчивым будет и положение агроэкологической системы.

Выводы

1. При проектировании и обосновании системы машин необходимо учитывать их влияние при эксплуатации на физическое состояние агроландшафтов.
2. Нарушение аэробного равновесия в почве может привести к потере устойчивости экологической системы. В соответствии с соотношениями (6), воздухопроницаемость почвы будет монотонно изменяться при увеличении частоты механического воздействия и постоянной нагрузке (P), (рис. 4). Функция агротехнической повреждаемости почвы или вероятность экологической опасности H также монотонно изменяется на заданном интервале в зависимости от n . Эксперименты показывают, что нижняя граница допускаемой нормы уплотнения почвы, которая сохраняет нормальные аэробные условия, должна соответствовать $H = 0,3 - 0,4$. Дальнейшее снижение воздухопроницаемости приводит к значительному снижению роста сельскохозяйственных культур, задержке произрастания семян, гибели микроорганизмов, неустойчивому положению экосистемы.
3. Проблема переуплотнения почв связана не только с восстановлением плодородия почв и увеличением урожайности сельскохозяйственных культур, но и с вопросом устойчивого поведения агроэкологических систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волькенштейн, М.В. Биофизика: учеб. руководство / М.В. Волькенштейн. – 2-е изд. – Москва: Наука, 1988. – 592 с.
2. Займан, Дж. Модели беспорядка / Дж. Займан. – Москва: Мир, 1982. – 591 с.
3. Чыгароу, Ю.У. Ацэнка агра-тэхнічнага пашкоджання глебы пры тэхнічным дэфармаванні / Ю.У. Чыгароу // Весці АН БССР, №3, 1991. – С.51-55.