
В. С. ГОЛУБЕВ

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ИСТОРИИ

Имеющиеся попытки построения математических моделей истории носят, как правило, частный характер – в них последовательно не вводятся и не используются количественные критерии эволюции (Турчин 2007). Наоборот, предлагаемая нами модель анализирует исторический процесс на основе эргодинамических критериев развития.

О трех стадиях развития цивилизации

Социум рассматривается эргодинамикой (Бушуев, Голубев 2003; 2007) как эргопреобразователь (ЭП), совершающий за счет подводимой энергии (в широком ее смысле) работу по преобразованию природного ресурса в конечные блага цивилизации, а также по воспроизводству ресурса. Принципиально новым в эргодинамике является использование величины структурной энергии. Она отождествляется с работой образования ЭП из «простых» веществ. Структурная энергия социума в стоимостном выражении есть его национальное богатство.

Энергия – основа эволюции, движущая сила развития, ее «мотор». В рамках эргодинамики (Там же) энергия является независимой переменной, определяющей производство странового капитала – структурной энергии социума в стоимостном выражении. Для удельной мощности P процесса функционирования социума (работы в единицу времени в расчете на одного человека) можно записать:

$$P = k \dot{\mathcal{E}} = k_0 (\Phi/\Phi_0) \dot{\mathcal{E}} = k_0 \Pi \dot{\mathcal{E}}. \quad (1)$$

Здесь $\dot{\mathcal{E}}$ – удельная используемая энергия (в единицу времени в расчете на одного человека); k – коэффициент полезного действия (КПД) ЭП; k_0 – начальный КПД (при формировании ЭП); Φ_0 и Φ – начальная и текущая удельная структурная энергия ЭП (социума).

Структурная энергия является потенциалом развития. Для отдельной страны структурная энергия в стоимостном выражении есть ее национальное богатство, или страновой капитал. При этом

величина Π может быть названа потенциалом ЭП. При $\Pi = 0$ имеем $P = 0$; при $\Pi = 1 - \kappa = \kappa_0$ (идеальный ЭП); при $\Pi > 1 - \kappa > \kappa_0$ (развивающийся ЭП); при $\Pi < 1 - \kappa < \kappa_0$ (деградирующий ЭП).

Согласно эргодинамике (Бушуев, Голубев 2003; 2007) критерии социоприродного развития характеризуют изменение со временем (t) как состояния социума, так и процессов его функционирования. Прогресс социума имеет место при условии роста его странового капитала:

$$d\Phi/dt > 0, \quad (2)$$

а прогресс процесса воспроизводства социума – при росте его удельной мощности:

$$dP/dt > 0. \quad (3)$$

Функционирование социума, как и любой эргодинамической системы, сопровождается диссипацией используемой энергии вследствие того, что всегда КПД меньше единицы ($\kappa < 1$). Диссипируемая энергия D ($D = \mathcal{E} - P$) вызывает загрязнение окружающей среды и деградацию биосферных систем: чем больше D , тем существеннее негативный эффект.

Станем называть предэнергетической стадией цивилизации такую, для которой диссипация антропогенной энергии еще глобально не влияет на загрязнение. Для нее:

$$D < D_{\max 1}. \quad (4)$$

Здесь $D_{\max 1}$ – значение диссипируемой энергии, начиная с которой загрязнение окружающей среды становится глобальным, и заканчивается предэнергетическая цивилизационная стадия.

Из формул (1), (4) следует, что предэнергетическая цивилизация существовала в интервале изменения энергопотребления:

$$0 < \mathcal{E} < \mathcal{E}_{\max}, \quad \mathcal{E}_{\max} = D_{\max 1} / (1 - \kappa_0 \Phi_{\max} / \Phi_0). \quad (5)$$

Выход за данный интервал произошел, вероятно, с началом промышленной революции из-за использования ископаемого топлива. При этом начался рост содержания углекислого газа в атмосфере, что и служит индикатором глобального загрязнения среды.

Аналогично запишем условие существования энергетической цивилизации:

$$D < D_{\max 2}. \quad (6)$$

Здесь $D_{\max 2}$ ($D_{\max 2} > D_{\max 1}$) – значение диссипируемой энергии, при которой достигается так называемый антропогенный предел Земли, то есть предельное значение антропогенной нагрузки на биосферу, выше которой она перестает существовать (в современном ее виде). Индикатором для нее может служить критиче-

ская концентрация углекислого газа в атмосфере, при превышении которой продуктивность биоты начинает уменьшаться (Бушуев, Голубев 2007).

Интервал энергопотребления, в котором реализуется энергетическая цивилизация, следующий:

$$\mathcal{E}_{\max 1} < \mathcal{E} < \mathcal{E}_{\max 2}, \quad \mathcal{E}_{\max 2} = D_{\max 2} / (1 + k_0 \Phi_{\max 2} / \Phi_0). \quad (7)$$

При достижении максимального энергопотребления или приближении к нему наступает социогуманитарная цивилизационная стадия. Рост энергетики практически прекращается. Материальное производство (физический капитал) растет за счет совершенствования технологий, роста Φ – развития самого человека, увеличения производства человеческого и социального капитала.

Условие прогресса для социогуманитарной стадии заключается в росте структурной энергии социумов (странового капитала):

$$d\Phi/dt > 0, \quad \Phi > \Phi_{\max 2}, \quad \mathcal{E} < \mathcal{E}_{\max 2}. \quad (8)$$

Настоящее время является переходным от энергетической к социогуманитарной стадии. Об этом свидетельствуют, с одной стороны, все усиливающееся глобальное загрязнение окружающей среды; а с другой – возрастающее влияние на развитие человеческого капитала и переход мира в целом на интенсивное развитие (при котором уменьшаются энергозатраты на единицу общественного продукта) (Там же).

Эволюционное развитие человечества периодически прерывалось кризисами. Выход из них происходил путем перехода на новые хозяйственные уклады: от собирательства к охоте, затем к скотоводству и земледелию и, наконец, к промышленному развитию. Проанализируем с позиций эргодинамики (Они же 2003; 2007) причины смены хозяйственных укладов.

Дифференцируя (1) по t , найдем:

$$dP/dt = (k_0 \mathcal{E} / \Phi_0) d\Phi/dt + (k_0 \Phi / \Phi_0) d\mathcal{E}/dt. \quad (9)$$

На начальных этапах развития, вплоть до перехода к производящему хозяйству, используемая энергия \mathcal{E} определялась в основном физиологическими потребностями человека (необходимостью выжить) – количеством доступной пищи. Ограниченность пищевых ресурсов приводила при росте численности людей к биоэнергетическим кризисам. При этом пищевые ресурсы истощались и количество доступной пищи уменьшалось, что в терминах энергии означает:

$$d\mathcal{E}/dt < 0. \quad (10)$$

Чтобы при этом сообщество сохранилось и не деградировало, необходимо в соответствии с формулой (10) выполнение условия:

$$(1/\Phi) d\Phi/dt > (1/\mathcal{E}) |d\mathcal{E}/dt|, \quad (11)$$

причем производная от \mathcal{E} берется по абсолютному значению.

Условие (11) показывает рост структурной энергии сообщества, компенсирующий убыль энергопотребления. При биоэнергетических кризисах сообщество совершенствовалось изнутри: происходил рост качества человека и социальной организации – увеличивалось производство человеческого и социального капитала. В этом состоит конструктивная роль биоэнергетических кризисов в предэнергетической цивилизационной стадии.

В энергетической стадии абсолютного дефицита энергоресурсов не было. Тем не менее имели место периоды относительного их дефицита или наоборот – изобилия. При этом менялся вклад в развитие энергетической и социогуманитарной составляющих развития (первое и второе слагаемые в формуле (9) соответственно).

При этом происходило чередование фаз преимущественно материального развития с социогуманитарными фазами – быстрого роста экономики при относительной стагнации культуры и наоборот (Бушуев, Голубев 2007). Так, XIX в. в Европе и России был веком культурного расцвета, а XX в. – энергетического изобилия (в связи с использованием новых энергоресурсов). В XXI в., по видимому, начнет ощущаться дефицит природных ресурсов, как возобновимых (из-за антропогенного загрязнения биосферы), так и невозобновимых (из-за истощения месторождений полезных ископаемых). Будет происходить переход к социогуманитарной стадии развития.

Проанализируем причины возникновения кризисов развития в энергетической стадии. Как уже указывалось, величина Φ в стоимостном выражении есть национальное богатство, или национальный (страновой) капитал. Удельная мощность P процесса функционирования социума есть не что иное, как производство удельного национального капитала ПНК. Эта величина складывается из производства физического (ПФК), человеческого (ПЧК), социального (ПСК) и природного (ППК) капитала (Там же), или:

$$P = \text{ПФК} + \text{ПЧК} + \text{ПСК} + \text{ППК}. \quad (12)$$

При этом величина ПФК принимается нами (Бушуев, Голубев 2003; 2007) равной валовому внутреннему продукту (ВВП).

Для упрощения выкладок ограничимся случаем, когда основное влияние на развитие оказывают физический и человеческий капиталы. Тогда, дифференцируя формулу (12) по времени, будем иметь:

$$dP/dt = d(\text{ВВП})/dt + d(\text{ПЧК})/dt.$$

Ограничимся линейным приближением, при котором:

$$\text{ВВП} = a \text{ Э},$$

где a – энергоемкость ВВП.

Согласно закону техно-гуманитарного баланса (Назаретян 2001) между материальной и гуманитарной компонентами развития существует прямая зависимость: чем мощнее технологии (и следовательно, больше Э), тем «мудрее» должно быть общество для сохранения внутренней устойчивости социумов, устранения антропогенных кризисов и катастроф¹. В качестве количественной характеристики такой «мудрости» принимается величина производства человеческого капитала (ПЧК). Поэтому закон техно-гуманитарного баланса записывается в виде (Бушуев, Голубев 2007):

$$S = \text{ПЧК}/\text{Э}, \quad (13)$$

где S – индекс внутренней устойчивости, величина постоянная.

Вместе с тем необходимо учесть следующее обстоятельство. Человеческий капитал – величина достаточно инерционная. В силу кинетических факторов – конечной скорости роста ПЧК – этот рост не поспевает за ростом Э (особенно при быстром росте Э). В результате функциональная зависимость (Там же) перестает выполняться.

С учетом данного обстоятельства следует говорить о законе запаздывания техно-гуманитарного баланса. Запишем его на основе концепции «запаздывания равновесия» (имеется в виду равновесие между ПЧК и Э по формуле (13)) в виде:

$$S = \text{ПЧК}(t) / \text{Э}(t - T), \quad (14)$$

где T – время «запаздывания равновесия». При этом ПЧК рассматривается в момент t , а Э – в момент $(t - T)$ (не имеется в виду операция умножения). В частном случае $T = 0$ уравнения (13) и (14) совпадают.

¹ Аналогичный по смыслу закон был сформулирован ранее (Голубев 1990) как кинетический эволюционный закон соответствия структуры социума уровню энергопотребления.

Разлагая \mathcal{E} в ряд по степеням T и ограничиваясь (при $T \ll t$) первыми двумя членами ряда, найдем:

$$\text{ПЧК} = S \mathcal{E} - ST (d\mathcal{E}/dt). \quad (15)$$

Дифференцируя формулы (12) и (15) по t и подставляя в формулу (11), найдем:

$$dP/dt = (a + S) (dS/dt) - S T (d^2 \mathcal{E}/dt^2). \quad (16)$$

Рассмотрим разные типы динамики \mathcal{E} .

1) Экспоненциальная динамика. В данном случае имеем:

$$\mathcal{E} = b \exp(ct) \quad (17)$$

(b и c – постоянные величины).

На основе формулы (16) имеем с учетом формулы (17):

$$dP/dt = (a + S) b c \exp(ct) - S T b c^2 \exp(ct). \quad (18)$$

Из формулы (18) видно, что прогресс при учете времени запаздывания ($T > 0$) замедляется на величину второго слагаемого. Причем чем быстрее рост энергетики (больше c), тем значительнее эффект замедления. А при определенном соотношении параметров модели прогресс вообще прекращается.

Действительно, на основе формул (16) и (17) найдем:

$$dP/dt > 0 \text{ при } T < T_0, \quad (19)$$

$$dP/dt < 0 \text{ при } T > T_0, \quad (20)$$

причем характерное время процесса T_0 равно:

$$T_0 = (a + S) / c S. \quad (21)$$

Таким образом, если время запаздывания больше T_0 , то имеет место регресс. При этом чем быстрее растет энергопотребление (больше c), тем при меньшем значении «времени запаздывания» развитие прекращается – наступает кризис. Быстрый рост энергетики неблагоприятен для гуманитарной компоненты развития: рост ПЧК отстает от роста ВВП (\mathcal{E}).

Полагаем, что указанным механизмом можно объяснить как имевшие место в прошлом кризисы, так и настоящий финансово-экономический кризис. Опять отставание гуманитарной компоненты развития превысило критический уровень, характеризуемый уравнением (21). Недаром многие ученые и политики характеризуют причины кризиса эгоизмом собственников капитала и безмерной властью денег в современном обществе, то есть фактически отставанием гуманитарной компоненты развития от материальной.

2) Линейная динамика. При ней имеем:

$$\mathcal{E} = k t. \quad (22)$$

В соответствии с формулами (16), (22) констатируем, что в данном случае феномен «времени запаздывания» не проявляется: величина

dP/dt одна и та же – как при $T = 0$, так и при $T > 0$ (поскольку в формуле (16) $d^2\mathcal{E}/dt^2 = 0$). Имеет место линейная динамика как в отношении ВВП, так и ПЧК и P (странового капитала).

3) Асимптотическая динамика. Ее аппроксимируем зависимостью:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \{1 - \exp(-r t)\}, \quad (23)$$

(\mathcal{E}_0 и r – постоянные величины).

На основе формул (16) и (23) заключаем, что в данном случае феномен «времени запаздывания» оказывает позитивное влияние на развитие. Действительно, поскольку

$$dP/dt = (a + S) \mathcal{E}_0 r \exp(-rt) + S \mathcal{E}_0 r^2 T \exp(-rt), \quad (24)$$

то темпы прогресса выше при наличии запаздывания, чем при его отсутствии. При этом рост ПЧК опережает рост ПФК (ВВП). При «медленном» росте \mathcal{E} неблагоприятные кинетические факторы развития не проявлены. Динамика ВВП, ПЧК и P имеют асимптотический характер.

Общей, синтетической, является логистическая динамика энергопотребления. Она является синтезом экспоненциальной, линейной и асимптотической динамики. По-видимому, по логистической динамике будет происходить развитие энергетики в будущем. Это станет способствовать гуманитарному прогрессу и переходу цивилизации на социогуманитарную траекторию развития.

В заключение отметим, что на основе аппарата эргодинамики имеются все предпосылки ввести в историческую науку количественный аппарат. Это целесообразно сделать в рамках направления «социоестественная история».

Литература

- Бушуев, В. В., Голубев, В. С.** 2003. *Основы эргодинамики*. М.: Энергия.
 2007. *Социоприродное развитие*. М.: Энергия.
- Голубев, В. С.** 1990. *Модель эволюции геосфер*. М.: Наука.
- Назаретян, А. П.** 2001. *Цивилизационные кризисы в контексте Универсальной истории*. М.: ПЭР СЭ.
- Турчин, П. В.** 2007. *Историческая динамика*. М.: URSS.