

Антиинтуитивные системы, типичные ошибки при управлении ими.

Встречая сложные, обладающие сильными внутренними связями социальные и экономические системы, люди часто приходят к неправильным выводам, так как при выработке оценок они пользуются обычными методами и интуицией. За всю долгую историю человечества человек не нуждался в понимании этих систем, однако, теперь это не так. Эволюционный процесс не выработал в нас интеллектуальной способности, необходимой для правильного понимания динамического поведения систем, частью которых мы сами являемся. Создаваемая интуитивно «мыслительная» модель несовершенна и не точно формализуема. Более того, даже у одного и того же человека мысленная модель изменяется со временем, например, в течение беседы. Человеческий разум komponует некоторые взаимосвязи для того, чтобы приспособливаться к смыслу дискуссии. ... Фундаментальные гипотезы меняются, но никогда не высказываются. Цели различны и остаются не идентифицированными. Не удивительно, что поиск компромиссов занимает так много времени.

Достоинствами человеческого интеллекта является то, что он:

- в высшей степени приспособлен к **анализу элементарных сил и воздействий**, составляющих систему;
- очень эффективен при **идентификации структуры** сложной ситуации;
- легко воспринимает отрицательные явления, опасения, цели, особенности, предубеждения, задержки, сопротивляемость к изменению, мотивы, доброжелательность, жадность и другие чисто человеческие характеристики, которые регулируют взаимосвязи между отдельными ячейками социальных систем.

Однако, когда модель построена, разум становится недостаточным для целей предвидения, для изучения **динамики поведения**, которое свойственно системе. Иными словами, построив модель, человек не способен выполнить то, с чем легко справляется типовая программа решения дифференциальных уравнений (например, **RKF45**).

Интуитивно очевидные «решения» социальных проблем имеют тенденцию заводить в одну из нескольких **ловушек**, обусловленных характером сложных систем. Так, типичными **признаками антиинтуитивных систем** и **ошибками** при принятии для них управленческих решений без моделирования являются следующие.

Первый тип ошибок связан с появлением новых проблем при разрешении старых. «Нос вытащишь – хвост увязнет!»

Второй тип ошибок вызывается тем, что **кратковременная** и **долговременная** реакция социальной системы на разные методы управления обычно **противоречат** друг другу. Хорошие методы и программы, улучшающие положение системы в долгосрочном плане, первоначально могут ухудшать его. И наоборот. Это особенно коварное явление! Краткосрочная перспектива бросается в глаза и требует немедленных действий! Многие проблемы сложных систем являются конечным результатом ранее принятых краткосрочных решений. Так, например, большие капиталовложения и более интенсивное использование земли в сельском хозяйстве

увеличили производство пищевых продуктов в краткосрочной перспективе, но в долгосрочной перспективе они нарушили продуктивность огромных земельных площадей из-за эрозии и засорения.

Третий тип ошибок обусловлен противоречиями между целями одной *подсистемы* и *системы в целом*. Так целью города является его расширение и повышение уровня жизни. Однако, по мере того, как эти цели реализуются, вся страна сталкивается с ростом населения, индустриализ., загрязнения и потребности в продуктах питания. Аналогично интересы стран вступают в противоречие с интересами мира в целом.

Четвертый тип ошибок связан с тем, что человеческий опыт работы с простыми системами учит нас, что причину затруднения следует искать *рядом* с его проявлениями. Социальная система «подставляет» нам кажущуюся причину, которую мы на основе «опыта» считаем правдоподобной. Например, возникают явные симптомы загрязнения окружающей среды. Вместо изучения проблемы народонаселения, давление ослабляется созданием новых городских районов в сельской местности. И только через много лет будет видно, что население увеличилось настолько, что даже прежний уровень жизни невозможно поддерживать.

В качестве примера рассмотрим простую модель Вольтерра «хищник-жертва»,

$$\begin{aligned}\frac{dr}{dt} &= 2r - \alpha \cdot r \cdot f, \\ \frac{df}{dt} &= \alpha \cdot r \cdot f - f\end{aligned}, \quad (1)$$

описывающую совместное существование кроликов (r), имеющих неограниченный запас пищи и лис (f), питающимися кроликами. Коэффициент α отражает вероятность их встречи с понятными последствиями.

Что можно ожидать от такого сообщества спустя длительное время? Одно из интуитивных решений подсказывает, что в системе установится равновесие (стационарная точка), когда число лис и кроликов сбалансировано. Рассмотрим это подробнее. Система имеет две стационарные точки. Одна из них нулевая, а вторая x^* выглядит следующим образом:

$$\mathbf{x} = \begin{pmatrix} r \\ f \end{pmatrix}, \quad x^* = \begin{pmatrix} 1/\alpha \\ 2/\alpha \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Оценим ее устойчивость. Матрица Якоби \mathbf{J} системы (1) имеет вид

$$\mathbf{J} = \begin{pmatrix} 2 - \alpha \cdot f & -\alpha \cdot r \\ \alpha \cdot f & -1 + \alpha \cdot r \end{pmatrix}$$

и в стационарной точке x^* принимает следующее значение

$$\mathbf{J}(\mathbf{x}^*) = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 2 & 0 \end{pmatrix}.$$

Ее собственные значения оказываются чисто мнимыми ($\lambda_{1,2} = i \cdot \sqrt{2}$), и дальнейший анализ показывает, что стационарная точка оказывается неустойчивой. Вместо этого в системе устанавливается орбитально устойчивый предельный цикл. Первоначально большое число кроликов приводит к росту числа лис, следствием чего является сокращение количества кроликов, что, в свою очередь, приводит к вымиранию лис. Число кроликов вновь возрастает и т.д. Именно такая картина и складывается реально в природе. Первоначальная гипотеза о наличии устойчивой стационарной точки оказалась ошибочной.

Проблемам построения социально-экономических моделей посвящен целый ряд работ Дж. Форрестера («Основы кибернетики предприятия», «Динамика развития города», «Мировая динамика»). В качестве примера обратимся к некоторым результатам последней книги, где строится очень упрощенная «учебная» модель мировой динамики. В ней присутствуют пять фазовых переменных (так называемые *уровни*, характеризующие накопления внутри системы): **население, фонды в промышленности, фонды в сельском хозяйстве, природные ресурсы, загрязнение**. При этом не учитывается научно-технический прогресс, и учитываются только разведанные природные ресурсы.

Базовый эксперимент в исходной системе показал, что процесс роста экономики сменяется упадком в результате истощения природных ресурсов.

Эксперимент 1. Темп использования природных ресурсов уменьшен в 4 раза (!) – новые технологии. Но на использование естественных ресурсов влияет *численность населения и материальный уровень* жизни, а эти факторы продолжают изменяться. Уменьшение потребности в естественных ресурсах устраняет один из факторов ограничения развития, но в системе *возникает другая сила, подавляющая рост*, – **катастрофа загрязнения**. Загрязнение возрастает более, чем в **40** раз (перегрузка природных механизмов очистки), население падает в **6** раз от максимума.

Эксперимент 2. Природные ресурсы вообще не тратятся, а темпы загрязнения в **10** раз меньше. Это нереальные предположения, но... Население достигает 9.7 млрд., плотность в 2.65 раза выше, чем в 1970г. Качество жизни настолько падает, что к 2060г. численность становится практически постоянной (перенаселение).

Эксперимент 3. Если дополнительно к предыдущему пренебречь влиянием плотности на рост населения, то ограничивающим фактором становится недостаток продуктов питания.

Эксперимент 4. Увеличение капиталовложений (скорость накопления на 20% больше). Качество жизни стало падать, и была ускорена индустриализация. Возникает кризис загрязнения задолго до того, как истощились ресурсы земли. Т.о., заменили одну проблему другой.

Эксперименты 5и 5а. Сокращение рождаемости (нормальный темп рождаемости уменьшен в 1,5 раза). Возникает короткая пауза в росте численности после начала кампании контроля над рождаемостью. Однако во время этой паузы капиталовложения продолжают возрастать. В течение десятилетия, пока население остается стабильным, возрастают материальный уровень жизни и относительный уровень питания. Все это ослабляет воздействия, ранее сдерживающие рост населения. Это типичный пример, как уменьшение роли одного из факторов

вызывает возрастание роли других, и, таким образом, с лихвой компенсируется влияние этого уменьшения. Программа контроля над рождаемостью только на короткое время отсрочит угрозу перенаселения, но истощение запасов природных ресурсов (определяющий фактор) в дальнейшем уменьшит численность населения.

А если истощаемость природных ресурсов как-то исключить, программа контроля над рождаемостью может быть успешной? Одновременно уменьшили скорость использования природных ресурсов и рождаемость. Рост численности населения замедлился, пока увеличение относительного уровня питания и качество жизни не заставили его возобновиться. Загрязнение окружающей среды больше зависит от индустриализации, чем от численности населения, и кризис загрязнения не слишком уж замедлится.

Эксперимент 6. Уменьшение загрязнения (применили новые технологии). Численность населения и объем капиталовложений будут расти еще 20 лет по сравнению с прежней ситуацией... до наступления кризиса загрязнения (более тяжелого на новом уровне с большей плотностью населения). Если предельно сильно уменьшать загрязнение, то кризис будет заметно позднее из-за истощения природных ресурсов.

Эксперимент 7. Повышение продуктивности сельского хозяйства. Это вызвало моментальный рост качества жизни, увеличился темп рождаемости и ... возвращение качества жизни к прежней ситуации через 20 лет.

Траектории развития мировой системы могут иметь и более обнадеживающий вид. Однако выработка лучших стратегий потребует таких самоограничений и целеустремленности в долгосрочной перспективе, которые человек может оказаться не в состоянии проявить. Самой сложной задачей является переход от роста к равновесию. Развитые государства имеют давние традиции, которые поощряли рост. До сих пор все проблемы перенаселения решались переселением на новые земли. Всегда было, *что* и *где* взять, и все проблемы разрешались...

Что делать? Чувствительные точки в большинстве случаев находятся не там, где их можно ожидать. Если мы хотим остановить рост, нужно разорвать **естественные петли положительной обратной связи**. Были выполнены многочисленные эксперименты.

Эксперимент 8. Уменьшен рост капиталовложений. Одновременно реализованы более низкая скорость использования природных ресурсов и меньшее образование загрязнения. Все приходит к равновесию, но качество жизни ниже его максимальной величины («лучше мы уже жили!»).

Эксперимент 8а. В дополнение производство продуктов питания снижено на 20%. Относительный уровень питания снизился всего на 3% (!). Численность – на уровне стартовой. Уровень жизни в равновесии – на более высоком уровне, чем в **эксперименте 8**, но качество жизни еще ниже, чем на старте. Теперь пора заняться рождаемостью.

Эксперимент 9. Наконец, первоначальная модель изменили следующим образом:

- темп использования природных ресурсов уменьшен на 75%;
- образование загрязнения уменьшено на 50%;
- фондообразование уменьшено на 40%;

- производство продуктов питания уменьшено на 20%;
- темп рождаемости уменьшен на 30%.

Численность населения устанавливается немного ниже стартового уровня, а качество жизни увеличивается. Природные ресурсы медленно истощаются и со временем вызовут кризис, если не будет решена проблема регенерации отходов и применения заменителей.

Эти эксперименты показывают, что *глобальное равновесие в принципе возможно*. Будет ли оно достигнуто – вопрос другой. Предлагаемые решения принять нелегко. Видимо, потребуется более значительное воздействие окружающих условий на человечество, чтобы эти вопросы рассматривались с достаточным вниманием и серьезностью. Но к тому времени останется еще меньше времени для действия...