

Стаття Головного редактора

Анатомия фазовых переходов в экономических системах: предприятие, регион, макроэкономика*

Л. Г. МЕЛЬНИК[†]

Выполнен содержательный анализ категорий: «фаза», «фазовый переход», «фазовый барьер». Под фазой понимается однородная часть разнородной системы, отделённая от остальных частей поверхностью раздела. Фазовый переход (ФП) означает скачкообразное изменение свойств системы при непрерывном изменении факторов внешней среды. Под фазовым барьером понимают комплекс предпосылок, необходимых для реализации системой фазового перехода. Исследован триалектический механизм реализации ФП через изменение трёх групп взаимосвязанных и взаимообусловленных системоформирующих факторов: материально-энергетических, информационных и синергетических. Необходимым условием ФП является формирование необходимых предпосылок, т.е. соответствующих параметров системы во всех трёх группах факторов. Называются предпосылки для реализации фазового перехода к постиндустриальной формации: создание альтернативной энергетики с массовым аккумулированием энергии, формирование новой производственной основы на базе аддитивных технологий и 3D-принтеров, создание единой («цифровой») основы использования информации, формирование «облака» как глобальной системы памяти, применение искусственного интеллекта и «умных» киберфизических систем, тотальная сетизация систем на основе Интернета, формирование горизонтальных производственно-потребительских структур. Рассмотрены особенности ФП в экономических системах и исследуется роль человека в их развитии и трансформации. Анализируется эволюция триады сущностных начал человека (био-трудо-социо) в ходе эпохальных фазовых переходов в истории цивилизации. Даются примеры реализации фазовых переходов в истории развития экономических систем. Отмечается катализирующая роль природных факторов в возникновении ФП. Приводятся факты, характеризующие ход течения современного фазового перехода.

Ключевые слова: фаза, фазовый переход, фазовый барьер, экономическая система, внешняя среда, экономические отношения.

УДК 338.12:004.738.5

JEL коди: E00, E02

Введение. По мнению большинства исследователей, сегодня человечество переживает очередной фазовый переход (ФП), обусловленный ходом Третьей и

[†] Мельник Леонид Григорьевич, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики, предпринимательства и бизнес-администрирования Сумского государственного университета, директор Научно-исследовательского института экономики развития МОН и НАН Украины в составе Сумского государственного университета.

* Публикация содержит результаты исследований, проведенных в рамках НИР «Розроблення фундаментальних основ відтворювального механізму соціально-економічного розвитку в ході Третьої промислової революції» (№ д/р 0118U003578).

* Публикация содержит результаты исследований, проведенных в рамках НИР «Моделювання трансферу екоінновацій в системі «підприємство-регіон-держава»: вплив на економічне зростання та безпеку України» (№ д/р 0119U100364).



Четвертой промышленных революций (Т.п.р. и Ч.п.р.). ФП – это многогранное явление, охватывающее широкий спектр событий. В данной статье раскрывается содержание фазового перехода, и явлений, связанных с ним (в частности фазового барьера). Особое внимание уделяется особенностям и механизмам реализации ФП в экономических системах.

Постановка проблемы. Во многих работах [9, 21, 22, 30, 58, 59] рассматриваются различные аспекты ФП, происходящих в экономических системах. Особенностью данной работы является то, что ФП в ней исследуется на основе триалектического анализа, при котором система рассматривается в триединстве системоформирующих начал: материально-энергетического, информационного и синергетического.

Целью статьи является анализ содержательной основы фазового перехода как явления природы и процесса развития общественных систем, а также исследование механизмов и движущих сил ФП и предпосылок преодоления фазового барьера.

Фундаментальные основы фазового перехода. У большинства исследователей не вызывает сомнения, что те трансформации, которые сегодня переживает человеческая цивилизация, связаны с *фазовым переходом*.

Из физики мы знаем, что при *фазовом переходе* физические свойства системы (скажем, вещества) скачкообразно изменяются при непрерывном изменении внешних параметров (например температуры, давления, магнитного и электрического полей) [46]. Подобным образом при изменении температуры и давления вода может переходить в лёд, пар или обратно. Вполне применимо понятие *ФП* и по отношению к социально-экономическим системам.

Фазой в физике принято называть однородную (гомогенную) часть разнородной (гетерогенной) системы, отделённую от остальных частей поверхностью раздела. Значит, лёд, плавающий в воде, представляет как раз такую фазу. Вода же является ещё одной фазой двухфазной системы (лёд – вода). Причём, можно чётко увидеть границу разделения этих фаз. В частности, это поверхность льда, где он отделяется от воды. В различных однородных частях системы существенно различаются и их свойства. Вряд ли кто будет отрицать, что свойства льда, воды и пара существенно отличаются друг от друга.

Точно так же различаются характеристики сообществ, живущих при первобытно-общинном, феодальном и индустриальном укладах, т.е. тех, которые представляют различные фазы социально-экономического развития. А ведь сегодня на Земле существуют территории, где люди в одно и то же время живут по законам этих различных укладов. Более того, на одной и той же территории (например, в стране или городе) можно наблюдать соседство этих различных укладов, как в одном водоёме или сосуде могут одновременно находиться вода и лёд [30].

В динамических системах их свойства находятся в постоянном развитии. Это значит, что они постоянно изменяются. Следовательно, в приведенном выше определении *фазы* термин «часть системы» можно рассматривать не только в пространственном, но и во временном аспектах. Иными словами, частью системы может быть не только её фрагмент, т.е. пространственное образование, но и временной отрезок истории её существования. Не случайно в ряде определений фаза трактуется как период, стадия, этап развития системы или какого-либо явления.

И это вполне справедливо. И так, упомянутые социально-экономические формации могут не только существовать на Земле в один и тот же период времени на разных территориях, но и сменять друг друга в разные исторические периоды времени на одной и той же территории (в одном и том же сообществе).

Мы начали статью с физических понятий. Случайно ли, что в последнее время приходится наблюдать взаимное проникновение научного инструментария и понятийного аппарата между различными областями знаний? Видимо, нет. Сегодня человечество переживает потребность в синтезе своих знаний, что, без сомнения, также имеет свои объективные предпосылки. Они обусловлены интеграционным характером процессов, которые происходят в обществе. Междисциплинарные методологические подходы позволяют глубже понять закономерность социально-экономических систем через аналогии с процессами эволюции физических систем.

Возвращаясь, однако, к фазовым переходам. Фактически понятие «фазовый переход» представляет одну из граней такой философской категории, как «переход количества в качество». При ФП нарушается линейный характер зависимости в поведении системы (например, «чем больше, тем лучше», или «чем меньше, тем лучше»), и система переходит от адаптационных форм своего развития к бифуркационным.

В такие периоды кардинально трансформируется (перестраивается) структура системы, существенно изменяются её внутренние и внешние связи. Практически на смену одних форм и содержания системы приходят другие. С физической точки зрения это может трактоваться как катастрофа прежнего состояния системы. Своеобразной компенсацией за утрату старого качества системы служит значительное увеличение вариативности направлений развития системы. Многократно увеличивается количество потенциально возможных состояний, которые система может обрести (одно или несколько из многих) при подобном её переходе.

Следует отметить одну важную особенность. Существует строгая детерминированность (определённость) формирования параметров нового стационарного состояния, которое должна обрести система после её ФП. В этом смысле поведение системы любого вида (физической, биологической, социальной) подчиняется вполне конкретным физическим закономерностям. Основным смыслом этого заключается в следующем.

Вне фазовых переходов все системы существуют в стационарном, устойчивом состоянии. А любое стационарное состояние системы обеспечивается поддержанием её гомеостаза, т.е. относительно узкого интервала параметров, в котором функционирует система. Возникновение гомеостаза систем является гениальным изобретением природы. Дело в том, что именно параметры гомеостаза обеспечивают минимум производства энтропии системой при существующих условиях внешней среды. Иными словами, при данных параметрах гомеостаза процессы функционирования системы в максимальной степени соответствуют характеристикам среды. При этом достигается максимальная эффективность существования системы. Это значит, она теряет, бесполезно рассеивая (диссипируя), минимум свободной энергии на единицу выполняемой работы.

После ФП свои новые параметры система обретает произвольно, но строго в рамках существующего фундаментального критерия. Он может быть сформулирован следующим образом: параметры системы должны обеспечивать минимум производства энтропии (диссипации энергии) при данных условиях внешней среды.

Функцию адаптации (подстройки) параметров гомеостаза под его оптимальные значения для данных условий внешней среды выполняет механизм обратных связей. До тех пор, пока это возможно, подстройка осуществляется в рамках адаптационных эволюционных механизмов (в основном, за счёт действия механизмов отрицательной обратной связи). Они работают при сохранении основных контуров структуры системы, а также её внутренних и внешних связей. Когда адаптационные возможности системы в рамках существующего гомеостаза исчерпываются, система вынуждена скачком

переходить на его новый уровень. Он может быть как выше, так и ниже прежнего. Для этих целей задействуются уже преимущественно механизмы положительной обратной связи.

Триалектическая основа фазового перехода. Как любой физический процесс, ФП требует определённых затрат энергии. Она необходима для перевода системы с одного гомеостатического уровня на другой. Энергия расходуется даже, если новый гомеостатический уровень имеет более низкий по уровню статус.

Следует, впрочем, отметить, что во время перехода часть затрачиваемой энергии может быть компенсирована за счёт её высвобождения при демонтаже прежней структуры и связей системы. Это схоже с ситуацией, когда при перестройке дома часть средств может быть сэкономлена при использовании или продаже демонтированных стройматериалов с прежней постройки.

Однако энергозатраты – не единственное, что нужно для осуществления ФП. Это становится понятным, если глубже погрузиться в понятие содержания системы.

Любая система имеет триалектическую природу своего формирования. Это значит, что она является не только материально-энергетическим объектом, но также и информационной сущностью, представляя собой некий информационный алгоритм взаимного построения частей системы в пространстве, а также являясь программой их развития во времени. Третьим природным началом есть синергетический феномен, обеспечивающий реализацию связей взаимодействия между собой отдельных частей системы, а также связей самой системы с внешней средой.

В процессах функционирования системы у упомянутых природных начал – различные функции. *Материально-энергетическое* начало выполняет силовую функцию, обеспечивая реализацию любых видов движения (а значит, и изменений) внутри системы и при её взаимодействии с внешней средой. *Информационное* начало направляет действие энергетических импульсов, а следовательно, обеспечивает целенаправленность и эффективность осуществления происходящих процессов. *Синергетическое* начало объединяет действия отдельных частей системы в единое целое, обеспечивая взаимную согласованность подсистемных действий и функций. Оно также обеспечивает встраивание данной системы как подсистемной части во внешнюю среду.

Таким образом, ФП системы на новый её уровень может состояться только в том случае, если будут перестроены все три начала, формирующие содержание системы. Например, если возникает желание увеличить мощность автомобиля, мало установить в него более мощный двигатель. Должна быть изменена вся компоновка технической части машины (в частности, система подачи топлива). А, кроме того, необходимо изменить систему взаимодействия отдельных подсистем автомобиля, обеспечивающих переход с одного режима работы на другой и многое другое.

Если речь идёт о ФП в социально-экономических системах, то уместно отметить, что изменение любых ключевых компонентов их функционирования в той или иной степени обуславливает изменение всех сфер деятельности общества, связанных с этим.

В частности, переход с гужевого на автомобильный транспорт обусловил: развитие автомобильной промышленности и её опытно-конструкторских подразделений. Был дан толчок развитию металлургической и химической промышленности для создания необходимых материалов. Осуществлено строительство дорог, созданы правила движения, возникла специфическая кредитно-банковская система, сформирована нефтеперерабатывающая промышленность, создана система заправок, построен танкерный флот и соответствующая инфраструктура, осуществлено много иных преобразований. Но самое главное то, что это потребовало внутренней перестройки самого человека. Необходимо было, чтобы люди существенно повысили уровень своей технической грамотности, изменили

ритм и стиль жизни, обеспечили самодисциплину при эксплуатации технического средства и движении по дорогам.

Как видим, ФП в данной транспортной сфере потребовал трансформации всех трёх природных начал в системах, которые её обеспечивали. Были изменены: *материально-энергетические факторы* (созданы новые технологические средства и энергоносители к ним); *информационная система*, обеспечивающая их функциональное развитие (налажены научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, обучение спецперсонала и водителей и др.); *синергетические факторы* (созданы обязательная для всех система правил движения, коммуникационные артерии, средства взаимного оповещения, пр.). Без всех этих трансформаций человечество не смогло бы осуществить данный ФП и преодолеть соответствующий фазовый барьер.

Фазовый барьер. Под *фазовым барьером* следует понимать комплекс предпосылок (то есть, состояние трёх упомянутых начал: материально-энергетического, информационного и синергетического), необходимых для реализации системой ФП, отсутствие которых является причиной его неосуществления.

Фазовый барьер представляет собой сложное сочетание взаимосвязанных, взаимообусловленных и частично взаимоконвертируемых факторов, в котором следствие постоянно меняется местами с причиной. При этом состояние любого из факторов может стать решающим в преодолении системой фазового барьера. В социальных системах, например, в качестве такого фактора может оказаться состояние общественных институтов.

Преодоление системой фазового барьера ведёт к снижению информационного статуса системы, определяющего её сложность, уровень согласованности отдельных звеньев и эффективность функционирования. Структура и механизм действия системы упрощается (примитивизируется), а эффективность действия снижается. Система может быть отброшена, условно говоря, на один или несколько уровней по отношению к тому рубежу, с которого она начинала ФП. Система как бы возвращается скачком назад – на несколько качественных уровней своего эволюционного развития. Такой оказывается цена неудачной попытки и растроченной энергии на несостоявшийся ФП.

Нечто похожее, по мнению ряда исследователей, произошло в начале XX века с Россией. Попытка перейти к развитому буржуазному обществу с присущими ему демократическими институтами не увенчалась успехом. И без того сложные условия фазового перехода в стране, где около 80 % населения составляли крестьяне, усугубились двумя революциями, изнурительной мировой и разрушительной гражданской войнами. В результате по уровню общественных отношений страна была отброшена на десятилетия назад, что не могло не сказаться на её социально-экономическом развитии.

В итоге на одной шестой суши Земли возникла химерная социально-экономическая формация, в которой по большей части заимствованные на стороне индустриальные средства производства эксплуатировались в условиях чудовищной смеси первобытно-общинных, рабовладельческих, феодальных и квазикапиталистических общественных отношений.

Основной особенностью современного фазового перехода является глобальный характер происходящих процессов. Этому способствует ряд важнейших факторов: международный всепроникающий характер масс-медиа (прежде всего телевидения и Интернета), интернализация науки и образования, всепланетные масштабы экологических проблем (в частности нарушения климата Земли), ставшая подавляющей международной кооперация производственных процессов. Всё это стремительно приближает мировое сообщество к предсказанной в начале 1970-х годов К. Боулдингом «Экономике космонавтов» [52]. В данных условиях лишь страны, богатые природными ресурсами (в основном ископаемыми энергоносителями), за счёт обильного притока

финансовых средств временно могут сохранять возможность относительной изоляции от остального мира и консервации существующих устоев. Однако становится всё более очевидным тот факт, что обрести завоевания Третьей и Четвертой промышленных революций можно лишь в связке с соответствующими социально-экономическими отношениями (прежде всего солидарной экономикой и максимальным вовлечением широких масс в управление территориями).

Предпосылки к современному ФП. Говоря о предпосылках к современному фазовому переходу, следует выделить ряд ключевых событий (рис. 1). В группе *материально-энергетических* факторов решающую роль начинают играть: во-первых, создание конкурентоспособной альтернативной энергетики с массовым аккумулярованием энергии; во-вторых, формирование принципиально новой производственной основы на базе аддитивных технологий и 3D-принтеров.

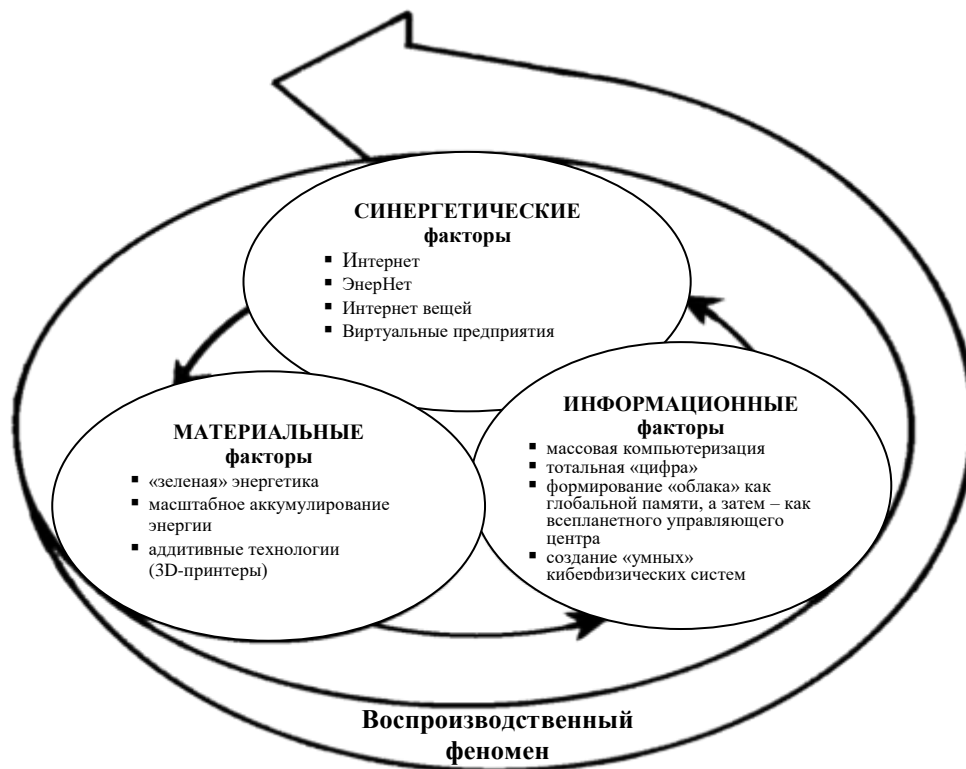


Рис. 1. Формирование предпосылок для реализации современного фазового перехода

В группе *информационных* факторов наряду с массовой компьютеризацией важнейшую роль играют: во-первых, создание единой («цифровой») основы фиксации и передачи информации, обеспечивающей коммуникации человека с человеком, человека с машиной и машины с машиной; во-вторых, формирование «облака», т.е. глобальной системы памяти, которая начинает всё больше выполнять функции своеобразного управляющего центра; в-третьих, применение искусственного интеллекта и «умных» киберфизических систем («интернета вещей»). В группе *синергетических* факторов

решающее воздействие оказывают: тотальная сетизация экономических систем и общественной жизни на основе Интернета; формирование горизонтальных производственно-потребительских структур; возникновение межконтинентальных виртуальных предприятий.

О том, что фазовый переход уже начался, убедительно свидетельствуют многочисленные факты. Приведём лишь некоторые из них:

До конца 1980-х годов лишь около 1 % мировой информации фиксировалось и хранилось в цифровой (digital) форме. В 2007 году доля цифровой информации достигла уже 94 %, а в 2014 г. стала подавляющей – 99 % [55].

В 1990 году услугами интернета пользовалось лишь 0,05 % жителей Земли. В 2016 году это число превысило половину жителей планеты [55].

В 2016 году в мире доля энергии, производимой из возобновляемых источников, приблизилась к 25 % [56]. А в ряде стран и отдельных регионов (Дания, Германия, Португалия, Шотландия, Чили, Швеция) в отдельные периоды времени эта доля уже превышала 100 % [44–45, 51, 53, 54, 57, 60].

Согласно отчёту Всемирного экономического форума, возобновимая энергия стала дешевле нефти и газа уже в 30 странах (в т.ч. 11 стран – из ЕС), включая Австралию, Бразилию, Германию, Данию, Израиль, Новую Зеландию, Мексику, Турцию, Чили, Швецию, Японию и др. страны. В ближайшие несколько лет паритет стоимости энергии будет достигнут уже в 80 % всех стран [8].

Говоря о закономерном характере возникновения ФП в социально-экономических системах, следует отметить и то, что они имеют свою специфику. Основным отличительным моментом является ведущая роль человека в развитии систем и возникновении предпосылок к фазовым переходам.

Особенности ФП в экономических системах. Фазовые переходы, подчиняясь общим фундаментальным закономерностям, имеют свои особенности в каждой сфере их проявления (физической, биологической, общественной). Попытаемся рассмотреть это более детально.

Согласно приведенному в начале статьи определению, при ФП свойства системы *скачкообразно изменяются при непрерывном изменении внешних параметров*. Отметим важную особенность. Если речь идёт об экономической системе, то не только внешняя среда влияет на её поведение, но и сама система в определённой мере способна оказывать воздействие на состояние параметров окружения.

На наш взгляд, к ключевому фактору, влияющему на изменение параметров внешней среды, следует отнести затраты труда, которые работники определённой экономической системы прикладывают к предметам труда. Эти затраты через сложные процессы товарно-денежных отношений, обусловленных реализацией уже готовой продукции, вызывают непрерывное изменение внешних условий. Последние же и формируют то поле воздействующих факторов, которое обуславливает возникновение фазового перехода в экономической системе. Отметим при этом, что под затратами труда предполагаются не только количественные, но и качественные параметры трудовых процессов. Последнее, в частности, подразумевает увеличение информационной ёмкости труда, повышение его эффективности, усиление степени синергизма.

Таким образом, предприятие может осваивать инновационные, более сложные виды продукции, совершенствовать процессы её производства, делая их экологически и социально более совершенными, выходить на новые рынки, вовлекать в сферу реализации новые круги потребителей. В результате такой деятельности, как правило, внешняя среда постепенно

изменяется в благоприятную для предприятия сторону. Увеличивается спрос на его продукцию, появляются дополнительные инвестиционные и кредитные возможности. В конечном итоге упомянутые изменения во внешней среде могут способствовать качественному изменению статуса предприятия. Например, из неприбыльного и неуспешного предприятие может осуществить фазовый переход к успешному и прибыльному состоянию, открывая новые горизонты своего развития. На это вполне справедливо обращает внимание И. Гарин [9].

Вполне вероятны (и они отнюдь не редки), случаи, когда предприятия совершают фазовый переход в обратном направлении: от успешных и прибыльных к неуспешным и неприбыльным.

Как видим, причиной упомянутых процессов являются изменения параметров внешней среды (в том числе отношение потенциальных инвесторов и потребителей к продукции предприятия). Накапливаясь постепенно благодаря труду работников предприятия, они могут стать предпосылками к скачкообразному изменению статуса предприятия (например, из маленькой производственной единицы оно может трансформироваться в акционерное общество, а затем в трансконтинентальную корпорацию).

К сказанному следует добавить, что в глубине упомянутых экономических процессов ежемоментно происходят, условно говоря, минифазовые переходы, в которых производственные запасы приобретают товарные формы готовой продукции, а те в свою очередь трансформируются в денежные потоки, направляемые впоследствии на привлечение необходимых ресурсов (сырья, материалов, основных фондов, информации, трудовых факторов). И виток фазовых переходов выходит на новый уровень. Эти процессы характеризуются А. Р. Махмутовым [22].

Обратим внимание, что отмеченная тенденция справедлива и в отношении минифазовых переходов. На них решающее значение оказывают параметры внешней среды (спрос на продукцию, цены на сырье, экономическая конъюнктура и пр.). Но, в свою очередь, предпосылки для изменения последних в благоприятную для предприятия сторону (или наоборот) закладываются трудом его работников.

Решающее воздействие, хотя и со своей спецификой, оказывает человеческий фактор и в процессах фазовых переходах к новым социально-экономическим формациям. Роль импульса, «раскачивающего» параметры внешней среды, также играет труд человека. Но специфика в данном случае заключается в том, что решающим оказывается экодеструктивное воздействие процессов труда на экосистемы планеты [34]. Накапливаясь, деструктивные факторы ведут к деградации среды. Рано или поздно перед человеческими сообществами возникает дилемма: или осуществить фазовый переход и выйти на более эффективный и относительно менее деструктивный уровень экономического уклада, или, не пройдя фазовый барьер, деградировать, откатившись на более примитивные методы хозяйствования и общественные отношения.

Таким образом, природная среда выступает в качестве фактора, сдерживающего рост населения и возможности общества развиваться в пределах существующего гомеостаза экономических систем (производительных сил и общественных отношений). Это вынуждает сообщество переходить на более высокий уровень развития, как бы «выталкивая его вверх».

Так, неолитическая революция, когда человек занялся контролируемым производством растительных и животных продуктов, позволила в значительной степени разрешить проблему кризиса продуцентов, истребляемых человеком в ходе собирательства и охоты.

Первая и Вторая промышленные революции (которые, по всей вероятности, следует рассматривать как две фазы единой промышленной революции) значительно расширили базу

энергетических и материальных ресурсов, уменьшив тем самым проблемы кризиса воспроизводственного потенциала экосистем. В частности, древесину, обеспечивающую функции базового энергоносителя и ведущего стройматериала, удалось в значительной степени заменить ископаемыми топливами, металлами и химическими материалами. Это позволило остановить катастрофическую вырубку лесов.

Третья и Четвёртая промышленные революции (их, вероятно, следует рассматривать как две фазы единой информационно-сетевой революции), которые в настоящее время переживает человечество, призваны разрешить проблемы кризиса воспроизводства ассимиляционного потенциала экосистем планеты. Естественные очистные реакторы биосферы уже не справляются с функциями восстановления изменяемых (загрязняемых) человеком параметров природной среды. Одним из опасных последствий подобного антропогенного воздействия является избыточное производство энергии и тепловое загрязнение. Производимую человеком избыточную энергию не успевают рассеивать перегревающаяся энергосистема Земли (подробно – в [24, 33].).

Характеристика ФП в экономических системах. Условно фазовые переходы, которые происходят в экономических системах, могут быть дифференцированы на три группы: *текущие* (периодические), *инновационные* и *эпохальные*.

Текущие или *периодические* фазовые переходы происходят постоянно в ходе процессов производства и потребления продукции. Так деньги, как известно, переходят в производственные активы, те – в ходе техпроцессов – в товарную продукцию. Товарная продукция снова конвертируется в денежные активы, а производственные циклы воспроизводятся заново.

Инновационные фазовые переходы связаны с открытиями и изобретениями, разрушающими старый уклад жизни и заставляющими изменять производственную среду, применяемые технологии, производимую продукцию, знания и навыки работающих, условия жизни и деятельности людей. В таблице 1 показаны основные вехи инновационных фазовых переходов в истории человечества.

Таблица 1

Характеристика предпосылок для инновационных фазовых переходов

Ключевая инновация	Значение для развития общества	Ключевая инновация	Значение для развития общества
1	2	1	2
Материально-энергетические факторы. <i>Орудия труда</i>			
Первые ручные рубила (ок. 800 тыс. г. до н.э.)	Преимущество в конкуренции за выживание, начало трудовых процессов	Первые составные орудия, изобретение рукоятки (ок. 100 тыс. г. до н.э.)	Усложнение процессов труда
Начало мотыжного земледелия (ок. 8 тыс. г. до н.э.)	Начало неолитической революции и перехода к оседлому способу жизни	Пиление, сверление и шлифовка камня (ок. 6 тыс. г. до н.э.)	Формирование ремесленных операций, появление ремесленников
Прялка и ткацкий станок (ок. 5 тыс. г. до н.э.)	Первый шаг к массовому производству	Изобретение колеса и повозок (ок. 4 тыс. г. до н.э.)	Начало информатизации орудий труда, зарождение транспорта
Плуг с ножом и отвалом (ок. 100 г. до н.э.)	Становление аграрного производства	Ручная прялка, двухцилиндровый поршневого насос (ок. 100 г. до н.э.)	Становление промышленного производства

Продолжение табл. 1

1	2	1	2
Штамповка рисунков на тканях (ок. 700 г. н.э.)	Формирование предпосылок к массовому производству	Первые кулачковые молоты с приводом от водяного колеса (1200)	Начало механизации ремесленного производства
Первые доменные печи (ок. 1500 г.)	Формирование производственного материаловедения	Прядильная машина Аркрайта (1769)	Формирование ткацкой промышленности
Прокатный стан для изготовления проволоки (1769)	Формирование массового производства	Начало фабричного производства паровых машин Уатта (1776)	Зарождение машиностроительной промышленности
Первый токарно-винторезный станок (1794)	Формирование станкостроительной промышленности	Ротационная машина Эппельгеса (1846)	Становление массового производства
Первый жилой дом из железобетона (1865)	Зарождение промышленного строительства	Прокатный стан для изготовления бесшовных труб (1885)	Становление массового производства
Первая система конвейерного производства Форда (1913)	Начало машиностроительного массового производства	Создание первой автоматической поточной линии (1913)	Начало автоматизированного производства
Сформулирована концепция полной автоматизации производства (1936)	Преддверие внедрения автоматических производственных линий	Создание первых станков с числовым программным управлением (1955)	Начало внедрения полностью автоматизированных станков
Сформулирована концепция нанотехнологии (1959)	Преддверие нанотехнологического производства	Создание первого промышленного робота (1962)	Начало использования производственных средств с гибкой системой автоматического принятия решений
Начало исследований в области нанопроизводства (1974)	Создание предпосылок нанопроизводства	Изобретение метода трёхмерной печати (1981)	Преддверие создания 3D-принтера
Создание первого 3D-принтера (1988)	Начало аддитивного производства	Создание прототипа процессора для нанопроизводства (2007)	Начало промышленного использования нанотехнологий
<i>Производство и трансформация энергии</i>			
Начало использования огня (ок. 500 тыс. г. до н.э.)	Усиление энергетической мощи человека	Искусственное добывание огня (ок. 40 тыс. г. до н.э.)	Начало контролируемого использования природной энергии
Водяная мельница (ок. 300 г. до н.э.)	Начало использования энергии воды	Ветряная мельница (ок. 1750 г. до н.э.)	Начало использования энергии ветра
Паровой двигатель (1690)	Начало использования искусственно получаемой энергии	Первая действующая паровая машина Уатта (1768)	Начало промышленного использования искусственно получаемой энергии
Открытие кокса (1735)	Начало концентрации энергии ископаемого топлива	Открытие электрического тока (1786)	Качественный скачок в концентрации энергии
Первая электробатарейка (1800)	Начало эры мобильного использования энергии	Создание электромагнита (1825)	Формирование предпосылок для появления электродвигателя

Продолжение табл. 1

1	2	1	2
Открытие явления электромагнитной индукции Фарадеем (1831)	Преддверие создания электродвигателя	Создание электродвигателя постоянного тока (1834)	Начало использования электроэнергии на транспорте
Открытие фотоэлемента (1839)	Формирование предпосылок использования солнечной энергии	Создание электродвигателя переменного тока (1841)	Формирование предпосылок промышленного использования электроэнергии
Создание первого трансформатора (1852)	Создание необходимого звена передачи энергии на расстояние	Получение керосина из нефти (1857)	Преддверие использования нефтепродуктов в качестве энергоносителей
Бурение первой нефтяной скважины (1859)	Начало промышленного использования нефтепродуктов	Первый свинцовый аккумулятор (1859)	Начало эры заряжаемого хранения электроэнергии
Создание газового двигателя внутреннего сгорания (1860)	Преддверие возникновения автомобильного транспорта	Строительство первой электростанции (1882)	Начало массового использования электроэнергии
Создание бензинового двигателя внутреннего сгорания (1883)	Начало массового использования двигателя внутреннего сгорания в промышленности и на транспорте	Открытие явления радиоактивности солей урана (1896)	Открытие нового источника энергии
Первая управляемая ядерная реакция в первом ядерном реакторе (1942)	Освоение нового вида энергии	Пуск первой АЭС (1954)	Начало мирного использования энергии атома
Первый квантовый генератор (лазер) (1954)	Начало использования концентрированной квантовой энергии вещества	Первая солнечная электробатарея (1955)	Начало промышленного использования солнечной энергии
Вещества и материалы			
Металлургия меди (ок. 4 тыс. г. до н.э.)	Предпосылки материального производства	Металлургия бронзы (ок. 2 тыс. г. до н.э.)	Повышение твердости и прочности материала в сочетании с его большей легкоплавкостью
Металлургия железа (ок. 1800 г. до н.э.)	Получение одного из лучших технологических материалов, в т.ч. благодаря его высокой прочности и ковкости	Открытие пороха (ок. 650 г.)	Начало использования одного из первых взрывчатых веществ
Получение селитры (1659)	Начало использования первых минеральных азотных удобрений и взрывчатого вещества	Открытие водорода (1766)	Начало применения одного из наиболее используемых промышленных веществ, а в настоящее время – одного из наиболее многообещающих энергоносителей на транспорте

Продолжение табл. 1

1	2	1	2
Открытие алюминия (1825)	Преддверие использования одного из важнейших конструкционных материалов, в т.ч. для авиастроения	Синтез мочевины (1828)	Преддверие получения синтетических удобрений, а также начало очистки дымовых газов
Получение одной из первых пластмасс – камтуликона, предшественника линолеума (1830)	Преддверие производства синтетических материалов	Получение нитроглицерина (1847)	Начало использования искусственно производимого вещества как лекарственного препарата и взрывчатого вещества
Производство целлулоида (1870)	Начало массового использования синтетических материалов	Открытие явления односторонней проводимости (1874)	Преддверие создания полупроводников
Производство целлулоидной плёнки (1889)	Начало массового использования искусственных материалов (упаковка, основа киноплёнки, пр.)	Открытие полиэтилена (1899)	Преддверие массового использования синтетических пластмасс
Синтез искусственного каучука (1901)	Начало промышленного использования искусственных материалов, обладающих эластичностью, водонепроницаемостью и электроизоляционными свойствами	Изобретение первого полупроводника (1906)	Преддверие развития электроники на основе транзисторов
Создание первого транзистора (1925)	Начало использования транзисторов в электронике	Создание стекловолокна (1935)	Преддверие использования первых композиционных материалов
Информационные факторы			
Возникновение речи и языка (ок. 150 тыс. г. до н.э.)	Решающий фактор в формировании общности людей, а также аккумуляции знаний и опыта для передачи последующим поколениям	Появление пиктографического письма (ок. 4 тыс. г. до н.э.)	Формирование основы письменной фиксации и хранения информации
Появление слогового письма (ок. 2 тыс. г. до н.э.)	Стандартизация системы письменной фиксации информации	Первые прототипы денег (ок. 2 тыс. г. до н.э.)	Замена материального натурального обмена информационным эквивалентным
Стеклянные линзы (ок. 450 г. до н.э.)	Формирование основы исследования окружающего мира	Прообраз первого компаса (ок. 300 г. до н.э.)	Изобретение средства ориентации в пространстве
Начало оспопрививания в Китае (ок. 100 г. до н.э.)	Начало использования метода вакцинаций	Создание бумаги (ок. 105 г.)	Изобретение одного из первых носителей информации
Первые башенные часы (996 г.)	Изобретение средства для контроля за временем	Первые очки (1285)	Изобретение средства корректировки зрения

Продолжение табл. 1

1	2	1	2
Прототип банка современного типа (1397)	Реализация функции денежного обращения	Печатный станок (1440)	Появление средства распространения знаний
Первые пружинные часы (1450)	Изобретение индивидуального средства для контроля за временем	Первый микроскоп (1600)	Формирование инструментария для исследования строения вещества
Первый телескоп (1609)	Изобретение прибора для изучения космического пространства	Первая суммирующая машина (1645)	Возникновение средств механизующего процесса обработки информации
Первый арифмометр (1694)	Начало механизации процесса обработки информации	Создание двоичной системы исчисления (1703)	Важнейшая предпосылка для автоматизации процесса обработки информации
Создание скоропечатной машины (1811)	Усиление потенциала для массового распространения информации	Первый примитивный фотоаппарат на основе камеры-обскуры (1816)	Фиксация визуальной информации
Создание первой электрической лампочки накаливания (1820)	Значительное расширение видимой части суток	Создание разностной вычислительной машины (1822)	Усиление возможностей человека по обработке информации
Первые безналичные банковские расчёты (1824)	Ускорение денежного обращения	Создание телеграфного аппарата Морзе (1837)	Усиление возможностей коммуникации человека на расстоянии
Первые опыты по передаче звуковых сигналов с помощью электрического тока (1837)	Формирование основы для фиксации и передачи звуковой информации	Создание пишущей машинки с рычажной передачей (1843)	Формирование основы механизации процессов фиксации информации
Создание магнитоэлектрического реле как основы автоматизации производства (1850)	Преддверие автоматизации производства	Открытие способа фотографирования и обработки фотоматериалов, близкого к использовавшемуся в XX веке (1851)	Преддверие массового применения фотографии
Изобретение микрофона (1877)	Начало записи и передачи звуковой информации	Изобретение целлулоидных фотопластин (1884)	Начало массового применения фотографии
Изобретение граммофона (1887)	Создание предпосылки для воспроизведения звуковой информации	Изобретение целлулоидной фотоплёнки (1889)	Предпосылка для массового распространения фотографии и кино
Изобретение хронофотографического аппарата и ленточного проектора с перфорированной целлулоидной плёнкой (1889)	Предпосылка для создания кино	Изобретение киносъёмочного аппарата и кинопроектора (1895)	Начало использования кино
Создание электронно-лучевой трубки (1896)	Создание предпосылки для развития телевидения	Создание граммофонной пластинки (1896)	Начало записи и воспроизведения звуковой информации

Продолжение табл. 1

1	2	1	2
Создание концепции телевидения (1907)	Предпосылка развития телевидения	Разработка системы электронного телевидения (1923)	Начало массового использования телевидения
Открытие пенициллина (1928)	Начало использования анти-микробных свойств антибиотиков	Предложен метод записи информации на пластиковую магнитную ленту (1935)	Начало массовой записи и воспроизводства информации
Начало телевизионного вещания (1936)	Начало массового использования телевидения	Создание первой релейной вычислительной машины (1938)	Начало использования автоматической обработки информации
Создание первой ЭВМ на электронных лампах (1942)	Предпосылка создания массовой машинной обработки информации	Создание науки кибернетики (1948)	Формирование принципов сбора, хранения, преобразования и использования информации в машинах, живых организмах и их объединениях
Создание первой промышленной ЭВМ (1952)	Начало промышленной машинной обработки информации	Создание первых транзисторов (1952)	Предпосылка создания транзисторных компьютеров
Создание ЭВМ на транзисторах (1958)	Начало производства и использования транзисторных ЭВМ	Первая интегральная схема (1958)	Предпосылка создания компьютеров на интегральных схемах
Первый компьютер на интегральных схемах (1964)	Начало выпуска компьютеров современного типа	Первые светодиоды, пригодные для передачи светового сигнала на большие расстояния (1970)	Предпосылка для создания оптоволоконной системы связи
Создание компьютерного языка Пролог, позволяющего сочетать использование логики с предоставлением знания (1972)	Предпосылка создания искусственного интеллекта	Реализация программы спутниковой навигации (1974)	Начало спутниковой идентификации расположения объектов в пространстве
Выпуск первого персонального компьютера (1976)	Начало массового использования компьютеров	Первая система автоматического проектирования – САПР (1982)	Начало автоматизации умственных работ
Использование искусственного интеллекта в различных производственных сферах (2000)	Начало промышленного использования самоуправляемых производственных систем	Метки радиочастотной идентификации (2000)	Предпосылка к созданию «интернета вещей»
Самовоспроизводимый робот (2008)	Начало формирования самовоспроизводящихся производственных систем	Создание искусственных органов человека, нейронов, генетического механизма (2010)	Предпосылка создания киборга
Формирование «облака» – системы суперкомпьютеров и больших баз данных (2011)	Возникновение глобальной системы памяти	Переход на массовое (до 99 %) использование цифровых методов записи, хранения и воспроизводства информации (2014)	Переход на универсальный метод записи любых видов (в т. ч. визуальной, звуковой, запаховой, аналитической) информации

Продолжение табл. 1

1	2	1	2
Синергетические факторы (коммуникационные средства)			
Возникновение речи и языка (более 150 тыс. г. до н.э.)	Возникновение коммуникаций между людьми и сообществами	Первые гребные лодки (ок. 10 тыс. г. до н.э.)	Рождение водного транспорта
Возникновение письменности (4 тыс. г. до н.э.)	Значительное удлинение расстояний коммуникаций	Первые повозки (ок. 4 тыс. г. до н.э.)	Возникновение сухопутного транспорта
Первые парусные суда (ок. 3 тыс. г. до н.э.)	Возникновение парусного флота	Водный канал (ок. 3 тыс. г. до н.э.)	Начало использования искусственных водотоков для создания транспортных путей и перенаправления потока воды
Акведук, водоводы (канал, труба) (700 г. до н.э.)	Начало использования водоводов для транспортирования воды к населенным пунктам, оросительным и гидроэнергетическим системам	Создание маяка (300 г. до н.э.)	Начало использования дистанционного оповещения в навигации
Межконтинентальная экспедиция Колумба (1492)	Начало межконтинентальных транспортных коммуникаций	Первый аэростат (1783)	Зарождение воздушного транспорта
Первый пароход (1787)	Начало машинной эры на транспорте	Первая рельсовая дорога с конской тягой (1801)	Преддверие создания железнодорожного транспорта
Первый паровой автомобиль (1803)	Зарождение автотранспорта	Первый паровоз (1804)	Зарождение железнодорожного транспорта
Первый телеграфный аппарат (1809)	Значительное усиление (ускорение) коммуникационных возможностей человека	Первый паровой омнибус (1824)	Зарождение первого пассажирского транспорта, приводимого в движение машиной
Железная дорога из Дарлингтона в Стоктон (1825)	Первая межгородская ж/д коммуникация	Введение сигнальных semaфоров на железной дороге (1835)	Начало использования дистанционных коммуникационных сигналов на транспорте
Строительство телеграфной линии между Вашингтоном и Балтимором (1844)	Возможность мгновенной передачи информации между городами	Первый велосипед с педалями (1845)	Создание индивидуального транспортного средства
Создание первого телефона (1860)	Появление возможности общения в живом времени на расстоянии	Первый нефтепровод на Огайо в США (1864)	Начало промышленного использования трубопроводного транспорта
Введение семафорной азбуки на флоте (1869)	Создание визуальной системы дистанционного информационного общения	Первый планер (1871)	Создание летательного аппарата тяжелее воздуха
Первая электропередача между Мисбахом и Мюнхеном в Германии (1882)	Начало эксплуатации линий электропередач	Строительство первой линии электропередачи на значительное расстояние (1882)	Обеспечение массового использования электроэнергии
Открытие электромагнитных волн и внешнего фотоэффекта (1886)	Создание предпосылки для беспроводного использования информации	Первый автомобиль (1891)	Начало массового использования автотранспорта

Продолжение табл. 1

1	2	1	2
Изобретение первого радиоприёмника (1895)	Начало беспроводной передачи звуковой информации	Открытие рентгеновских лучей (1895)	Предпосылка для использования фотохимического метода анализа внутренней структуры вещества в здравоохранении и промышленности
Первая радиопередача через Атлантический океан (1901)	Реализация межконтинентной беспроводной коммуникации	Первый аэроплан (1903)	Начало управляемых полётов аппаратов тяжелее воздуха
Первый дизель-электроход (1903)	Усиление мощности и повышение эффективности морского транспорта	Испытание первого радара (1905)	Преддверие дистанционной координации транспорта в пространстве
Установлена регулярная радиосвязь между Европой и Америкой (1907)	Формирование устойчивой радиокommunikации между континентами	Первый вертолёт (1924)	Новый вид воздушного транспорта
Первая телевизионная передача движущегося изображения (1925)	Реализация визуальной коммуникации на расстоянии	Первая ракета с жидкостным реактивным двигателем (1926)	Освоение нового вида коммуникаций
Научное обоснование идеи радара (1933)	Предпосылка к контролю за нахождением объектов в пространстве	Создание первой радиолокационной станции (1935)	Начало контроля за нахождением объектов в пространстве
Начало регулярного телевизионного вещания (1938)	Устойчивая визуально-звуковая коммуникация	Первый турбореактивный самолёт (1939)	Возрастание скорости и дальности авиации
Первый искусственный спутник Земли (1957)	Начало эры космических коммуникаций	Первый пилотируемый космический полёт (1961)	Начало пилотируемых космических полётов
Выпуск первого промышленного прототипа дрона (1969)	Начало беспилотных авиа-коммуникаций	Первая орбитальная космическая станция (1971)	Начало пилотируемых орбитальных коммуникаций
Первая беспроводная передача пакета данных между компьютерами (1971)	Начало беспроводной передачи информации между компьютерами	Первый мобильный телефон (1973)	Начало мобильной связи
Старт программы спутниковой навигации – GPS (1973)	Начало функционирования спутниковой системы глобального позиционирования	Возникновение «интернета вещей» (1973)	Начало сетевых компьютерных коммуникаций
Испытан первый беспилотный автомобиль (1984)	Начало беспилотных автомобильных коммуникаций	Начало действия планетной системы «Биткойн» (2009)	Начало действия децентрализованной системы «криптовалют» для прямых межсубъектных финансовых коммуникаций
Эксплуатация «интернета вещей» (2012)	Начало эксплуатации киберфизических систем без участия человека	Запуск различных систем «интернета вещей» (2012)	Начало массового использования самоуправляемых производственных систем

Таблица составлена по материалам: [1, 4, 5, 15, 16, 24, 28, 33, 37, 40, 46, 49]; а также статьи Википедии по темам: [2, 3, 6, 7, 11, 13, 14, 17–19, 26, 27, 29, 31, 35, 36, 38, 39, 41–43, 50].

Как видим, даже краткое и далеко не полное перечисление инновационных вех в истории развития человечества потребовало многостраничного описания. При желании по большинству из указанных инноваций (скажем, изобретению машины, освоению автомобиля, становлению авиации, использованию электричества или развитию компьютерной техники) можно составить не менее объемные таблицы, характеризующие события, которые в конечном счёте поэтапно формировали каждое из явлений.

За каждой из упомянутых инноваций – большие и малые фазовые переходы, которые коренным образом изменили жизнь и деятельность людей, трансформировав среду их быта, условия, трудовых процессов, масштабность времени и пространства реализуемых коммуникаций. Накапливаясь, последствия упомянутых фазовых переходов готовят предпосылки для более масштабных явлений – фазовых переходов эпохального уровня.

Эпохальные фазовые переходы связаны с кардинальным изменением характера метаболизма между человеком и природой. Так, после фазового перехода времён неолитической революции человек перешел от потребления готовых природных материалов (главным образом пищи) к их производству посредством приложения своего труда. После фазового перехода времен Первой и Второй промышленных революций ведущим природным фактором, к которому человек стал прикладывать свой труд в ходе машинного производства необходимых ему средств существования, стала энергия. При современном фазовом переходе ведущим фактором приложения труда человека становится информация. В таблице 2 дан сравнительный анализ базовых факторов социально-экономических формаций, возникающих в результате упомянутых фазовых переходов (подробно – в [25]).

Таблица 2

Основные экономические, социальные и экологические характеристики трёх социально-экономических формаций [25]

Параметр	Формация		
	постнеолитическая	промышленная	информационная
Базовые природные субстанции	вещество	энергия	информация
Доминантная система в триаде человека	био-	трудо-	социо-
Превалирующие функции природы по отношению к человеку	физиологическая	экономическая	социальная, экологическая
Превалирующий тип потребления	материальный	материально-энергетический	информационный
Базовые факторы производственной системы	труд / природа	машина	информация
Базовые факторы структуризации общества	труд / земля (природа)	капитал	информация
Координирующий класс (социальная группа) в обществе	рабовладельцы, феодалы	буржуазия	интеллектуальная элита
Базовая форма производственных отношений	силовое принуждение	экономические соглашения	свободный труд
Доминантный тип отношений «человек – природа»	зависимость человека от природы	попытки покорения природы	гармоничные отношения
Основная причина экологического кризиса	истощение продуцентного потенциала природы	разрушение ассимиляционного потенциала, перепроизводство энергии	перепроизводство информации, информационные деструкции

Эволюция сущности человека. Возможно, самым важным моментом является то, что в ходе каждого эпохального фазового перехода коренным образом изменялась внутренняя сущность самого человека. Так, в результате «когнитивной» революции, случившейся, по мнению Ю. Н. Харари [48], около 70 тыс. лет назад в человеке произошли изменения, выделившие его среди других представителей животного мира.

Слово «когнитивный» (от лат. *cognitio* – восприятие, познание) в сочетании со словом «революция» предполагает изменение функций мозга, которые обеспечивают формирование понятий, оперирование ими и становление способности человека приобретать новые знания [12, 47]. Основным итогом «когнитивной» революции, по убеждению Ю. Н. Харари, является формирование у *sapiens* абстрактного мышления, позволяющего формировать картину окружающего мира в отрыве от реальной действительности. Это давало неоспоримые преимущества в борьбе с конкурентами. «Только сапиенсы, – заключает Ю. Н. Харари, – умеют обсуждать вещи гипотетические... Чтобы выжить, требовалось мысленно составить и хранить подробную карту местности, знать о природных циклах всех растений и повадках всех животных на твоей территории, следить за сменой времён года, признаками грозы или засухи» [48]. Абстрактное мышление дало возможность освоить сложный язык общения, решение коллективных задач, изображение окружающей действительности в различных видах искусства.

По мнению известного изобретателя, футуролога, технического директора GOOGLE Рея Курцвейла, абстрактное мышление поднимает человека на новый уровень. «Мы можем мыслить иерархически, понимать строение форм и рисунков, состоящих из разных элементов, представлять эти структуры в виде символов и использовать символы в ещё более сложных структурах... У человека эта способность развита настолько сильно, что можно говорить не о рисунках и формах, а об идеях. Путём бесконечного рекурсивного процесса мы способны создавать ещё более сложные идеи... Только *Homo sapiens* обладает знаниями, которые эволюционируют, растут по экспоненциальному закону и передаются от одного поколения к другому» [20].

Заглянем, однако, глубже в содержание рассматриваемого явления. Для человека «когнитивная» революция означала возникновение в нём принципиально новой сущности, которая может быть названа *личностным началом*. Это явилось следствием революции в организме человека. В концентрированном виде она может быть сформулирована следующим образом. Мозг человека из вспомогательного органа, обслуживающего функции основных систем организма, т.е. тех, которые обеспечивают энергомассообменные процессы и движение (органы пищеварения, дыхания, сердечно-сосудистой системы, мышцы и нервная система), превратился в основной орган, заставивший работать на себя все системы организма.

Отныне не только физическое существование «био», но и эмоции *личности* (назовём это условно «социо») станут основой функционирования организма. Теперь человеку мало будет «хлеба», он будет требовать также и «зрелищ!» Ради последних зачастую будет готов и поголодать.

Отныне человек из преимущественно материального существа (чьё развитие контролируется генетическим механизмом его организма) станет постепенно превращаться в преимущественно информационное существо (чьё развитие обеспечивается и направляется обществом. Отсюда и его условное обозначение – «социо»).

Новый феномен, который возник в организме человека, будет со временем назван «личностью». Он представляет собой своеобразный нематериальный

(информационный) фантом, характеризующий человека как субъекта сознательной (интеллектуальной) деятельности и общественных отношений (комплекс социально значимых черт).

Личностный феномен вырос из «ростков» способности отдельных животных мысленно (информационно) «опережать» (предвидеть) события и мыслить в отрыве от реального хода времени. Другим фактором, оказавшим воздействие на формирование личности, стала необходимость согласовывать своё поведение с интересами всего сообщества. Человек – единственный из живых существ, кто смог сформировать своё *личностное начало* как цельную системную сущность, обладающую способностью к развитию (подробней – в [23]). Создаются предпосылки возникновения религии. Человек теперь обладает инструментарием – абстрактным мышлением – верить во что-то, что существует за пределами наблюдаемой реальности. При этом первые боги преимущественно имели вид обитаемых в природе животных.

Неолитическая революция, положившая начало целенаправленной трудовой деятельности человека, внесла новые коррективы в сущностную основу человека. В ней возникло и стало развиваться по мере формирования хозяйственной деятельности новое системное начало – человек «трудо».

Начало периода культивирования растений и одомашнивания животных оценивается ориентировочно в пределах 10 тыс. лет до н.э. [10]. Осваиваются аграрные технологии, появляется разделение труда, создаются новые средства производства, разрабатываются методы организации труда, строятся оседлые поселения, человек становится менее зависим от окружающей природы. Закладываются материальные и духовные основы цивилизации. После появления (к III тысячелетию до н.э.) письменности коренным образом изменяются материальная, художественная и религиозная стороны жизни людей. При переходе от первобытной охоты к земледелию зооморфные боги заменяются антропоморфными. На смену старых культов приходят новые.

Следует сделать одну важную оговорку. В эпоху неолита человек «трудо», который собственно планировал и организовывал трудовую деятельность, а также создавал орудия производства, в полной мере нашёл своё прибежище лишь в незначительной части представителей сапиенс. Остальная часть рода человеческого участвовала в трудовых процессах, реализуя в качестве рабов свою рабочую силу, т.е. мало отличалась по своим функциям от одомашненных животных – тех же лошадей или буйволов.

Робкие ростки трудовых функций, появившиеся в период неолита, дали буйную «поросль» в индустриальную эпоху, когда для подавляющей части населения развитых стран в триаде личностных начал (био-трудо-социо) именно человек «трудо» стал определять доминирующие жизненные ориентиры индивидов и целых коллективов, а также отношений в обществе. Это его цели и задачи, мотивы деятельности, личные устремления, ритм и стиль жизни сформировали контуры социально-экономических систем во второй половине XX века.

Но в самом «трудо», реализуемом через синтез физических способностей человека «био» и личностных качеств человека «социо» (т.е. через физический и умственный труд), всё более весомую роль играли информационные черты последнего, пока не заняли к исходу индустриальной эпохи доминирующие позиции.

Эти, ставшие столь рельефными, контуры информационной сущности человека «социо» в его целостной триаде и формируют стартовую площадку для нового фазового перехода к постиндустриальной – информационно-сетевой формации. Ведь развитие

личностного начала человека призвано занять ведущее место в системе целей и ценностей грядущего общества. При этом все жизненные потребности человека должны будут удовлетворяться автоматизированными киберфизическими системами (в том числе через «интернет вещей»). Человек, таким образом, может быть освобождён от участия в рутинных производственных операциях во имя развития в нём упомянутого личностного (социального) начала и его творческих способностей.

Сказанное, впрочем, характеризует лишь одну из возможных эволюционных траекторий человечества. Для реализации данного сценария необходимо, чтобы состоялось одно из важнейших условий, а именно: должен быть преодолен фазовый барьер. Основная часть его компонентов находится внутри самого человека.

Эта, возможно, кажущаяся близость объекта преодоления, отнюдь не делает упомянутую задачу ни более лёгкой, ни более разрешимой. Вопрос, увы, остаётся открытым: смогут ли миллиарды людей в отсутствие условного «начальника» и очевидных стимулов ежедневно преодолевать свой внутренний барьер из многочисленных комплексов, унаследованных из прошлой жизни их предков, чтобы проделывать постоянную работу над собой для совершенствования их личностного начала. В противном случае процесс может привести человечество к быстрой деградации. Впрочем, не следует сбрасывать со счетов и возможности общества по контролю за поведением своих членов, в том числе и через сигнальные системы, включая третья из них – воздействие через социальные установки.

Как бы там ни было, но первые результаты стремительного хода Третьей и Четвертой промышленных революций (лавинообразный процесс развития «зелёной» энергетики, электрификация транспорта, быстрое освоение аддитивных технологий, переход на «цифру», возникновение «облака» как единой глобальной системы памяти, внедрение искусственного интеллекта и «умных» машин, киборгизация человека, старт «интернета вещей» и многое другое) создают впечатление «неслучайности» происходящих событий. Это, в свою очередь, оставляет некоторую надежду на то, что и сам человек займёт в грядущем мире достойное место.

Однако, чтобы решить сложнейшие проблемы фазового перехода, у человека остаётся чрезвычайно мало времени. Ведь сам фазовый переход уже начался и решать возникающие проблемы придётся «на ходу».

Заключение. Сказанное позволяет сделать выводы, что фазовые переходы (т.е. скачкообразное изменение свойств системы при непрерывном изменении внешних факторов) являются неотъемлемым условием развития природных и общественных систем. После ФП свои новые параметры любая система обретает произвольно, но строго в рамках существующего фундаментального критерия. Он формулируется следующим образом: параметры системы должны обеспечивать в процессах её функционирования минимум производства энтропии при данных условиях внешней среды.

ФП системы на новый уровень может состояться только в том случае, если адекватно будут перестроены характеристики всех трёх начал, формирующих содержание системы: материально-энергетического, информационного и синергетического.

Особенностью социально-экономических систем является активная роль человека, влияющего своим трудом на изменение условий внешней среды и на формирование необходимых предпосылок для ФП в самих системах. В ходе эпохальных фазовых переходов, изменяющих облик человеческой цивилизации в сущностной триаде человека (био-трудо-социо), центр тяжести постепенно смещается от «био» через

«трудо» к «социо». В новой информационно-сетевой формации последнее начало занимает ведущее место.

Развитие именно личностного начала человека должно стать ведущим в системе целей и ценностей грядущего общества. Впервые в истории человечества в условиях полной автоматизации производства (в том числе через «интернет вещей») человек может освободиться от рутинного труда для полного удовлетворения своих жизненных потребностей ради развития его творческого начала. Вопрос, однако, остаётся открытым: в какой мере миллиарды людей на планете смогут преодолеть свой внутренний барьер из многочисленных комплексов, сформированных укладами прежней жизни рода людского, которые ограничивали роль человека обязанностями подневольного исполнителя. Пусть даже зачастую эта подневольность носила характер зависимости от условий конкуренции или просто диктовалась необходимыми обстоятельствами выживания. В любом случае непреодоление данного фазового барьера может привести человечество к быстрой деградации.

Первые результаты стремительного хода Третьей и Четвертой промышленных революций (создание альтернативной энергетики, внедрение аддитивных технологий, «цифровизация» информационных систем, приход искусственного интеллекта и «умных» сетей, формирование горизонтальных производственно-потребительских сетей, возникновение «облака» как системы глобальной памяти и др.) оставляют надежду на то, что и гуманитарная проблема строительства полноценного человека «социо» будет успешно решена.

Литература

1. *Азимов, А.* Краткая история химии: развитие идей и представлений в химии / А. Азимов / пер. с англ. – Санкт-Петербург : Амфора, 2000. – 369 с.
2. *Акведук* [Электронный ресурс]. – Википедия. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Акведук>. (Актуально на 20.03.2019).
3. *Банк* [Электронный ресурс]. – Википедия. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Банк>. (Актуально на 20.03.2019).
4. *Большой экономический словарь* / под ред. А. Н. Азрилияна. – М. : Институт новой экономики, 2007. – 1472 с.
5. *Большой энциклопедический справочник*. – М. : Русское энциклопедическое товарищество, 2003. – 576 с.
6. *Бронза* [Электронный ресурс]. – Википедия. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Бронза>. (Актуально на 20.03.2019).
7. *Ветряная мельница* [Электронный ресурс]. – Википедия. – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/Ветряная_мельница. (Актуально на 20.03.2019).
8. *Возобновляемая энергия стала дешевле нефти и газа уже в 30 странах*. – DW. Made for minds. – Режим доступа : <http://www.dw.com/ru/возобновляемая-энергия-стала-дешевле-нефти-и-газа-уже-в-30-странах/a-36916469>. (Актуально на 25.10.2017).
9. *Гарин, И.* Фазовые переходы в экономике [Электронный ресурс] / И. Гарин. – Проза.ru, 2017. – Режим доступа : <https://www.proza.ru/2017/10/14/1107>. (Актуально на 20.03.2019).
10. *Глобалистика: энциклопедия* / гл. ред. И. И. Мазур, А. Н. Чумаков. – Москва : Центр научных и прикладных программ «Диалог», ОАО Издательство «Радуга», 2003. – 1328 с.
11. *Деньги* [Электронный ресурс]. – Википедия. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Деньги>. (Актуально на 20.03.2019).
12. *Джери, Де.* Большой толковый социологический словарь (Collins) / Де Джери, Дж. Джери. – Том 1 (А–О) / пер. с англ. – Москва : Вече, АСИ, 2001. – 544 с.
13. *Железо* [Электронный ресурс]. – Википедия. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Железо>. (Актуально на 20.03.2019).

14. *Изобретение* транзистора [Электронный ресурс]. – Википедия. – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/Изобретение_транзистора. (Актуально на 20.03.2019).
15. *История* возникновения телефона и мобильной связи [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://kpk-user.ru/articles/1207-istorija-vozniknovenija-telefona-i-mobilnoj.html>. (Актуально на 11.05.2011).
16. История персональных компьютеров [Электронный ресурс]. – Wikizero. – Режим доступа : https://www.wikizero.com/ru/Персональные_компьютеры. (Актуально на 20.03.2019).
17. *Канал* [Электронный ресурс]. – Википедия. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Канал>. (Актуально на 20.03.2019).
18. *Каучуки* [Электронный ресурс]. – Википедия. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Каучуки>. (Актуально на 20.03.2019).
19. *Криптовалюта* [Электронный ресурс]. – Википедия. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Криптовалюта>. (Актуально на 20.03.2019).
20. Курцвейл, Р. Эволюция разума, или бесконечные возможности человеческого мозга, основанные на распознавании образов / Р. Курцвейл / пер. с англ. – Москва : Эксмо, 2018. – 352 с.
21. Люлёв, А. В. Интерпретация фазовых переходов в экономических системах / А. В. Люлёв // Механизм регулирования экономики. – 2007. – № 3. – С. 179–183.
22. Махмутов, А. Р. Фазовые переходы в экономике, 2008 [Электронный ресурс] / А. Р. Махмутов. – Режим доступа : http://www.rusnauka.com/24_SVMN_2008/Economics/26922.doc.htm. (Актуально на 20.03.2019).
23. Мельник, Л. Г. Методология развития : монография / Л. Г. Мельник. – Сумы : Университетская книга, 2005. – 602 с.
24. Мельник, Л. Г. Рождение сестейновой экономики: опыт ЕС и практика Украины в свете III и IV промышленных революций : монография / Л. Г. Мельник. – Сумы : Университетская книга, 2018. – 432 с.
25. Мельник, Л. Г. Предпосылки формирования информационного общества // Социально-экономические проблемы информационного общества / под ред. Л. Г. Мельника. – Сумы : Университетская книга, 2005. – С. 60–87.
26. *Мочевина* [Электронный ресурс]. – Википедия. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Мочевина>. (Актуально на 20.03.2019).
27. *Нанотехнология* [Электронный ресурс]. – Википедия. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Нанотехнология>. (Актуально на 20.03.2019).
28. *Новый* политехнический словарь / под ред. А. Ю. Ишлинского. – М. : Большая Российская энциклопедия, 2000. – 672 с.
29. *Парус* [Электронный ресурс]. – Википедия. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Парус>. (Актуально на 20.03.2019).
30. Пекар, В. А. Глобальный фазовый барьер и шанс на украинский прыжок 2010 [Электронный ресурс] / В. А. Пекар. – Режим доступа : <http://pekar.in.ua/Global%20Phase%20Barrier.htm>. (Актуально на 20.03.2019).
31. *Пластмассы* [Электронный ресурс]. – Википедия. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Пластмассы>. (Актуально на 20.03.2019).
32. Реймерс, Н. Ф. Будущее начинается вчера // Энергия: Экономика. Техника. Экология. – 1984. – № 12. – С. 33–40.
33. Реймерс, Н. Ф. Природопользование : словарь-справочник / Н. Ф. Реймерс. – М. : Мысль, 1990. – 637 с.
34. Реймерс, Н. Ф. Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы) / Н. Ф. Реймерс. – М. : Россия молодая, 1994. – 367 с.
35. *Рентгеновское* излучение [Электронный ресурс]. – Википедия. – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/Рентгеновское_излучение. (Актуально на 20.03.2019).
36. *Речь* [Электронный ресурс]. – Википедия. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Речь>.
37. Рыжов, К. В. Сто великих изобретений / К. В. Рыжов. – Москва : Вече, 2004. – 528 с.

38. *Селитра* [Електронний ресурс]. Вікіпедія. – Режим доступу : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Селитра>. (Актуально на 20.03.2019).
39. *Система* автоматизованного проектування [Електронний ресурс]. – Вікіпедія. – Режим доступу : https://ru.wikipedia.org/wiki/Система_автоматизованного_проектування. (Актуально на 20.03.2019).
40. *Советский* енциклопедический словарь / гл. ред. А. М. Прохоров – 4-е изд. – М. : Сов. энциклопедия, 1989–1990. – 1632 с.
41. *Сталь* [Електронний ресурс]. – Вікіпедія. – Режим доступу : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Сталь>. (Актуально на 20.03.2019).
42. *Судоходство* в Древнем Египте [Електронний ресурс]. – Вікіпедія. – Режим доступу : https://ru.wikipedia.org/wiki/Судоходство_в_Древнем_Египте. (Актуально на 20.03.2019).
43. *Транзистор* [Електронний ресурс]. – Вікіпедія. – Режим доступу : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Транзистор>. (Актуально на 20.03.2019).
44. *Турлікьян, Т.* У 2015 році 42 % всіх енергопотреб Данії були забезпечені енергією вітру [Електронний ресурс] / Т. Турлікьян. – Ecotown, 17.01.2016. – Режим доступу : <http://ecotown.com.ua/news/U-2015-rotsi-42-vsikh-enerhopotreb-Daniyi-buly-zabezpecheni-enerhiyeu-vitru/>. (Актуально на 15.05.2017).
45. *Федосенко, Н.* В Чилі зафіксована рекордно низька ціна на сонячну енергію – вдвічі нижча за вугільну [Електронний ресурс] / Н. Федосенко. – Ecotown, 25.08.2016. – Режим доступу : <http://ecotown.com.ua/news/V-CHyli-zafiksovana-rekordno-nyzka-tsina-na-sonyachnu-enerhiyu-vdvichi-nyzhcha-za-vuhilnu/>. (Актуально на 01.10.2016).
46. *Физический* энциклопедический словарь / гл. ред. А. М. Прохоров. – Москва : Большая российская энциклопедия, 1995. – 928 с.
47. *Философский* энциклопедический словарь / гл. редакция С. С. Аверинцев, Л. Ф. Ильичёв, П. Н. Федосеев, С. М. Ковалёв, В. Г. Панов. – Москва : Советская энциклопедия, 1989. – 815 с.
48. *Харари, Ю. Н.* Sapiens. Краткая история человечества / Ю. Н. Харари. – Москва : Синдбад, 2017. – 520 с.
49. *Экономическая* энциклопедия / гл. ред. Л. И. Абалкин. – М. : Экономика, 1999. – 1055 с.
50. *Электрический* двигатель [Електронний ресурс]. – Вікіпедія. – Режим доступу : https://ru.wikipedia.org/wiki/Электрический_двигатель. (Актуально на 20.03.2019).
51. *Bolton, D.* People in Germany are now being paid to consume electricity : The price of power in Germany briefly dropped to -€130 per MWh on 8 May [Electronic resource] / D. Bolton. – INDEPENDENT, 11.05.2016. – Accessed mode : <http://www.independent.co.uk/environment/renewable-energy-germany-negative-prices-electricity-wind-solar-a7024716.html>. (Accessed on 01.10.2016).
52. *Boulding, K. E.* The economics of the coming Spaceship Earth / K. E. Boulding // Classics in environmental studies. An overview of classic texts in environmental studies / Editors : N. Nelisse, J. Van Den Straaten and L. Klinkers. Amsterdam, the Netherland, 1997. – P. 218–228.
53. *Coren, M. J.* Germany had so much renewable energy on Sunday that it had to pay people to use electricity [Electronic resource] / M. J. Coren. – Quartz, 10.05.2016. – Accessed mode : <http://qz.com/680661/germany-had-so-much-renewable-energy-on-sunday-that-it-had-to-pay-people-to-use-electricity/>. (Accessed on 01.10.2016).
54. *Denmark* Just Produced 140 % of its Electricity Needs with Renewable Wind Power [Electronic resource] // EARTH. WE ARE ONE / History & Exopolitics. 2015. – Accessed mode : <http://www.ewao.com/a/1-denmark-just-produced-140-of-its-electricity-needs-with-renewable-wind-power/>. (Accessed on 01.10.2015).
55. *Digital* Revolution [Electronic resource]. – Accessed mode : https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Revolution. (Accessed on 10.03.2017).
56. *Hill, J.* Renewable Energy Now Accounts For 30% Of Global Power Generation Capacity [Electronic resource] / J. Hill. – CleanTechnica, 20.09.2016. – Accessed mode : <https://cleantechica.com/2016/09/20/renewable-energy-now-accounts-30-global-power-generation-capacity/>. (Accessed on 01.10.2016).

57. Johnston, A. Portugal runs on 100 % renewables for 4 days [Electronic resource] / A. Johnston. – Clean Technica, 21.05.2016. – Accessed mode : <https://cleantechnica.com/2016/05/21/100-renewable-electricity-portugal-4-days/>. (Accessed on 01.10.2016).
58. Rifkin, J. Zero Marginal Cost Society : The Internet of Things, the Collaborative Commons, and the Eclipse of Capitalism / J. Rifkin. – New York : St. Martin's Griffin Publisher, 2015. – 448 p.
59. Schwab, K. The Fourth Industrial Revolution [Electronic resource] / K. Schwab. – World Economic Forum. – Accessed mode : <https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab>. (Accessed on 01.03.2016).
60. Scotland Just Generated More Power Than It Needs From Wind Turbines Alone) [Electronic resource]. – Science alert, 12.08.2016. – Accessed mode : <http://www.sciencealert.com/scotland-just-generated-more-power-than-it-needs-from-wind-turbines-alone>. (Accessed on 01.10.2016).

Получено 05.02.2019 г.

**Анатомія фазових переходів в економічних системах:
підприємство, регіон, макроекономіка**

ЛЕОНІД ГРИГОРОВИЧ МЕЛЬНИК*

** доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри економіки, підприємництва та
бізнес-адміністрування Сумського державного університету,
директор Науково-дослідного інституту економіки розвитку МОН України і НАН України
у складі Сумського державного університету,
вул. Р.-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна,
тел.: 00-380-542-332223, e-mail: melnyk@econ.fem.sumdu.edu.ua*

Виконано змістовний аналіз категорій: «фаза», «фазовий перехід», «фазовий бар'єр». Під фазою розуміється однорідна частина різнорідної системи, відокремлена від інших частин поверхнею розділу. Фазовий перехід означає стрибкоподібну зміну властивостей системи при безперервній зміні факторів зовнішнього середовища. Під фазовим бар'єром розуміють комплекс передумов, необхідних для реалізації системою фазового переходу. Досліджено триалектичний механізм реалізації фазових переходів через зміни трьох груп взаємопов'язаних і взаємообумовлених системоформувальних чинників: матеріально-енергетичних, інформаційних і синергетичних. Необхідною умовою фазового переходу є формування необхідних передумов, тобто відповідних параметрів системи у всіх трьох групах факторів. Визначаються передумови для реалізації фазового переходу до постіндустріальної формації: створення альтернативної енергетики з масовим акумулюванням енергії, формування нової виробничої основи на базі адитивних технологій і 3D-принтерів, створення єдиної («цифрової») основи використання інформації, формування «хмари» як глобальної системи пам'яті, застосування штучного інтелекту і «розумних» кіберфізичних систем, тотальна мережизація систем на основі Інтернету, формування горизонтальних виробничо-споживчих структур. Розглянуто особливості ФП в економічних системах і аналізується роль людини в їх розвитку і трансформації. Аналізується еволюція тріади сутнісних начал людини (біо-трудо-соціо) в ході епохальних фазових переходів в історії цивілізації. Наводяться приклади реалізації фазових переходів в історії розвитку економічних систем. Відзначається каталізуюча роль природних чинників у виникненні ФП. Наводяться факти, що характеризують хід перебігу сучасного фазового переходу.

Ключові слова: фаза, фазовий перехід, фазовий бар'єр, економічна система, зовнішнє середовище, економічні відносини.

*Mechanism of Economic Regulation, 2019, No 1, 6–32
ISSN 1726-8699 (print)*

**Anatomy of Phase Transitions in Economic Systems:
Enterprise, Region, Macroeconomics**

LEONID H. MELNYK*

** Dr. (Economics), Professor, Head of Department of Economics, Entrepreneurship and Business-Administration, Director of Research Institute for Development Economics (IDE) at Sumy State University, Ministry of Education and Science of Ukraine, National Academy of Science of Ukraine, R.-Korsakova Str., 2, Sumy, 40007, Ukraine, phone: 00-380-542-332223, e-mail: melnyk@econ.fem.sumdu.edu.ua*

Manuscript received 05 February 2019

The article analyzes the content of such categories as “phase”, “phase transition”, and “phase barrier”. Phase is understood as a homogeneous part of a heterogeneous system, separated from other parts by an interface. Phase transition means an intermittent change in a system’s properties with a continuous change in environmental factors. Phase barrier means the complex prerequisites needed for a system’s implementation of phase transition. The research investigates the trialectic mechanism for the implementation of phase transition through changes in the three groups of interrelated and interdependent system-forming factors: material (including energy), information and synergetic. The formation of the needed prerequisites, i.e. relevant system’s parameters in all three groups of factors, is a necessary condition for phase transition. The article distinguishes prerequisites for phase transition to the post-industrial formation. These are the following: the creation of alternative energy with mass energy storage, the formation of a new production basis based on additive technology and 3D printers, the creation of the universal (“digital”) basis for the use of information, the formation of a “cloud” as a global memory system, the use of artificial intelligence and “smart” cyber-physical systems, the total network integration of systems on the basis of Internet, the formation of horizontal production-consumer structures, etc. The article reveals phase transition features in economic systems and analyzes the role of man in their development and transformation. The article examines the evolution of the triad of the essential origins of man (bio-labor-socio) during epochal phase transitions in the history of civilization. The research shows examples of the implementation of phase transitions in the history of economic systems. It distinguishes the catalytic role of natural factors in PT and presents the facts that characterize the course of the current phase transition.

Keywords: phase, phase transition, phase barrier, economic system, external environment, economic relations.

JEL Codes: E00, E02

Tables: 2; *Figure:* 1; *References:* 60

Language of the article: Russian

References

1. Azimov, A. (2000). *Kratkaya istoriya khimii: razvitiye idey i predstavleniy v khimii* [A brief history of chemistry: the development of ideas and concepts in chemistry]. Sankt-Peterburg: Amfora, 369.
2. Akveduk [Aqueduct]. Retrieved from <https://ru.wikipedia.org/wiki/Акведук>. Available 20.03.2019.
3. Bank [Bank]. Retrieved from <https://ru.wikipedia.org/wiki/Банк>. Available 20.03.2019.
4. *Bolshoy ekonomicheskii slovar* [Large economic dictionary] (2007). M.: Institut novoy ekonomiki, 1472.
5. *Bolshoy entsiklopedicheskiy spravochnik* [Great Encyclopedic Reference] (2003). M.: Russkoye entsiklopedicheskoye tovarishchestvo, 576.
6. Bronza [Bronze]. Retrieved from <https://ru.wikipedia.org/wiki/Бронза>. Available 20.03.2019.
7. Vetryanaya melnitsa [Windmill]. Retrieved from https://ru.wikipedia.org/wiki/Ветряная_мельница. Available 20.03.2019.
8. Vozobnovlyayemaya energiya stala deshevle nefi i gaza uzhe v 30 stranakh [Renewable energy has become cheaper than oil and gas already in 30 countries]. Retrieved from <http://www.dw.com/ru/возобновляемая-энергия-стала-дешевле-нефти-и-газа-уже-в-30-странах/a-36916469>. Available 25.10.2017.
9. Garin, I. Fazovyye perekhody v ekonomike [Phase transitions in the economy]. Retrieved from <https://www.proza.ru/2017/10/14/1107>. Available 20.03.2019.

10. *Globalistika: entsiklopediya* [Global studies: encyclopedia] (2003). Moskva: Tsentr nauchnykh i prikladnykh programm «Dialog», OAO Izdatelstvo «Raduga», 1328.
11. Dengi [Money]. Retrieved from <https://ru.wikipedia.org/wiki/Деньги>. Available 20.03.2019.
12. Dzheri, De, Dzheri, Dzh. (2001). Bolshoy tolkovyy sotsiologicheskii slovar [Big explanatory sociological dictionary]. M.: Veche. ASI, 544.
13. Zhelezo [Iron]. Retrieved from <https://ru.wikipedia.org/wiki/Железо>. Available 20.03.2019.
14. Izobreteniyе tranzistorа [The invention of the transistor]. Retrieved from https://ru.wikipedia.org/wiki/Изобретение_транзистора. Available 20.03.2019.
15. Istoriya vozniknoveniya telefona i mobilnoy svyazi [The history of the telephone and mobile communications]. Retrieved from <http://kpk-user.ru/articles/1207-istoriya-vozniknoveniya-telefona-i-mobilnoj.html>. Available 20.03.2019.
16. Istoriya personalnykh kompyuterov [The history of personal computers]. Retrieved from https://www.wikizero.com/ru/Персональные_компьютеры. Available 20.03.2019.
17. Kanal [Canal]. Retrieved from <https://ru.wikipedia.org/wiki/Канал>. Available 20.03.2019.
18. Kauchuki [Rubbers]. Retrieved from <https://ru.wikipedia.org/wiki/Каучуки>. Available 20.03.2019.
19. Kriptovalyuta [Cryptocurrency]. Retrieved from <https://ru.wikipedia.org/wiki/Криптовалюта>. Available 20.03.2019.
20. Kurtsveyl, R. (2018). *Evolutsiya razuma, Ili beskonechnyye vozmozhnosti chelovecheskogo mozga. osnovannyye na raspoznavanii obrazov* [Evolution of the mind, Or the endless possibilities of the human brain, based on pattern recognition]. M.: Eksmo, 352.
21. Lyulev, A. V. (2007). Interpretatsiya fazovykh perekhodov v ekonomicheskikh sistemakh [Interpretation of phase transitions in economic systems]. *Mekhanizm regulirovaniya ekonomiki*, 3, 179–183.
22. Makhmutov, A. R. (2008). Fazovyye perekhody v ekonomike [Phase transitions in the economy]. Retrieved from http://www.rusnauka.com/24_SVMN_2008/Economics/26922.doc.htm. Available 20.03.2019.
23. Melnyk, L. G. (2005). *Metodologiya razvitiya* [Development Methodology]. Sumy: Universitetskaya kniga, 602.
24. Melnyk, L. G. (2018). *Rozhdeniye sesteynovoy ekonomiki: Opyt ES i praktika Ukrainy v svete III i IV promyshlennykh revolyutsiy* [The birth of a sister economy: The EU experience and the practice of Ukraine in the light of the III and IV industrial revolutions]. Sumy: Universitetskaya kniga, 432.
25. Melnyk, L. G. (2005). Predposylki formirovaniya informatsionnogo obshchestva. In *Sotsialno-ekonomicheskiye problemy informatsionnogo obshchestva*. Sumy: Universitetskaya kniga, 60–87.
26. Mochevina [Urea]. Retrieved from <https://ru.wikipedia.org/wiki/Мочевина>. Available 20.03.2019.
27. Nanotekhnologiya [Nanotechnology]. Retrieved from <https://ru.wikipedia.org/wiki/Нанотехнология>. Available 20.03.2019.
28. Novyy politekhnicheskii slovar [New Polytechnic Dictionary] (2000). M.: Bolshaya Rossiyskaya entsiklopediya, 672.
29. Parus [Sail]. Retrieved from <https://ru.wikipedia.org/wiki/Парус>. Available 20.03.2019.
30. Pekar, V. A. Globalnyy fazovyy baryer i shans na ukrainskiy pryzhok 2010 [Global phase barrier and a chance for Ukrainian jump 2010]. Retrieved from <http://pekar.in.ua/Global%20Phase%20Barrier.htm>. Available 20.03.2019.
31. Plastmassy [Plastics]. Retrieved from <https://ru.wikipedia.org/wiki/Пластмассы>. Available 20.03.2019.
32. Reymers, N. F. (1984). Budushcheye nachinayetsya vchera [The future begins yesterday]. *Energiya: Ekonomika. Tekhnika. Ekologiya*, 12, 33–40.
33. Reymers, N. F. (1990). *Prirodopolzovaniye: slovar-spravochnik* [Nature management: dictionary reference]. M.: Mysl, 637.
34. Reymers, N. F. (1994). *Ekologiya (teoriya. zakony. pravila. printsipy i gipotezy)* [Ecology (theory, laws, rules, principles and hypotheses)]. M.: Rossiya molodaya, 367.
35. Rentgenovskoye izlucheniye [Rontgen rays]. Retrieved from https://ru.wikipedia.org/wiki/Рентгеновское_излучение. Available 20.03.2019.
36. Rech [Speech]. Retrieved from <https://ru.wikipedia.org/wiki/Речь>. Available 20.03.2019.
37. Ryzhov, K. V. (2004). *Sto velikikh izobreteniy* [One hundred great inventions]. – Moskva: Veche, 528.
38. Selitra [Saltpeter]. Retrieved from <https://ru.wikipedia.org/wiki/Селитра>. Available 20.03.2019.

39. Sistema avtomatizirovannogo proyektirovaniya [Computer-aided design system]. Retrieved from https://ru.wikipedia.org/wiki/Система_автоматизированного_проектирования. Available 20.03.2019.
40. Sovetskiy entsiklopedicheskiy slovar [Soviet Encyclopedic Dictionary] (1989–1990). M.: Sov. entsiklopediya, 1632.
41. Stal [Steel]. Retrieved from <https://ru.wikipedia.org/wiki/Сталь>. Available 20.03.2019.
42. Sudokhodstvo v Drevnem Egipte [Shipping in ancient Egypt]. Retrieved from https://ru.wikipedia.org/wiki/Судоходство_в_Древнем_Египте. Available 20.03.2019.
43. Tranzistor [Transistor]. Retrieved from <https://ru.wikipedia.org/wiki/Транзистор>. Available 20.03.2019.
44. Turlikian, T. (2016). U 2015 rotsi 42 % vsikh enerhopotreb Daniy buly zabezpecheni enerhiieiu vitru [In 2015, 42 % of all energy consumers of Dani Buli are missing from the energy market]. Retrieved from <http://ecotown.com.ua/news/U-2015-rotsi-42-vsikh-enerhopotreb-Daniyi-buly-zabezpecheni-enerhiyeyu-vitru/>. Available 15.05.2017.
45. Fedosenko, N. (2016). V Chyli zafiksovana rekordno nyzka tsina na soniachnu enerhiu – vdvichi nyzhcha za vuhilnu [Chile has a record low price for solar energy – twice lower than coal]. Retrieved from <http://ecotown.com.ua/news/V-CHyli-zafiksovana-rekordno-nyzka-tsina-na-sonyachnu-enerhiyu-ndvichi-nyzhcha-za-vuhilnu/>. Available 01.10.2016.
46. *Fizicheskii entsiklopedicheskiy slovar* [Physical Encyclopedic Dictionary] (1995). Moskva: Bolshaya rossiyskaya entsiklopediya, 928.
47. *Filosofskii entsiklopedicheskiy slovar* [Philosophical Encyclopedic Dictionary] (1989). Moskva: Sovetskaya entsiklopediya, 815.
48. Kharari, Yu. N. (2017). *Sapiens. Kratkaya istoriya chelovechestva* [Brief history of mankind]. M.: Sindbad, 520.
49. *Ekonomicheskaya entsiklopediya* [Economic Encyclopedia] (1999). M.: Ekonomika, 1055.
50. Elektricheskiy dvigatel [Electric motor]. Retrieved from https://ru.wikipedia.org/wiki/Электрический_двигатель. Available 20.03.2019.
51. Bolton, D. People in Germany are now being paid to consume electricity : The price of power in Germany briefly dropped to -€130 per MWh on 8 May (2016). Retrieved from <http://www.independent.co.uk/environment/renewable-energy-germany-negative-prices-electricity-wind-solar-a7024716.html>. Available 01.10.2016.
52. Boulding, K. E. (1997). The economics of the coming Spaceship Earth. In *Classics in environmental studies. An overview of classic texts in environmental studies*. Amsterdam, the Netherland, 218–228.
53. Coren, M. J. (2016). Germany had so much renewable energy on Sunday that it had to pay people to use electricity. Retrieved from <http://qz.com/680661/germany-had-so-much-renewable-energy-on-sunday-that-it-had-to-pay-people-to-use-electricity/>. Available 01.10.2016.
54. Denmark Just Produced 140 % of its Electricity Needs with Renewable Wind Power (2015). History & Exopolitics. Retrieved from <http://www.ewao.com/a/1-denmark-just-produced-140-of-its-electricity-needs-with-renewable-wind-power/>. Available 01.10.2015.
55. Digital Revolution. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Revolution. Available 10.03.2017.
56. Hill, J. (2016). Renewable Energy Now Accounts For 30% Of Global Power Generation Capacity. Retrieved from <https://cleantechnica.com/2016/09/20/renewable-energy-now-accounts-30-global-power-generation-capacity/>. Available 01.10.2016.
57. Johnston, A. (2016). Portugal runs on 100 % renewables for 4 days. Retrieved from <https://cleantechnica.com/2016/05/21/100-renewable-electricity-portugal-4-days/>. Available 01.10.2016.
58. Rifkin, J. (2015). *Zero Marginal Cost Society : The Internet of Things, the Collaborative Commons, and the Eclipse of Capitalism*. New York: St. Martin's Griffin Publisher, 448.
59. Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. Retrieved from <https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab>. Available 01.03.2016.
60. Scotland Just Generated More Power Than It Needs From Wind Turbines Alone (2016). Available <http://www.sciencealert.com/scotland-just-generated-more-power-than-it-needs-from-wind-turbines-alone>. Available 01.10.2016.