

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный аграрный университет»  
(ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ)  
**Институт агроинженерии**

Кафедра            Эксплуатация машинно-тракторного парка, и технология  
и механизация животноводства

## **ЛЕКЦИЯ**

на тему

### **Основы системной динамики**

**по направлению подготовки 35.04.06 «Агроинженерия»**

**программа подготовки – Технический сервис в сельском хозяйстве**

доцент кафедры ЭМТП и ТМЖ,  
к.т.н, доцент

В.Н. Николаев

В настоящее время *системная динамика* представляет собой одно из направлений *имитационного моделирования*, к которому относятся также дискретно-событийное и агентное моделирование.

Понятие «системности» определяет окружающую среду как совокупность сложных систем с нелинейным поведением и зачастую неочевидной динамикой взаимодействия.

«Динамика» позволяет анализировать интересующие нас системы не в статике, а в развитии - отслеживая поведение системы во времени, ее изменение под действием тех или иных параметров, в том числе и тех, которые сложно измерить количественно и просчитать математически. Именно динамическая компонента делает метод системной динамики привлекательным инструментом для прогнозирования будущих событий в сложной и неопределенной среде. В системной динамике появляется возможность учитывать нелинейность поведения систем и обратную связь.

Согласно системной динамике, в системе множество переменных взаимодействуют друг с другом посредством петель обратной связи, которые, в свою очередь, могут взаимодействовать и между собой. Внутри системы определяются все петли положительной и отрицательной обратной связи. В системе также определяются «точки приложения», в которых можно вмешаться в процессы и изменить поведение системы.

Методология системной динамики включает качественную и количественную стадии.

На качественной стадии исследователь описывает модель и определяет характеристики взаимодействий. На количественной стадии, в ходе компьютерного эксперимента, исследователь определяет, насколько верна его модель и тестирует свои гипотезы о поведении системы.

Динамика поведения сложных систем в принципе описывается взаимодействием всего двух типов обратной связи - положительных и отрицательных. Причинно-следственные диаграммы состоят из переменных и связей между ними с определенной полярностью (положительной или отрицательной). Связи между переменными изображаются стрелками. Например, производительность водяного насоса зависит от нескольких переменных, как представлено на рисунке 1. Причинно-следственная диаграмма предусматривает наличие полярных связей (положительной или отрицательной) между переменными. Правило определения полярности связей следующее:

- положительная обратная связь (положительный контур) увеличивает переменную;
- отрицательная обратная связь (отрицательный контур) уменьшает переменную.

Применяя правило расстановки полярности, получается следующая структура системы: чем больше цена насоса, тем больше производительность (+); чем больше глубина скважины, тем ниже производительность (-);

чем выше мощность электродвигателя, тем выше производительность (+); чем выше длительность пользования водой в сутки, тем ниже производительность (-); чем больше количество пользователей, тем выше производительность (+).

При создании причинно-следственных диаграмм исходят из количества отрицательных связей в петле. Положительный контур обратной связи представляется как контур, имеющий четное число отрицательных причинно-следственных связей, а отрицательный контур – как контур с нечетным числом отрицательных причинно-следственных связей.



Рисунок 1 – Причинно-следственная диаграмма производительности водяного насоса

Если отклик контура обратной связи на переменное изменение выступает против первоначального возмущения, то контур является отрицательным, или целенаправленным.

Отрицательный контур обратной связи обозначается там, где изменение одного элемента (контура обратной связи) распространяется по кругу, пока не вернется, чтобы изменить тот же элемент в направлении, противоположном начальному изменению. Такой контур еще называется балансирующим (балансирующие петли стремятся вернуть систему в равновесное состояние, сдерживая ее рост). Это аналогично работе усилителя с отрицательной обратной связью в электронике. Балансирующая система ориентирована на достижение определенной цели. Примеры отображения поведения системы с балансирующими петлями обратной связи представлены на рисунке 2 для системы полива овощного поля. Совокупность положительных (самовоспроизводящихся) и негативных (балансирующих) петель обратной связи определяет поведение системы в целом.

По существу, на рисунке 2 приведена ментальная модель выбора производительности водяного насоса для подачи воды на овощное поле. Интуитивно предполагается, что между выбором насоса и получаемой прибылью после реализации овощей существует связь. Рассмотрим несколько контуров обратной связи между производительностью насоса и прибылью.

Контур 1 - положительный (два –): Производительность насоса (+) - Урожай овощей (–) - Цена овощей (+) - Прибыль (–) - Техническое совершенство насоса (–) - Мощность электрического двигателя - Производительность насоса.

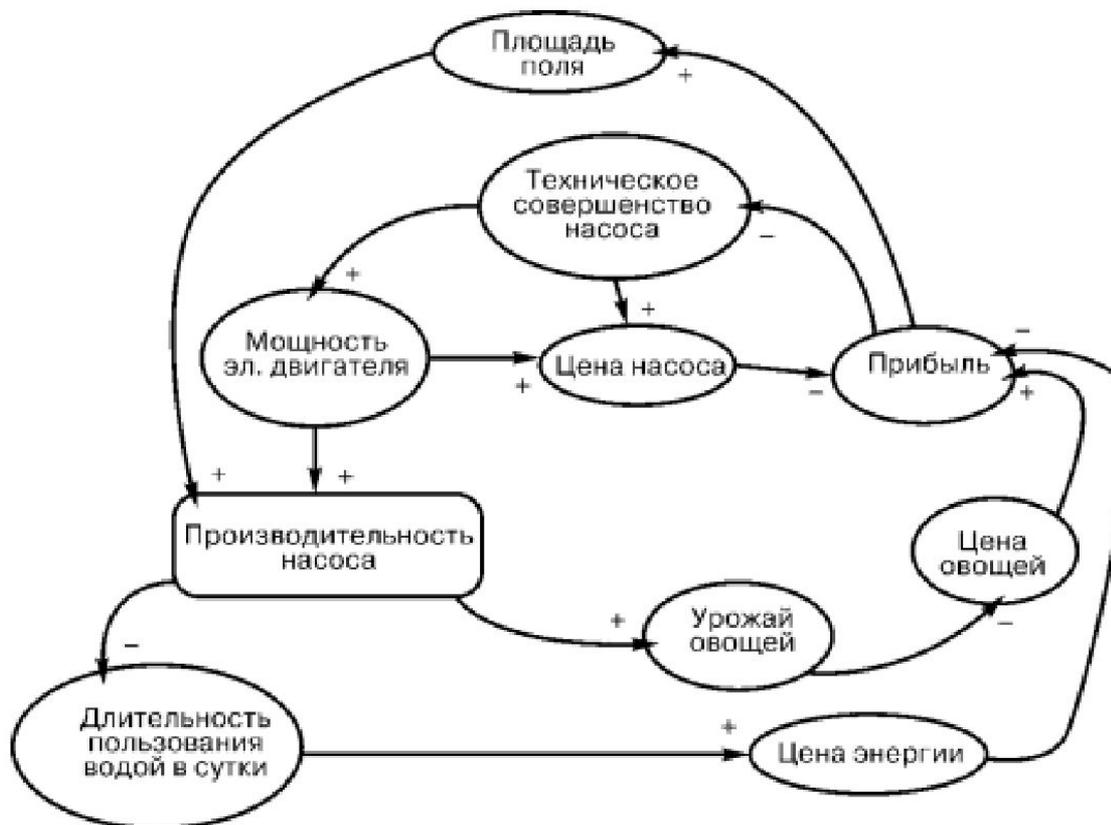


Рисунок 2 – Причинно-следственная диаграмма с положительными и отрицательными обратными связями при поливе овощного поля

Контур долговременный, время его действия, запаздывания, зависит от времени технического совершенствования насосов, которое может составлять несколько лет. Увеличение производительности насоса, вызванное, например, необходимостью повышения урожая овощей, приведет через несколько лет к еще большему увеличению производительности за счет того, что рост урожая скажется на снижении цены (–) и необходимости в этом контуре технического совершенствования, которое приведет к повышению необходимой мощности.

Контур 2 - отрицательный (один –): Производительность насоса (+) - Урожай овощей (–) - Цена овощей (+) - Прибыль (+) - Площадь поля (+) - Производительность насоса.

Контур долговременный, время его действия, запаздывания, зависит от ввода или сокращения площадей, которое может составлять не менее года. Увеличение производительности насоса, вызванное, например, необходимостью повышения урожая овощей, приведет через несколько лет к снижению производительности насоса за счет того, что рост урожая скажется на снижении цены (–) и необходимости в этом контуре снижения площадей, которое приведет к снижению необходимой мощности.

В данном примере существуют еще несколько положительных и отрицательных контуров более низкого порядка. Например, положительный: Техническое совершенствование насоса - Мощность электрического двигателя - Цена насоса. Отрицательный: Техническое совершенствование насоса - Цена насоса - Прибыль.

Все контура, естественно, взаимодействуют и влияют друг на друга, что и обуславливает непредсказуемость поведения системы, ее сложность и невозможность математического описания аналитическими методами. В этом примере мы отметили обратные связи с запаздыванием, когда обратная связь начинает действовать через некоторое время, и эффект от какого-то действия, например, увеличения цены насоса, скажется через несколько лет.

В этом случае в системе возникают колебания с периодом для сельскохозяйственного предприятия более года. Эффект запаздывания является источником формирования колебаний в сложных системах, таких как, например, рынки сырьевых товаров, урожайность плодов, промышленное производство определенных групп товаров.

Колебания возникают, если текущее состояние системы (прибыль предприятия) сравнивается с целью — желаемой прибылью, после чего осуществляется определенное корректирующее управленческое воздействие, например, увеличиваются площади под овощи. Однако вследствие эффектов запаздывания корректирующее воздействие может быть избыточным, слишком большие площади заняли под культуру, что приведет к значительному повышению затрат и урожайности, снижению прибыли. После этого предпринимается слишком сильное обратное корректирующее воздействие — снижение площади. Затем со временем снова происходит рост, т. е. система из одной крайности впадает в другую.

Во временном анализе это можно представить как колебания с одинаковой, а чаще - с разной амплитудой. Эффект запаздывания вынуждает применять корректирующие действия даже после того, как цель достигнута, вынуждая систему чрезмерно приспосабливаться, тем самым вызывая новую коррекцию в обратном направлении (рис. 3).

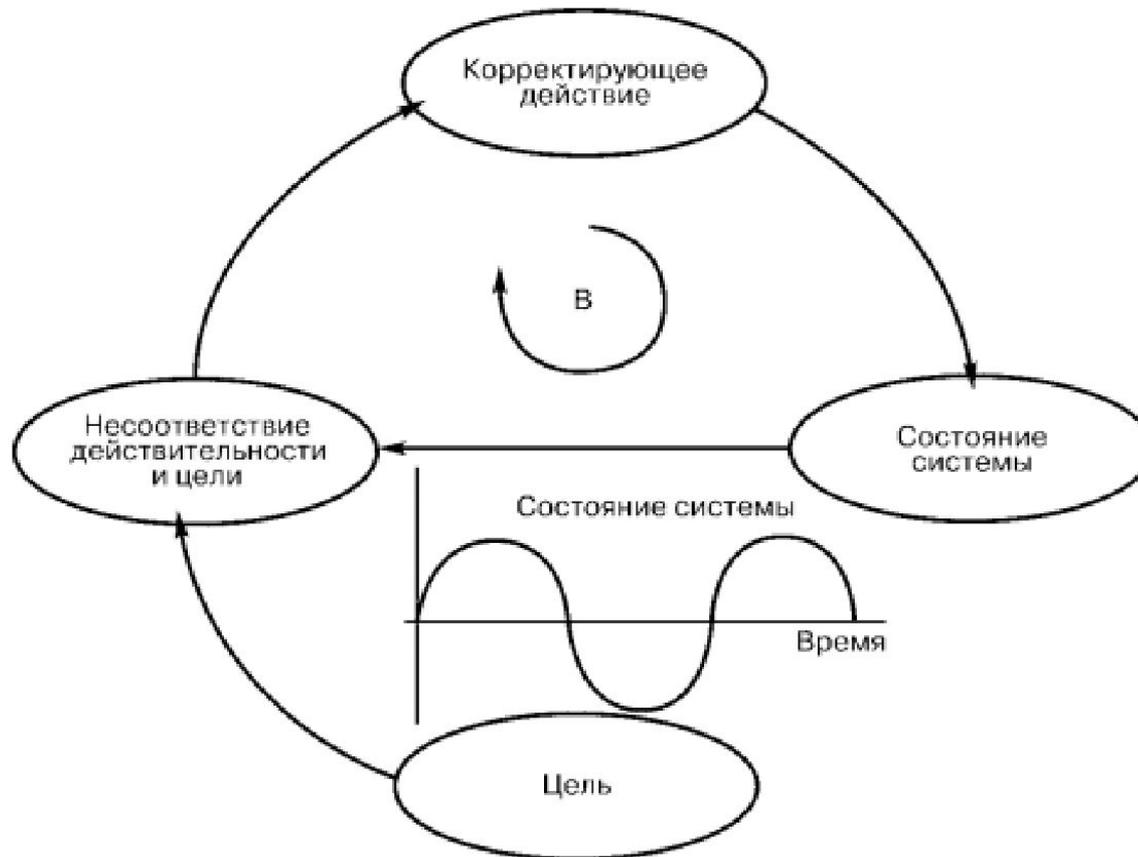


Рисунок 3 – Колебательная система

Карты восприятия, созданные на основе причинно-следственных диаграмм, помогают сфокусировать внимание на глубинных причинах проблем в организации, выявить критические точки (рычаги), на которые следует воздействовать для достижения поставленных целей, оценить возможные последствия и риски внедрения той или иной стратегии, наглядно представить и объяснить сложную структуру взаимозависимостей и взаимодействия между организацией и ее контрагентами.