

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В МОДЕЛИРОВАНИИ СИСТЕМЫ МАШИН

*И.Н. Шило, Ю.В. Чигарев, Н.Н. Романюк*

*(Белорусский государственный аграрный технический университет)*

В основе создания системы машин – необходимость учитывать их взаимодействие с опорной поверхностью (почвой, средой). С одной стороны, почва и ее состояние влияют на работу машины, а с другой – машины влияют на изменение физического состояния почвы. Такие связи вызывают необходимость рассматривать задачи взаимодействия среды (почвы) и машины.

В сельскохозяйственных средах особую актуальность имеют решения задач трибологии, в том числе задачи о контакте движителя (колеса, гусеницы) с почвой, и задачи износа сельскохозяйственных орудий. Каждая машина имеет цикл и период своего существования, зависящий от технологии и состояния среды. В технологиях земледелия существуют циклы взаимодействия сельскохозяйственной техники со средой, которые характеризуются временем жизни не только машин, но и среды.

В последние годы 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.

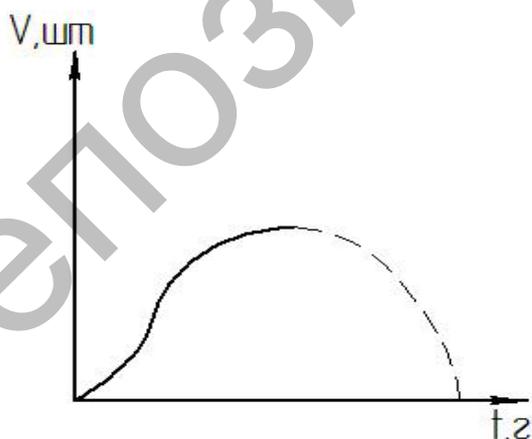


Рис. 1. Объем выпуска изделий ( $V$ , штук) в производстве в зависимости от времени ( $t$ , годы)

Наконец, с некоторого момента идет спад объемов выпуска до полного прекращения производства (меняются модели тракторов, машин и т. д.). Пропорционально темпам роста объема выпуска машин изменяются их 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, производственную, управленческую и маркетинг. Благодаря использованию теории цикла жизни промышленных корпораций прогнозируется их развитие.

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

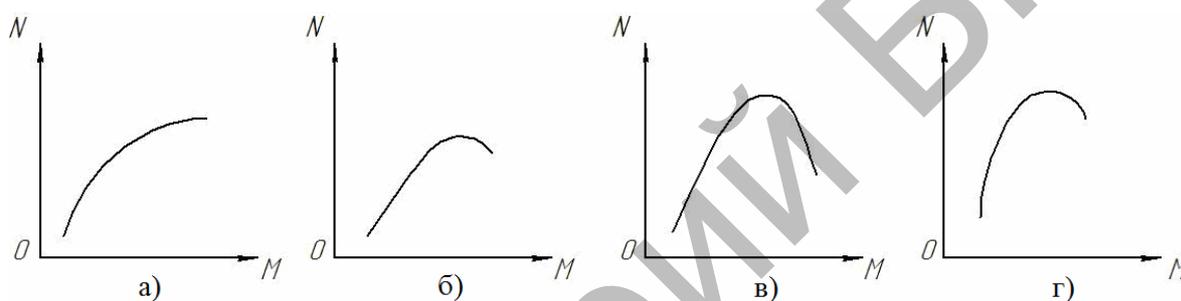


Рис. 2. Механические характеристики: а – электродвигателя постоянного тока с последовательной обмоткой возбуждения; б – асинхронного короткозамкнутого двигателя с повышенным скольжением; в – поршневого парового двигателя; г – поршневого двигателя внутреннего сгорания

В установившихся режимах (рис. 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 движителей 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, положительное, 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 уплотнение 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 почвощадающие 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 вспомогательных работ по возделыванию и уборке сельскохозяйственных культур.

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 устойчивого 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.

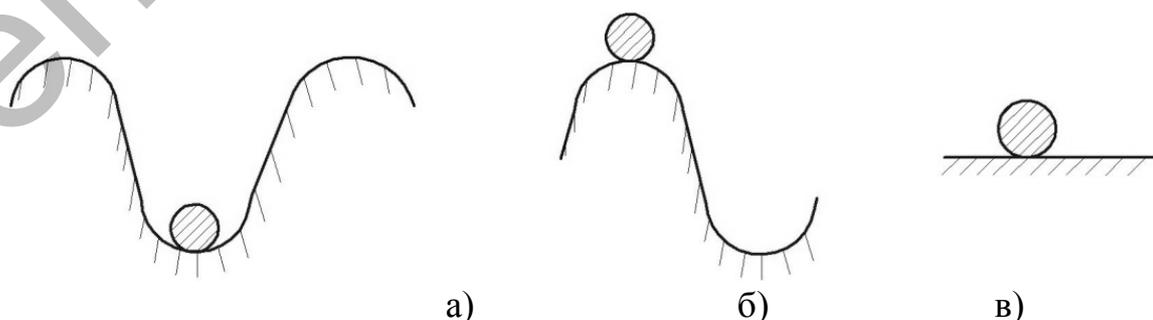


Рис. 3. Различные состояния сред: а – устойчивое; б – неустойчивое; в – безразличное равновесие

Положение на рисунке 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.

Рассмотрим влияние процесса воздухопроницаемости почвы (ВП) 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).

ВП 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  $\lambda = \beta E$ , где  $\beta = \frac{1}{KT}$ ,  $T$  – 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 литературным данным [3] установлено, что ВП 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.

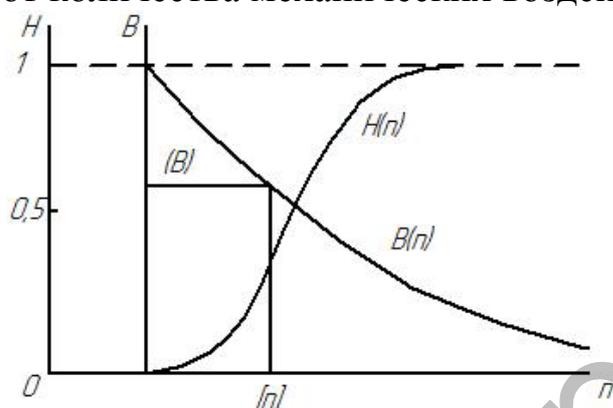


Рис. 4. Зависимость воздухопроницаемости почвы от количества механических воздействий

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 изменению воздухопроницаемости) противодействуют реактивные функции охраны живой подсистемы, которая стремится к природному самовосстановлению.

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 ( $\sigma$ ). 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;

$I = \frac{dB}{dn}$  – 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:

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

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

### Выводы

1. Проблема переуплотнения почв связана не только с восстановлением их плодородия и увеличением урожайности сельскохозяйственных культур, но и с вопросом устойчивого поведения агроэкологических систем.

2. При проектировании системы машин необходимо учитывать их влияние при эксплуатации на физическое состояние агроландшафтов.

3. 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 изменятся на заданном интервале в зависимости от  $n$ . Эксперименты показы-

вают, что нижняя граница допустимой 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.

#### Литература

1. Волькенштейн М.В. Биофизика. – М., 1988.
2. Займан Дж. Модели беспорядка. – М., 1982.
3. Чыгароў Ю.У. Ацэнка аграгэаграфічнага пашкоджання глебы пры тэхнічным дэфармаванні // Весці АН БССР. – 1991. – № 3. – С. 51–55.

УДК 634.739.3:630\*6(476)

### СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ВЫРАБОТАННЫХ ПЛОЩАДЕЙ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЕЛАРУСИ НА ОСНОВЕ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЯГОДНЫХ РАСТЕНИЙ

*А.П. Яковлев*

*(Центральный ботанический сад НАН Беларуси, г. Минск)*

Неизбежным следствием масштабных работ при промышленной эксплуатации торфяных месторождений может стать значительное расширение площадей, подверженных разрушительному действию процесса минерализации органического вещества, усиленному дефляцией и рядом других негативных факторов, что в перспективе будет способствовать выведению этих земель из хозяйственного оборота. Практический опыт показал, что на месте торфоразработок остаются хорошо спланированные участки, вполне пригодные для освоения, что делает весьма актуальным создание на их площадях новых продуктивных и устойчивых природных комплексов. Подобные территории, общая площадь которых в республике, по оценкам специалистов, превышает 295 тыс. га [1], в настоящее время имеются во всех областях и в большинстве административных районов Беларуси. Как правило, эти земли ранее предлагалось использовать для создания лесных угодий и водоемов, но приоритетным все же считалось сельскохозяйственное направление [2, 3].

Однако широкого развития и практического внедрения данные направления не получили. Количество переданных народному хозяйству выработанных площадей торфяных месторождений не превышает 30 % от общей площади. Из них передано лесхозам 45–67 %, для сельского хозяйства – 21–43 %, а остальные – другим землепользователям [4]. От-