УДК 330.3
ключевые слова: экономическая теория, синергетический подход, дивергентная и конвергентная эволюция, теория потока, теория размещения производительных сил

В.В.Литовский

ТЕОРИЯ ПОТОКА И НЕКОТОРЫЕ ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ К ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ И ПРОБЛЕМАМ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИЛ

На основе теории потока предложена математическая модель описания эволюции экономических систем, использующих природные ресурсы. Для этого применительно к ним использован подход и аппарат геометрии потока П.К.Соболевского и П.А. Королькова. Теоретически показаны возможности и достоинства топологического описания и анализа дивергентных потоков для формирования пространственного каркаса размещения производительных сил и описания транспортных потоков. Подведена математическая основа под закономерности теории сравнительных преимуществ. Установлена квадратичная зависимость сравнительных преимуществ от трудозатрат, что является естественным ограничителем инновационного процесса. Сформулированы количественные соотношения для выявления синергетических эффектов для эволюционирующих и взаимодействующих экономических систем. Показаны также перспективы применения теории потока и геопотенциального подхода к определению мест расположения «полюсов экономического роста».

В настоящее время в широком круге естественно-научных и экономических проблем все более актуальным становится использование теории геометрии потока или процесса, которая исходно стала формироваться, благодаря трудам Л. Эйлера в 1750-е гг. [11,12], а позже в его формулировках получила развитие в 1920-1930-е гг. в трудах П.К. Соболевского [9] и П.А. Королькова (1940-1970-е гг.) [7]. В частности, в теории геометрии потока исследуется пространственно-временная динамика потока не только с позиции анализа эволюции поля скоростей, определяющего данный поток, но и с позиций эволюционирования элементарного объема или размера исходного объекта. Это позволяет записывать уравнение непрерывности (при сохранении массы вещества) не через дивергенцию скорости потока, а через изменение удельного объема эволюционирующего вещества. То есть классическое уравнение непрерывности, записываемое через изменение плотности ρ и дивергенции скорости $div(\vec{u})$ можно записывать через изменение объема V расширяющегося или сужающегося вещества постоянной массы M в потоке, а именно [1, с.38; 3, с. 84]:

$$div(\vec{j}) + \frac{\partial \rho(x, y, z, t)}{\partial t} = 0,$$

где $\vec{j} = \rho \cdot \vec{u}$ – плотность потока вещества. Иначе это можно представить в виде:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \cdot div(\vec{u}) = 0 \longrightarrow \frac{dV}{Vdt} + div(\vec{u}) = 0 \quad \text{или} \quad div(\vec{u}) = -\frac{dV}{Vdt} \ .$$

Отсюда следует, что дивергенция скорости потока сопряжена с уменьшением (убылью) относительного объема вещества.

В целом, это, вероятно, применимо и к дивергенциям скорости (или временных изменений) потоков ряда других полевых (векторных) физических характеристик, для которых справедливы соответствующие законы сохранения.

Так, в теории волн, где уравнение непрерывности $div(\vec{j}) + \frac{\partial w(x,y,z,t)}{\partial t} = 0$, $\vec{j} = \vec{j}(x,y,z,t)$ – вектор плотности потока энергии[1] в точке с координатами x, y, z в момент времени t выражает собой закон сохранения энергии в элементарном объеме $dxdydz$, в котором распространяются волны любой природы.

В квантовой механике уравнение непрерывности с учетом неопределенности координат и импульсов частиц в микромире записывается в терминах теории вероятности: $div(\vec{j}) + \frac{\partial P(x,y,z,t)}{\partial t} = 0$ и учитывает условие сохранения вероятности нахождения частицы в некотором квантовом объеме V. В нем $\partial P(x,y,z,t)$ — плотность вероятности нахождения частицы в окрестности точки пространства с координатами x, y, z; а $\vec{j}$ – ток вероятности или изменение вероятности нахождения частицы в окрестности точки пространства с координатами x, y, z при изменении последних на dx, dy и dz, соответственно.

Из этого можно сделать вывод, что поток может быть описан либо с помощью понятия дивергенции соответствующих характеристик векторных полей, либо с помощью представлений о расширении или дилатации относительного размера линейного, плоскостного или объемного объекта, наконец, он может быть описан в терминах вероятности изменения относительного размера с течением времени. Это позволяет связывать мгновенные вероятности развития процесса не только во времени, но и в пространстве.

Действительно, при наличии случайных процессов, определяемых независимыми событиями в пространственно-временном континууме с вероятностью $P(x,y,z,t) = P(x) \cdot P(y) \cdot P(z) \cdot P(t) = P$ и при условии непрерывности плотностей вероятности они могут описываться подобными же уравнениями.

В частности, для приведенного случая справедливо соотношение:

$$\frac{dP}{P} = \frac{\partial P(x)}{P(x)\partial x}dx + \frac{\partial P(y)}{P(y)\partial y}dy + \frac{\partial P(z)}{P(z)\partial z}dz + \frac{\partial P(t)}{P(t)\partial t}dt$$

откуда

---

[1] $w = w(x,y,z,t)$ - плотность энергии или энергия E, заключенная в объеме V: $E = \iiint w(x,y,z,t)dxdydz$.

$$\frac{dP}{Pdt} = \frac{\partial P(x)}{P(x)\partial x}\frac{dx}{dt} + \frac{\partial P(y)}{P(y)\partial y}\frac{dy}{dt} + \frac{\partial P(z)}{P(z)\partial z}\frac{dz}{dt} + \frac{\partial P(t)}{P(t)\partial t},$$

где $\frac{dx}{dt} = u(x), \frac{dy}{dt} = u(y), \frac{dz}{dt} = u(z)$ – скорости развития вероятностного процесса по соответствующим направлениям пространства.

Далее эту формулу можно свести к искомому виду:

$$-\frac{d\ln P}{dt} = \frac{\partial \ln P(x)}{\partial x}\cdot u(x) + \frac{\partial \ln P(y)}{\partial y}\cdot u(y) + \frac{\partial \ln P(z)}{\partial z}\cdot u(z) + \frac{\partial \ln P(t)}{\partial t}\cdot u(t),$$ или к формуле:

$$div(\vec{u}) = -\frac{dS}{Sdt}.$$

Здесь $S = \ln P$ – логарифмическая вероятность процесса, а $div(\vec{u}) = du(x)/dx + du(y)/dy + du(z)/dz$ – дивергенция поля скоростей, определяющих пространственную динамику развития вероятностного процесса.

Можно отметить, что S, вероятно, можно соотнести с относительным эффективным или наименьшим действием, которое на каждом интервале времени вероятностного процесса минимизирует либо разницу между кинетической и потенциальной энергией (по Лангранжу); либо время (по Ферма и Гамильтону). А это в свою очередь оптимизирует динамику потока, определяет его наиболее выгодную траекторию из возможного набора варьируемых траекторий.

К сожалению, на практике решение выше приведенных уравнений сложно и не всегда аналитически возможно. Более пригодным и наглядным оказывается геометрический подход и аппарат геометрии потока, предложенный для описания эволюции рудных тел П.А. Корольковым [6, с.21-23]. В нем, в отличие от операций с производными в классической механике Ньютона, вместо приращений радиус-векторов движения материальных точек или стационарных бесконечно малых объектов, для процессов в реальной геосреде используются эволюционирующие элементарные объекты, испытывающие одномерную, двухмерную (плоскостную) и трехмерную (объемную) дилатацию (расширение или сжатие размера) объекта. В одномерном случае дилатация приводит к растягиванию «точки» в «струну», что в физическом аспекте более правильно связывать с операцией линейного расширения объекта вдоль заданной оси (например, вдоль оси x:

$$dil(l) = \frac{dx}{xdt},$$

операция дилатации для двумерного (плоскостного расширения) определяется формулой:

$$dil(s) = \frac{ds(x,y)}{sdt},$$

для трехмерного (объемного расширения) – формулой:

$$dil(V) = \frac{dV(x, y, z)}{Vdt}.$$

В целом, с учетом того, что скорость относительного изменения элементарного объема может быть представлена формулой [3, с.84]:

$$\frac{dV(x, y, z)}{x \cdot y \cdot z \cdot dt} = \frac{dx}{xdt} + \frac{dy}{ydt} + \frac{dz}{zdt},$$

становится ясным, что объемная дилатация может быть представлена суммой положительных или отрицательных линейных расширений (дилатаций), а последние могут считаться редуцированными или отсутствующими по другим направления процессами, вызывающими соответственно направленные потоки. Соответственно сложный процесс может быть представлен несколькими простыми процессами, допускающими удобный геометрический анализ.

Можно отметить, что дилатации и дивергенции имеют размерность обратную времени (1/с) в отличие от вероятностного формализма, где вероятности являются безразмерными величинами. Более того, в отличие от вероятностей дилатации и дивергенции могут быть отрицательными (процесс сжатия), что существенно расширяет возможности геометрического подхода с их использованием при интерпретации тех или иных процессов. Их различие между собой состоит в том, что математически дилатации определяются изменениями потенциальных или скалярных величин, характеризующих поток, например, площадями сечения потока и выражаются через их относительные изменения во времени. Дивергенции же вычисляются через численные значения изменения векторных величин, например, поля скоростей потока, проходящего через данные сечения и определяющего тот же поток векторно, а не изопотенциально (в виде линий равных числовых значений или «потенциалов»), то есть являющегося вторичным или производным по отношению к первым. Наглядно это показано на рис.1-2.

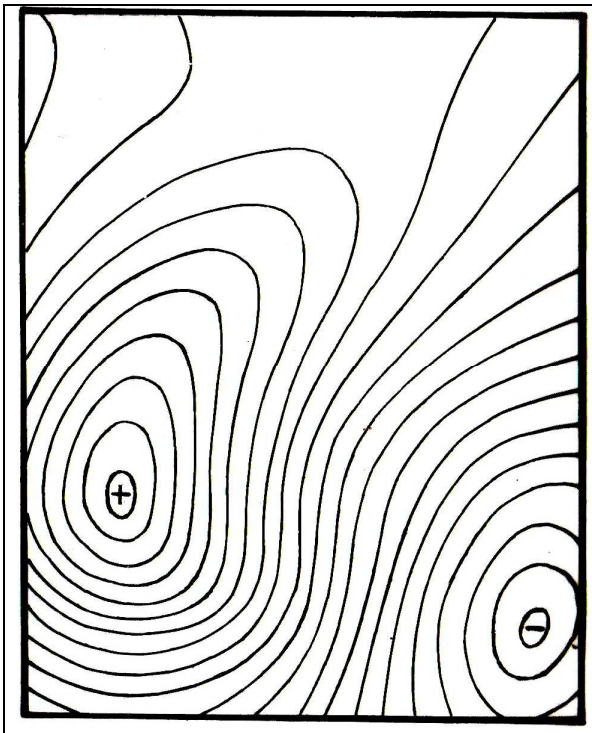


Рис.1. Топоповерхность в изолиниях (знаком «+» здесь обозначен источник некоторого потока, а знаком «–» его сток).

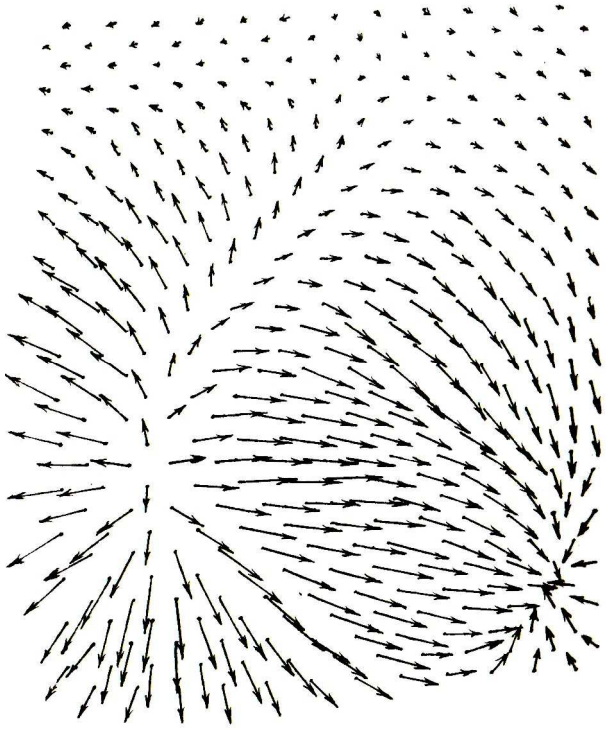


Рис.2. Топоповерхность в векторном изображении

Покажем возможности формализма геометрии потока для решения практических задач, например, при решении задачи, возникающей при обнаружении перспективного рудного тела. В экономическом аспекте важным оказывается правильное прогнозирование эксплуатационных возможностей и ограничений месторождения (времени эффективного использования, оптимальных объемов добычи, динамики пространственного и временного освоения, предела роста, установления момента, когда производство целесообразно прекратить). При решении транспортных задач возникают сходные проблемы, например, проблемы правильного предсказания количества отгружаемой продукции для транспортировки с рудника на том или ином временном лаге эксплуатации месторождения.

Поэтому покажем сначала - как можно определять с помощью введенных характеристик и представлений геометрии потока сроки разработки месторождения. Например, при условии выработки месторождения наполовину при наличии сферического рудного тела и радиальном способе его разработки с фиксированной техническими возможностями дилатация оказывается величиной постоянной. Обозначим ее λ. С учетом заданных граничных условий: $V(t=T)/V(0)=1/2$ имеем:

$$dil(V)=\frac{dV}{Vdt}=\lambda=const$$

Отсюда получаем: $dV/V=\lambda\cdot dt$ или $d(\ln V)=\lambda\cdot dt\rightarrow V(t)=V(0)\cdot\exp(\lambda\cdot t)$ или $\lambda\cdot t=\ln(V(t)/V(0))$. С учетом заданного граничного условия:

$$\lambda = -\frac{\ln 2}{T} = dil(V)\,.$$

Отрицательное значение дилатации здесь означает сокращение рудного тела и не создает в отличие от вероятностного подхода сложностей в интерпретации явления. Таким образом, если ресурс предполагается выработать наполовину за 1 год, то дилатация или темп сокращения (прироста) относительного размера разработанного рудного тела в момент времени t должен достигать 0,693 $с^{-1}$. Очевидно, что при удвоении объемов производства в 2 раза за 6,93 года темп разработки рудного тела должен равняться 0,1 $с^{-1}$. Видно, что дилатация связана со временем полуисчерпания ресурса обратно пропорциональной зависимостью. Можно показать также, что время полного исчерпания ресурса τ связано с дилатацией и временем полуисчерпания еще более простыми соотношениями:

$$\tau = \frac{1}{dil(V)} \quad \text{и} \quad \tau = \frac{T}{\ln 2} = 1{,}443 \cdot T\,.$$

В обобщенном случае это наглядно демонстрируют рис.3-5.

$$dil(V) = \frac{\Delta V}{V \Delta t}$$

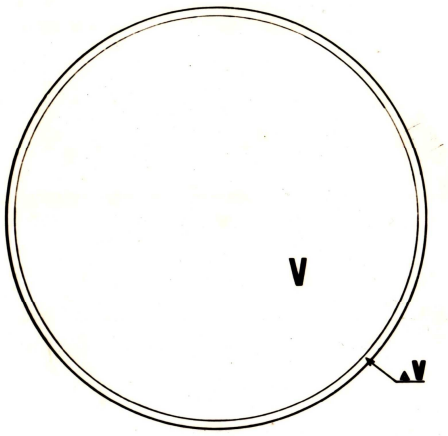


Рис.3. Дивергенция по Королькову или дилатация (быстрота изменения) объема шара V

$$T = \frac{1}{dil(V)} = \frac{V}{\Delta V} \cdot \Delta t = 10$$

при $\Delta t = 1$ и $\Delta V = 0{,}1$

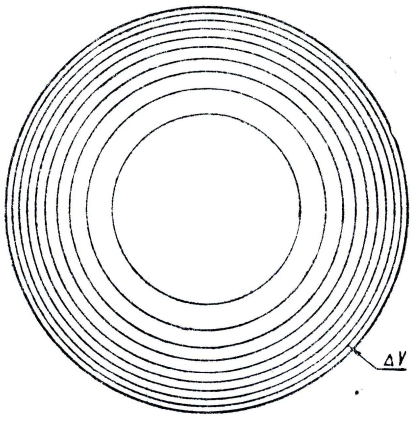


Рис. 4. Средняя продолжительность существования шара, изменяющего свой объем

$t = 0{,}693 \cdot T$; при $T = 10$

t условно выделено на рисунке пунктирной линией.

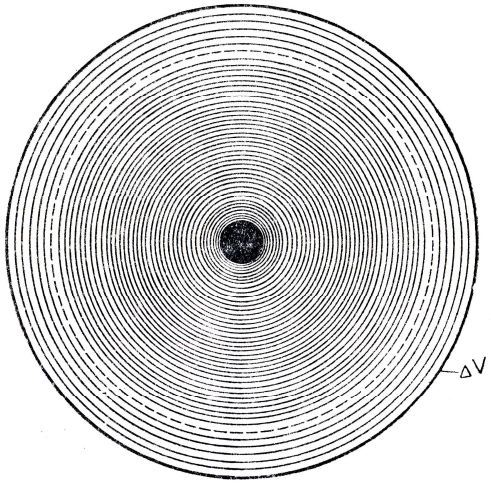


Рис.5. Вероятная продолжительность существования (период полураспада) шара, изменяющего (±) свой объем V .

Для картографического представления зон с положительными и отрицательными значениями дилатаций, а также для удобной графической интерпретации явлений, происходящих в потоке, в работе [6] был развит удобный для практических целей аппарат метода изолиний (рис.4) с наглядным геометрическим отражением всех возможных процессов в потоке и простой физической интерпретацией математических операций, определяемых комплексными величинами. Так, в соответствии с формализмом геометрии потока сложное движение вещества представляется активно (потенциально) действующими стоками и источниками и пассивными (инерциальными) вихрями левыми и правыми. В более привычной формулировке любой поток можно описать двумя его формами – потоком движущимся поступательно от источника к стоку, и потоком вращательным (вихревым), состоящим из вихрей правых и левых.

Отметим, что при взаимной компенсации вихревых потоков их наличие остается незаметным. В некотором смысле – это мнимые потоки, которые, однако, легко становятся действительными, когда возникает некоторое возмущение, нарушающее их взаимную компенсацию. Поэтому дивергенцию стоков и источников в рассматриваемом формализме выражают действительными числами: положительными (например, для накопителей вещества - стоков) и отрицательными (для доноров вещества или источников), а дивергенцию левых и правых вихрей вещества выражают мнимыми числами. Физически переход потока из фазы поступательного движения во вращательное означает появление у характеристик векторного поля, описывающих поток, перпендикулярной составляющей. Очевидно, что повторное применение операции поворота данной составляющей на 90º приведет к порождению дополнительного поступательного потока, противодействующего исходному. Следующий поворот дополнительной составляющей векторного потока на 90º, очевидно, снова приведет к появлению перпендикулярной составляющей и возникновению вихревого потока с вращением противоположным направлению предшествующего вихря. Наконец, четвертое действие приводит к усилению дополнительного потока в первоначальном направлении за счет возникновения дополнительной составляющей в том же направлении. Не трудно убедиться, что математически эта операция может быть

описана с помощью последовательного умножения полевых характеристик на мнимое число i. В геометрическом смысле такое действие соотносится с действием поворота вектора на 90º вокруг его начала, как это предлагалось еще середине XIX века У.Р. Гамильтоном в теории кватернионов или гиперкомплексных чисел [2,4] (см. рис.6).

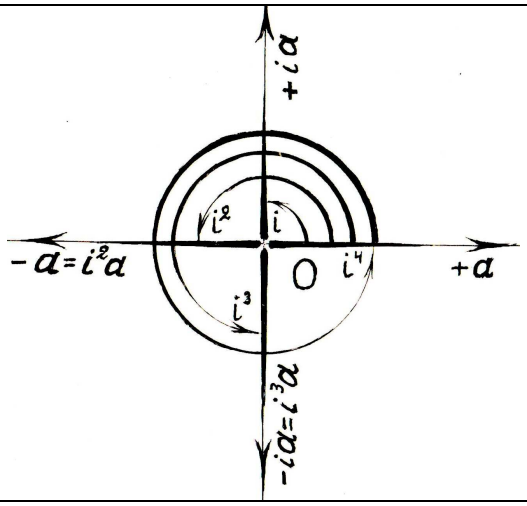


Рис. 6. Координатные оси действительных (по горизонтали) и мнимых чисел (по вертикали)

Очевидно, что это позволяет удобно описывать процессы в потоке с помощью введения действительных и мнимых топографических поверхностей, которые наглядно характеризуют поведение источников и стоков, а также различных обтеканий изоповерхностей (см. рис. 7-8). Так, если интересующий нас поток характеризуется полем векторов $\vec{a}$, то на действительной топоповерхности дивергенции источника, обозначенной на рисунке 7 числом A, можно сопоставить мнимую дивергенцию или вихрь на топоповерхности мнимой, то же можно сделать для стока. Тот же процесс на действительных или комплексных топоповерхностях может быть представлен и с помощью изолиний (рис.8).

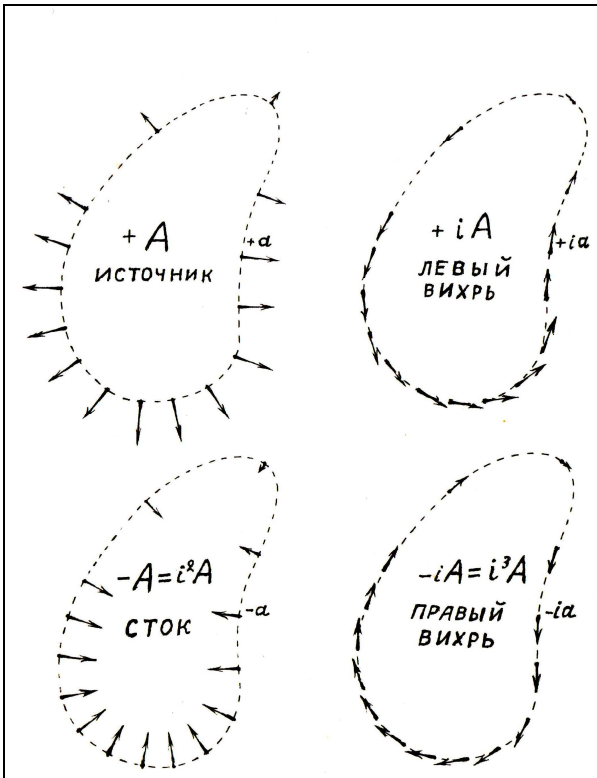


Рис.7. Изображение сечения потока векторами

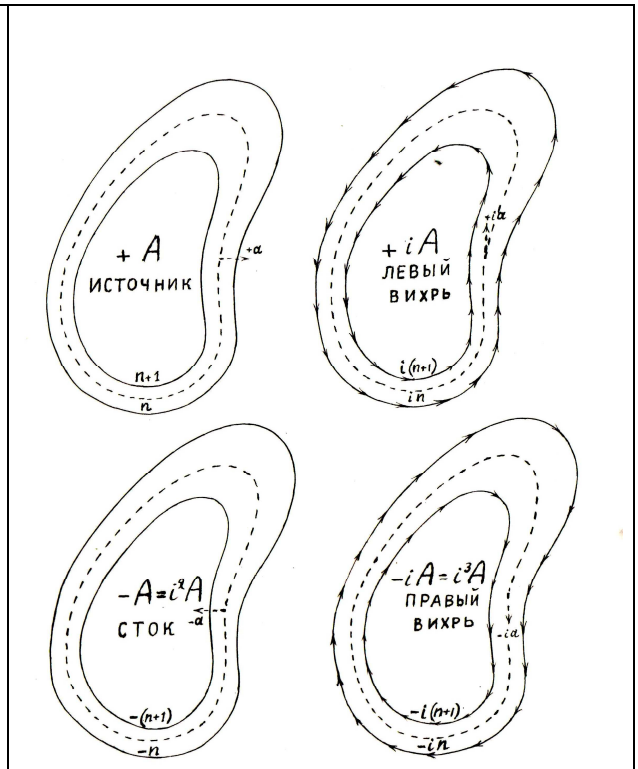


Рис.8. Изображение сечения потока изолиниями

В этом случае по аналогии с классическими представлениями теории поля вектор $\vec{a}$ находится как градиент действительной или мнимой топоповерхности, направленный по нормали к контуру в первом случае или продольно ему во втором, что показано на этом же рисунке. Стрелки на изолиниях мнимой топоповерхности указывают направления вихря, а их величина характеризует интенсивность развития вихревого процесса. Другими словами, в соответствии с П.А. Корольковым: «если на топоповерхности действительной линии тока перпендикулярны изолиниям потенциала действительного, образуя стоки и источники, то на топоповерхности мнимой они параллельны изолиниям потенциала мнимого, образуя вихри левые и правые. Топоповерхность действительную в соответствии с установившейся терминологией в физике лучше именовать потенциальной, а топоповерхность мнимую – вихревой, избегая, таким образом, слово «мнимый» [6, с. 50-51]. В общем случае, из-за того, что поток представляет единство потоков потенциального и вихревого топоповерхность представляет собою поверхность комплексную, аналитически отображаемую функционалом комплексного переменного, а графически наложением соответствующих двух полевых картин. Однако, при графическом представлении комплексной топоповерхности в векторном виде, а именно с помощью наложения действительных (потенциальных) и мнимых (вихревых полей), наглядность оказывается утраченной. Представление же с наложением картин, представленных в виде изолиний оказывается более наглядным и простым в изображении (рис. 9-10).

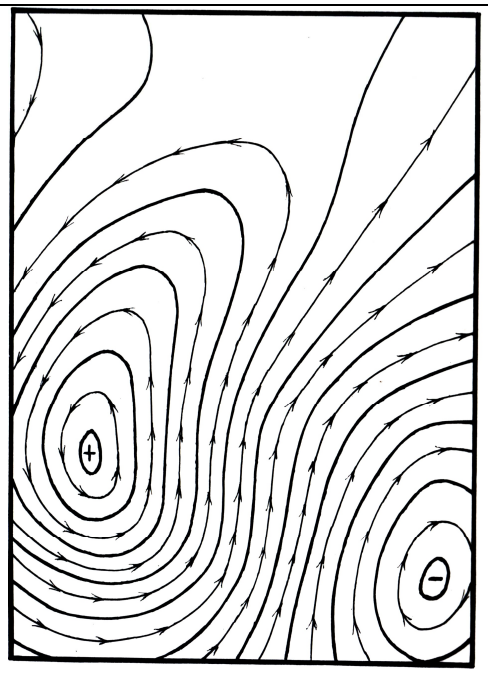


Рис.9. Изображение устойчивой комплексной топоповерхности в виде чередующихся (в реальности геометрически накладывающихся и совпадающих) изолиний потенциального (линии без стрелок) и вихревого поля (линии со стрелками)

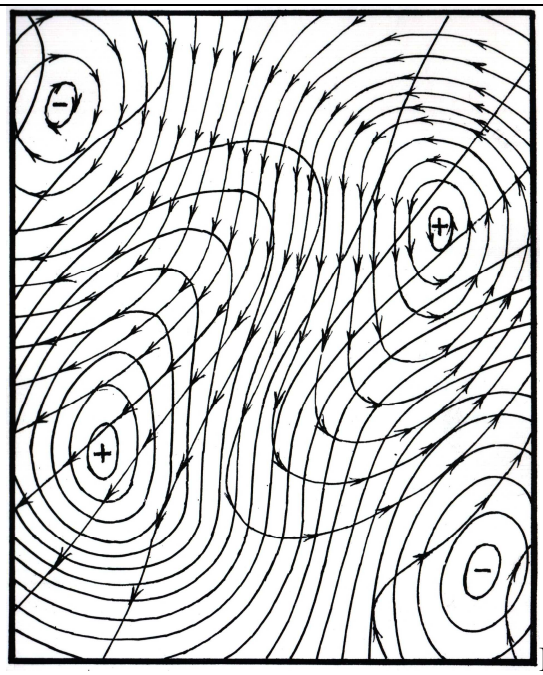


Рис. 10. Изображение неустойчивой комплексной топоповерхности в виде несовпадающих изолиний потенциального (линии без стрелок) и вихревого поля (линии со стрелками)

Особый интерес в практическом плане представляют комплексные топоповерхности» с совпадающими действительными и мнимыми изолиниями, так как они, по всей видимости, свидетельствуют об эндогенности развития процесса (потока), то есть о таком его развитии, которое возможно, например, за счет трансформации энергии внутреннего источника открытой системы из одной формы в другую. Соответственно такие топоповерхности называют устойчивыми (рис.9). Как следует из выше изложенного, особенностью устойчивой топоповерхности является равенство и взаимная ортогональность векторов, выражающих значения градиентов потенциального и вихревого поля. В случае невыполнения последнего условия комплексная топоповерхность считается неустойчивой, а процесс в локальной открытой системе, вероятно, должен быть обусловлен главным образом внешними или экзогенными факторами. Соответственно, изучение топологии изолиний на комплексной топоповерхности позволяет судить о степени устойчивости процесса в тех или иных точках пространства, уяснять определяющие параметры и даже сглаживать динамику развития процесса, например, с помощью адекватных хозяйственных мер, уменьшающих действие источников и перераспределяющих рационально вещество в стоки на основе вычисления сравнения соответствующих дилатаций в различных точках пространства.

Применительно к экономическим системам возможность применения данного формализма была частично выяснена в работе [5]. В ней на основе понятий обмена потоками с различными дивергенциями в производственных системах были рассмотрены следующие сценарии эволюции экономической

системы: мощности потоков $W_x = dX/dt$ на входе и $W_y = dY/dt$ на выходе в производственной системе равны нулю или больше нуля, а дилатации (или дивергенции: $div(W_x) = (1/W_x) \cdot dW_x/dt$ и $div(W_y) = (1/W_y) \cdot dW_y/dt$ в терминах статьи) имеют положительные, отрицательные или нулевые значения. В зависимости от различных сочетаний этих величин были определены типы эволюции экономической системы, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Типы экономической системы [5]

Входящий поток	Поток выхода			
$W_x = 0$	$W_y = 0$	$div(W_y) = 0$	$div(W_y) < 0$	$div(W_y) > 0$
	Замкнутая система	Производство за счет внутренних ресурсов. Темп производства постоянный.	Производство за счет внутренних ресурсов. Темп производства снижается	Производство за счет внутренних ресурсов. Темп производства нарастает.
$div(W_x) = 0$	Поглощение ресурсов. Темп поглощения постоянный	Стационарная модель	Деградирующий тип экономической системы	Развивающаяся система
$div(W_x) < 0$	Поглощение ресурсов. Темп поглощения убывает	Развивающаяся система	$-div(W_x) = -div(W_y)$ Экономический спад $-div(W_x) > -div(W_y)$ Развивающаяся система при спаде объемов производства $-div(W_x) < -div(W_y)$ Система деградирует в условиях спада	Развивающаяся система
$div(W_x) > 0$	Поглощение ресурсов. Темп поглощения нарастает.	Деградирующая система	Деградирующая система	$div(W_x) = div(W_y)$ Простой экономический рост $div(W_x) > div(W_y)$ Экономический рост при одновременной деградации системы $div(W_x) < div(W_y)$

				Экономический рост при одновременном развитии системы

Из таблицы следует, что развитие экономики возможно и при общем спаде производства, в то же время четко обозначены параметры для возможности деградации системы в условиях экономического роста.

На основе выше приведенного формализма теории потока возможно формулирование и законов в терминах теории сравнительных преимуществ, что было показано мною в работе [8]. В частности, при условии простого экономического роста, как следует из таблицы дивергенция производственного процесса на входе и на выходе из производственной системы должны быть равными:

$$div(W_x) = div(W_y)$$

или

$$div(W_x) = \frac{dW_x}{W_x dt} = div(W_y) = \frac{dW_y}{W_y dt},$$

что приводит к равенству вероятностей реагирования на факторы, определяющие производственный процесс на входе и выходе из производственного цикла:

$$P_x = \frac{dW_x}{W_x} = \frac{dW_y}{W_y} = P_y \ .$$

Далее в рамках такого подхода действие нескольких факторов, A_i, проявляющихся независимо друг от друга в течение произвольного времени действия t может быть определено вероятностью $P_э(A_1, A_2, ...A_N, t, T)$ и совокупным коэффициентом чувствительности K, связанным с ней следующим соотношением:

$$P_э(A_1, A_2, ...A_N, t, T) = P(A_1) \cdot P(A_2) \cdot ... \cdot P(A_N) \cdot \frac{t}{T},$$

$$K = \frac{1}{P_э(A_1, A_2, ...A_N, t, T)}.$$

Здесь t/T - относительный возраст или степень зрелости экономического субъекта по отношению к наиболее долго существовавшим субъектам в данном классе.

Из этих соотношений можно вывести следующие общие правила для реагирования экономических субъектов, принимающих информацию:

1. С увеличением времени жизни экономического субъекта коэффициент его восприятия информации убывает.

2. Чем меньше вероятность действия того или иного экономического фактора, тем более значимо его действие.

3. При бесконечно малой вероятности действия экономического фактора на экономический субъект коэффициент восприятия и информационная нагрузка бесконечно возрастают — возникает информационный сбой (катастрофа).

5. При совместном действии на экономический субъект нескольких факторов с малыми вероятностями действия возможно резкое переполнение информацией — синергический эффект, результат которого оказывается больше суммарного результата действия нескольких факторов, получаемых обычным их сложением. Чем меньше вероятность их действия, тем вероятнее этот эффект.

6. При включении в действие нового или сверхредкого экономического фактора возможен синергический эффект.

Как видно из приведенных выше следствий информационно-вероятностного подхода, они не только включают известные правила, но и дают качественно новые. В частности, создают принципиально новую основу для оптимизированного экономического мониторинга, указывая на то, что качество информационных систем (например, их экономическое благополучие), прежде всего, определяется их разрешающими способностями по отношению к малым, а не к большим информационным потокам.

В рамках данного подхода при исследовании экономического положения субъектов хозяйственной деятельности необходимо строить иерархию экономических факторов по принципу их степени редкости и концентрировать усилия в первую очередь на изучении влияния таких факторов.

Сопоставим возможности использованного подхода с классическими возможностями теории сравнительных преимуществ. Для этого рассмотрим простейший пример двух стран или фирм-конкурентов, производящих, например, калийную соль в количестве X_1 и X_2 при затратах труда T_1 и T_2, соответственно. Для оценивания трудоемкости в рамках классического подхода будем использовать коэффициенты отдачи, определяемые известными соотношениями: $a_{T1} = T_1/X_1, a_{T2} = T_2/X_2$. Сравнительные преимущества будем также трактовать как возможность какой-либо страны производить товар, расходуя меньшее количество факторов производства по сравнению с другими странами, но характеризовать ее не в терминах трудоемкости, а в терминах вероятности использования производственных ресурсов при оценке стоимости выбора a_{T1}/a_{T2}.

На первом этапе для определенности будем считать, что $X_1 < X_2 = X_{\max}$, $T_1 = T_{\max} > T_2$. В частности, при конкурировании на рынке стран вероятность действия на них внешних факторов будет определяться отношениями $X_i/X_{\max}, T_i/T_{\max}$, а полная адекватность восприятия ими текущей информации формулой:

$$K_1 \cdot P_1(X) \cdot P_1(T) = K_2 \cdot P_2(X) \cdot P_2(T) = 1 ,$$

откуда получим:

$$\frac{P_1(X) \cdot P_1(T)}{P_2(X) \cdot P_2(T)} = \frac{K_2}{K_1}.$$

С учетом того, что в данном случае $P_1(X) = X_1/X_{\max} = X_1/X_2$, $P_2(X) = X_2/X_{\max} = X_2/X_2 = 1$, а $P_1(T) = T_1/T_{\max} = T_1/T_1 = 1$, $P_2(T) = T_2/T_{\max} = T_2/T_1$, исходная формула приобретет вид:

$$\frac{a_{T2}}{a_{T1}} = \frac{K_2}{K_1} \cdot \frac{T_2^2}{T_1^2} \ .$$

Из данной формулы следует, что сравнительные преимущества конкурентов зависят не только от соотношения между коэффициентами восприятия информации, но и от соотношения между их трудовыми затратами. В целом, абсолютное сравнительное преимущество оказывается прямо пропорционально относительному коэффициенту восприятия экономическим субъектом информации и квадрату его относительных трудозатрат.

В случае $X_1 < X_2 = X_{\max}$, $T_2 = T_{\max} > T_1$, то $P_1(X) = X_1/X_{\max} = X_1/X_2$, $P_2(X) = X_2/X_{\max} = X_2/X_2 = 1$, а $P_1(T) = T_1/T_{\max} = T_1/T_2$, $P_2(T) = T_2/T_{\max} = T_2/T_2 = 1$, конечную формулу, с одной стороны, можно привести к тому же виду:

$$\frac{a_{T2}}{a_{T1}} = \frac{K_2}{K_1} \cdot \frac{T_2^2}{T_1^2} \ ,$$

а, с другой стороны, привести к иной форме записи:

$$\frac{a_{T2}}{a_{T1}} = \frac{K_1}{K_2} \cdot \frac{X_1^2}{X_2^2} \ .$$

Видно, что сравнительное преимущество может также достигаться и за счет сокращения количества единиц выпускаемой продукции. Это условие позволяет регулировать конкурентам величину своей доли товара в избранных секторах экономики.

Еще одним приложением использования выше развитого общего формализма теории потока является модель формирования транспортного каркаса и размещения производительных сил на геопотенциальной основе.

В ее рамках в контексте теоретического моделирования устойчивого экономического развития регионов и их хозяйствующих субъектов теорию потока и сведения о топоповерхности геопотенциалов (например, гравитационного поля) можно применять для определения мест расположения «полюсов роста» и размещения транспортного каркаса. В качестве императива размещения производительных сил в целом можно использовать биосферный принцип в форме, предложенной Н.В. Тимофеевым-Ресовским[10], его приоритет над принципом максимизации мгновенной экономической выгоды. Биосферный подход предполагает обеспечение устойчивости геосред за счет организации таких потоков вещества, которые выравнивают геопотенциалы различных территорий, то есть избытки вещества (массы) и энергии, нарушающих устойчивость кругооборота на уровне всей иерархии хорологических элементов биосферы. Для малоосвоенных территорий ресурсного типа потенциал долгосрочного развития определяется избытком вещества его недр или водных ресурсов в изостатическом смысле. Максимальные избытки определяют «полюса долгосрочного роста», а геометрия опорного транспортного каркаса определяется коридорами, связывающими территории с наименьшими и наибольшими геопотенциалами. С учетом реальной географии (рельефа, типа растительности, водных преград) можно

использовать понятие геосопротивления среды, а потенциальные потоки оценивать на основе системы уравнений, аналогичных уравнениям Кирхгофа в теории электросетей. Под током при этом будет подразумеваться результирующий перенос массы вещества за единицу времени, а под движущей силой или потенциалом – работа тех производительных сил, которые задействованы в транспорте единицы массы вещества по выделенному каналу. Реальное геосопротивление среды в таком подходе может оцениваться отношением разности геопотенциалов выделенных географических точек к результирующему переносу массы в данный момент.

Предложенная модель с учетом реальной топологии поля силы тяжести Земли позволяет выполнять точную географическую привязку «полюсов роста», исходя из биосферных, а не директивных принципов, организовывать и рассчитывать хозяйственные потоки, сглаживающие нежелательные биосферные контрасты и возмущения.

1. *Аверин С.И., Минаев А.Н., Швыдкий Б.С.* Механика жидкости и газа. М.: Металлургия, 1987. 304 с.
2. *Гамильтон У. Р.* Избранные труды: оптика, динамика, кватернионы. М.: Наука, 1994. Серия: Классики науки. 560с.
3. *Гилл А.* Динамика атмосферы и океана. М.:Мир, 1986. Т.1. 396 с.; Т.2. 415 с.
4. *Кантор И. Л., Солодовников А. С.* Гиперкомплексные числа. М.: Наука, 1973. 144 с.
5. *Королев Е.А.* Энергия, энтропия, информация и моделирование экономических систем // Вторая Интернет Конференция по эволюционной экономике и эконофизике (11-14 ноября 2004 г.). Екатеринбург: Международный Институт Богданова. 2004. [Электронный ресурс]. URL: http://finansbibl.ru/bibl/biblioteka/1.htm (дата обращения 17.12.2010)
6. *Корольков П.А.* Введение в геометрию потока (геометрию процессов). Свердловск. 1971. Рукопись. 71 с.
7. *Корольков П.А.* Введение в геометрию потока / Геометризация месторождений минерального сырья как основа рационального освоения недр. Сб. науч. тр. Московского горного ин-та. Москва: Изд-во МГИ, 1969. с.188-208.
8. *Литовский В.В.* Информационно-вероятностные аспекты теории сравнительных преимуществ // Труды IV Всероссийского симпозиума по экономической теории. Т.2. Микроэкономика. Макроэкономика – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2010. С.162-163. ISBN 978-5-94646-273-0, ISBN 978-5-94646-273-1
9. *Соболевский П.К.* Геометризация месторождений минерального сырья как основа рационального освоения недр. Сб. науч. тр. Московского горного ин-та. Москва: Изд-во МГИ, 1969. с.18-63.
10. *Тимофеев-Ресовский Н.В.* Биосфера и человечество. Научные труды Обнинского отделения Географического общества СССР. 1968. Сб.1. Ч.1. С. 3-12.
11. *Euler L.* Principes généraux du movement des fluids // Mémoires de l'académie des sciences de Berlin. 1755. Tom. 11. PP. 217-273; 274-315; 316-361. [Электронный ресурс]. URL: http://www.math.dartmouth.edu/~euler/docs/originals/E226.pdf;

http://www.math.dartmouth.edu/~euler/docs/originals/E226.pdf;
http://www.math.dartmouth.edu/~euler/docs/originals/E227.pdf (дата обращения 17.12.2010)

12. *Euler L.* Principia Motus Fluidorum // Novi commentarii Academiae scientiarum. Petropolitannae. 1756. Tom VI. Pp.271-311. [Электронный ресурс]. URL: http://www.math.dartmouth.edu/~euler/docs/originals/E258.pdf (дата обращения 17.12.2010)