

© 2012 г. В.А. ГЕЛОВАНИ, академик РАН
В.Б. БРИТКОВ, канд. физ.-мат. наук
А.В. БУЛЫЧЕВ, канд. техн. наук
(Институт системного анализа РАН, Москва)

СИСТЕМНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЦЕНАРИЕВ ДИНАМИКИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

С позиций глобального моделирования [1] динамики группы регионов – развитых стран Северной Америки (США, Канада), Западной и Восточной Европы (Великобритания, Германия, Франция и др.), проведенного в Институте системного анализа РАН, рассматривается процесс формирования институциональных структур, их корреляция и причинно-следственная связь со сценариями динамики макроэкономических показателей. Макроэкономические показатели рассматриваются в роли индикаторов, отражающих уровень развития экономики и благосостояния стран.

SCENARIOS SYSTEM MODELING OF REGIONAL ECONOMIC PROCESSES DYNAMIC ON THE BASE OF THE INTELLIGENT DATA ANALYSIS TECHNOLOGY / V.A. Gelovani (Institute Of Systems Analysis of Russian Academy of Sciences, pr. 60-letiya Oktyabrya 9, Moscow, 117312, Russia, E-mail: aswl@isa.ru), V.B. Britkov, A.V. Boulytchev (Institute Of Systems Analysis of Russian Academy of Sciences, pr. 60-letiya Oktyabrya 9, Moscow, 117312, Russia, E-mail: britkov@gmail.com). In the article from the global modeling positions of the regional dynamic [1] – the developed countries of North America (USA, Canada), Western and Eastern Europe (Great Britain, Germany, France, etc.), carried out at Institute Of Systems Analysis, is considered the process of the institutional structures formation, their correlation and relationship with macroeconomic indicators dynamics scenarios. Macroeconomic indicators are considered as the indicators reflecting an economy and welfare development level of the countries.

1. Введение

Моделирование динамики экономических систем в современных условиях глобальной интеграции финансовых, производственных и информационных ресурсов становится актуальным в связи с усложнением структуры и функций связей между экономическими системами и их составляющими. В большинстве задач для формализации сценариев динамики сложных систем необходима разработка методов, которые определяют скрытые факторы, влияющие на динамику процессов и в частности изменение влияния различных факторов на процесс в целом. Таким образом, актуальная задача заключается в построении сценариев динамики сложных экономических систем и формализации

процессов. Для решения поставленной задачи применяется системный подход, методы интеллектуального анализа данных, технологии параллельных вычислений [2] и использование информационных ресурсов из глобальной компьютерной среды. Базовой технологией анализа выступает технология *Data Mining* принятия решений и распределенной интеллектуальной обработки информации, автоформализации из нее новых знаний и профессиональных знаний экспертов.

Современный «информационный» этап развития экономики характеризуется огромным объемом информации доступной для анализа, различными способами и алгоритмами ее обработки, установления причинно-следственных связей и интерпретации полученных результатов.

Подход, продемонстрированный в работе, включает методы применения операторных уравнений, байесовского оценивания и классификации, композиционных (агрегированных) моделей для прогнозирования динамики [3]. Новые знания и вскрытые закономерности, полученные с помощью расширения набора методов анализа данных необходимы для поиска и формализации внутрисистемных закономерностей в сложных системах [4].

2. Постановка задачи

В качестве целевых переменных, для которых происходит построение сценариев, используются агрегированные макроэкономические показатели. Программные модули анализа данных построены на основе технологии *системного моделирования*, которая подразумевает построение и последующее объединения в классы состоятельных стохастических моделей. Модели имеют вид:

$$x' = f(x, \gamma, p, \varepsilon), \text{ где}$$

x - вектор интегральных макроэкономических показателей системы,

γ - вектор управляющих параметров,

p - вектор параметров модели, ε - вектор случайных стохастических воздействий.

Под интегральными макроэкономическими показателями понимаются показатели состояния системы, которые принимают дискретные значения (например, наклон в логарифмическом масштабе тренда ВВП относительно временной шкалы для различных временных периодов и т.п.). Построение зависимостей и верификация глобальных моделей происходят на основе интегрируемых экономических данных из глобальной информационной среды (используются данные из нескольких официальных источников: служб статистики стран, данных независимых рейтинговых агентств, данных Всемирного Банка). Осуществляется приведение данных к выбранному базисному году.

Классический подход при анализе изначально гетерогенных данных (различных экономических показателей) подразумевает процедуру формализации априорных предположений о том, зависимости между какими показателями будут анализироваться с последующим построением и проверкой гипотез о характере этих зависимостей. В предлагаемом в работе подходе производится построение композиций гипотез о выборе макроэкономических показателей для моделирования и построении системно-интегральных моделей. Цель построения - расчет возможно большего спектра зависимостей между показателями, тестированием и выбором гипотез (об оптимальной по критерию состоятельности близости значений интегральных показателей к фактическим показателям с учетом вида распределений). Моделирование глобальных процессов производится отдельно по странам: Россия, страны СНГ, страны Восточной

Европы и Западной Европы, страны Северной и Южной Америки (отдельно США), страны юго-восточной Азии (отдельно Япония).

Целью работы является определение стратегий повышения эффективности функционирования сложных современных экономических систем, снижения затрат и рисков. Кроме этого в условиях неопределенности - сценарное прогнозирование динамики трендов интегральных показателей экономических макросистем на основе глобального моделирования динамики группы регионов – развитых стран Северной Америки (США, Канада), Западной и Восточной Европы (Великобритания, Германия, Франция и др.).

Цель работы определила задачи:

- анализ исторических экономических данных из различных временных интервалов и построение сценариев (правил вида «если-то»), дополняющих онтологию известных формализованных экономических законов;
- анализ причинно-следственных связей между интегральными макроэкономическими показателями;
- анализ причинно-следственных связей между институционально-структурным устройством экономики и сценариями динамики макроэкономических показателей.

Предметом является анализ причин расхождения темпов экономического роста между обозначенными группами стран.

Для повышения эффективности вычислений предлагается использование концепции распределенных вычислительных сред, которая позволяет применять математические модели и вычислительные методы для распараллеливания вычислений. Данная концепция ставит цель обеспечить разделяемый доступ к разнообразным распределенным вычислительным ресурсам и предоставить средства координированного использования данных ресурсов для решения широкого круга прикладных вычислительных задач. Анализ возможностей инструментария IARnet показывает эффективность применения подхода к интеграции информационно-алгоритмических ресурсов в ГРИД – вычислениях для приложений в области экономического моделирования [5,6]. Перспективным является также использование проекта «MathCloud»[7], который представляет собой математическую среду, которая объединяет специализированные компоненты, находящиеся в сети Интернет. Компонентами среды являются сервисы решения математических задач, клиентские приложения и системные компоненты, которые позволяют существенно повысить эффективность вычислительных процессов.

В качестве входных данных рассматриваются интегральные характеристики: ВВП (конечный продукт), ВВП на душу населения, численность населения, зарплата, предельная производительность, начиная с XIII в. Выделяются группы стран: Западная Европа и колонии, Япония, Латинская Америка, Восточная Европа, Азия, Африка. В качестве образца на рис. 1 представлен график величины зарплаты строительного рабочего в Англии с XIII по XX вв. [8]:



Рис. 1. Зарплата рабочего в логарифмическом масштабе в Англии с XIII по XX вв.

Традиционный подход для прогнозирования интегральных характеристик состоит в построении нескольких моделей в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений (или в частных производных), исследовании поведения фазовых траекторий в зависимости от параметров и граничных условий.

Ставится задача - определить временную точку (или интервал) после которого началось расхождение динамики макроэкономических показателей у различных стран и причины, которые обусловили это расхождение.

Одним из методов, который позволяет успешно решить обозначенную проблему, является итерационное байесовское оценивание и объединения гипотез в композиционные модели. Метод не предполагает априорного знания о виде многомерного распределения интегральных характеристик. В процессе итерационного обучения система накапливает знания и позволяет обнаружить не характерные для прошлого отклонения от траектории (тренда и циклов) развития.

В задачах, связанных с «обратной вероятностью», на основе данных, содержащихся в выборке, нужно найти параметры случайного процесса, следствием которого являются эти данные. В «прямых» задачах известны параметры случайного процесса, на основе этого производятся вероятностные утверждения относительно исходов, генерируемых процессом. В нашем случае задачи *анализа данных и статистического оценивания* относятся к задачам на «обратную вероятность». Предполагается, что данные для анализа имеют непрерывный спектр.

Пусть $p(y, \theta)$ - совместная функция плотности распределения вероятностей (ФПВ) для вектора случайных наблюдений y и вектора случайных параметров θ . Компонентами θ могут быть коэффициенты модели, математические ожидания или дисперсии и т. п. Тогда

$$(1.1) \quad p(y, \theta) = p(y | \theta)p(\theta) = p(\theta | y)p(y),$$

$$(1.2) \quad p(\theta|y) = \frac{p(y|\theta)p(\theta)}{p(y)}, \text{ где } p(y) = \int p(y|\theta)p(\theta)d\theta$$

$$(1.3) \quad \text{или } p(\theta|y) \sim p(y|\theta)p(\theta).$$

$p(\theta|y)$ - апостериорная ФПВ вектора параметров $p(\theta)$ при условии заданной выборочной информации y , $p(\theta)$ — априорная ФПВ для вектора параметров θ . $p(y|\theta)$ (функция θ) - функция правдоподобия. Выражения (1.1), (1.2) и (1.3) - формулировка теоремы Байеса.

Пусть имеется выборка $y = (y_1, \dots, y_n)$ наблюдений за случайной величиной Y . Например, это может быть ВВП. Тогда в результате можно вычислить апостериорное распределение $p(\theta|y) \sim p(y|\theta)p(\theta)$ в соответствии с формулой (1.3). Пусть имеется следующее наблюдение случайной величины Y , равное y_{n+1} . Тогда, применяя еще раз формулу (1.3) получаем

$$p(\theta|y, y_{n+1}) \sim p(y_{n+1}|\theta)p(\theta|y) \sim p(y_{n+1}|\theta)p(y|\theta)p(\theta)$$

Расстоянием между функциями $p(\theta|y, y_{n+1})$ и $p(\theta|y)$ в смысле метрики нормированного пространства C_s , определим расстояние

$$\|p(\theta|y, y_{n+1}) - p(\theta|y)\| = \max_{\theta \in R} |p(\theta|y, y_{n+1}) - p(\theta|y)|$$

Последняя формула известна как мера близости для пространства $C_{[a,b]}$ непрерывно дифференцируемых функций на отрезке $[a, b]$.

Формализация правила классификации. Наблюдаемое значение y_{n+1} принадлежит классу наблюдений $y = (y_1, \dots, y_n)$ в смысле метрики C_∞ с точностью ε , если

$$(1.4) \quad \|p(\theta|y, y_{n+1}) - p(\theta|y)\| = \max_{\theta \in R} |p(\theta|y, y_{n+1}) - p(\theta|y)| < \varepsilon.$$

ФПВ $p(\theta|y)$ содержит в себе всю априорную и выборочную информацию. Априорная информация входит в ФПВ с помощью $p(\theta)$, выборочная информация входит через функцию правдоподобия $p(y|\theta)$. ФПВ используется для получения выводов относительно параметров.

При известном виде априорного распределения $p(\theta)$ (например, если мы знаем, что он имеет вид нормального распределения) и известном виде генерировавшего данные случайного процесса можно найти апостериорную функцию плотности вероятности. Учитывая, что вид функции $p(\theta)$ зачастую неизвестен, то мы можем принять альтернативную гипотезу о виде функции распределения. Численные эксперименты показали, что через 4-5 итераций апостериорная функция перестает зависеть от начальной гипотезы. Таким образом, правило классификации (1.4) нечувствительно относительно начальной гипотезы о виде распределения.

В случае если в распоряжении имеется несколько массивов выборочных данных y_1 и y_2 , то применив последовательно теорему Байеса найдем:

$$p(\theta|y_1, y_2) \sim p(y_2|\theta)p(y_1|\theta)p(\theta)$$

Если вычислена апостериорная ФПВ, то вероятность, с которой вектор параметров попадает в некоторую подобласть R пространства параметров, вычисляется как

$$(1.5) \quad \Pr(\theta \in R, y) = \int_R p(\theta | y) d\theta,$$

$$(1.6) \quad p(y) = \int_{R_\theta} p(\theta, y) d\theta = \int_{R_\theta} p(y | \theta) p(\theta) d\theta.$$

Формулы (1.5) и (1.6) позволяет производить вероятностные утверждения о распределении величин до их фактического наблюдения. Для принятия гипотезы о распределении величин проводится ее оценка на обучающей выборке, после чего делается вывод о состоятельности гипотезы на тестовой выборке. В случае отсутствия определенных состояний объекта в таблице при данной выборочной информации *оценка прогнозной ФПВ для состояний объектов системы, которые еще не наблюдались* в предположении, что \tilde{y} генерирует тот же самый процесс и параметры, характеризующие процесс те же самые, что в первоначальном процессе имеет вид: $p(\tilde{y}, \theta | y) = p(\tilde{y} | \theta, y) p(\theta | y)$,

$$(1.7) \quad p(\tilde{y} | y) = \int_{R_\theta} p(\tilde{y}, \theta | y) d\theta = \int_{R_\theta} p(\tilde{y} | \theta, y) p(\theta | y) d\theta,$$

$$(1.8) \quad P(\tilde{y} \in R | y) = \int_R p(\tilde{y} | y) d\tilde{y}.$$

Таким образом, формулы (1.7) и (1.8) позволяют производить интервальные оценки.

3. Результаты

На рис. 2 представлены значения логарифма ВВП на душу (в долларах 1990 года) в России и СССР за период с 1885 по 2005 гг. [9]. За 100% принят ВВП в 1913 году. На графике показаны циклические колебания и основной тренд ВВП России за указанный период.

В результате глобального моделирования и сопоставления структур экономических систем (России, стран СНГ, Восточной и Западной Европы, Северной и Южной Америки (отдельно США), юго-восточной Азии (отдельно Япония)), сравнения факторов динамики экономического производства, определены сценарии экономического развития России на период 2012-2025 гг.:

1) при сохранении динамики существующих структурных пропорций в экономике России (показаны крестиками на рис. 2 после 2012 года), а именно:

1.А) факторов, связанных с трудовыми ресурсами (прироста трудоспособного населения, качества образования, востребованность экономикой населения с высоким уровнем образования);

1.Б) факторов, связанных с капитальными мощностями (сохранения темпов обновления основных фондов менее 5%, хотя и достаточных для простого поддержания объема выпуска в некоторых областях, тем не менее, не достаточных, для увеличения товарного предложения на рынке и роста ВВП). На эту динамику

накладывается недостаточный темп инвестиций в Российскую экономику и большой объем вывоза капитала, который мог быть инвестирован в реальное производство внутри страны;

1.В) монетарных факторов (инфляционных и денежных), непосредственно регулируемых Центральным Банком РФ. Моделирование показало, что существующая политика управления (таргетирования) инфляцией дает положительный эффект, если экономика России (рассматривается показатель ВВП на душу населения) находится на тренде и Центральный Банк успешно справляется с прогнозированием поступления валютной выручки от продажи углеводородов и объемом экспортно-импортных операций. Для вывода показателя ВВП на душу населения на тренд необходима более активная политика по управлению денежной массой;

1.Г) факторов налоговой политики (фискальный аспект). Согласно результатам моделирования суммарная нагрузка (налоги, отчисления и взносы) является максимальной, после которой при прочих равных будет происходить снижение объемов темпа роста ВВП на душу населения;

2) системный сценарий изменения динамики существующих структурных пропорций и ускоренного вывода показателя ВВП на душу населения на тренд (показан на рис. 2 сплошной чертой), а именно комплексное применение факторов:

2.А) необходимость целенаправленной политики по повышению производительности труда в экономике и улучшению качества образования, которое напрямую влияет на производительность труда и долгосрочный экономический рост. Повышение конкурентоспособности образования. Привлечение в экономику специалистов с высоким уровнем образования;

2.Б) необходимо обеспечить ускоренное обновление основных фондов и принятие стимулирующих мер для этого. В результате повышения темпов обновления с 5% до 10% обеспечивается прирост ВВП на душу населения на 5-10% за 10 лет;

2.В) долгосрочная политика Центрального Банка. В качестве экзогенных параметров в модель заложена политика Центрального Банка как по поддержанию стабильности рубля (управление инфляцией) в привязке к товарной массе внутри страны, а также политика стимулирования долгосрочного экономического роста с помощью монетарных инструментов. Моделирование показало, что с помощью монетарных инструментов, например, предложения дешевых денег ЦБ может стимулировать как производство (экономическое предложение), так и спрос. При этом одновременно задача ЦБ состоит и контроле инфляционных ожиданий товаропроизводителей и населения. И те и другие должны быть уверены в репутации ЦБ и что такая политика стимулирует производство и не отразится на инфляции. Со стороны ЦБ должен быть обеспечен контроль за функционированием банковской системы, т.е. расходом денежных средства на развитие новых производств или услуг. Понижительный тренд низких депозитных ставок на счетах ЦБ для коммерческих банков будет активно стимулировать проведение кредитной политики коммерческими банками. Таким образом, благодаря политике ЦБ согласно нашим прогнозам ВВП на душу населения может увеличиться до 10-15% за 5-10 лет, объем промышленного производства вырасти на 20-30%. Основная сложность заключается в формализации сценариев цен на углеводороды на среднесрочную перспективу и динамики рынков развитых стран. В модели диапазон цен на нефть составлял 80-

100\$ за баррель в течение 5-10 лет. Государство также должно активно проводить политику спроса через стимулирование производства, активной бюджетной политики и в поддержании условий для иностранных инвестиций. При активной монетарной политике ЦБ по стимулированию производства возможно уменьшение нефтегазовой составляющей бюджета с текущих 40% до 30-35%.

2.Г) необходимость повышения эффективности государственных структур. Политика ЦБ и государства в области образования могут нивелироваться недостаточно динамичной и работой других государственных структур.

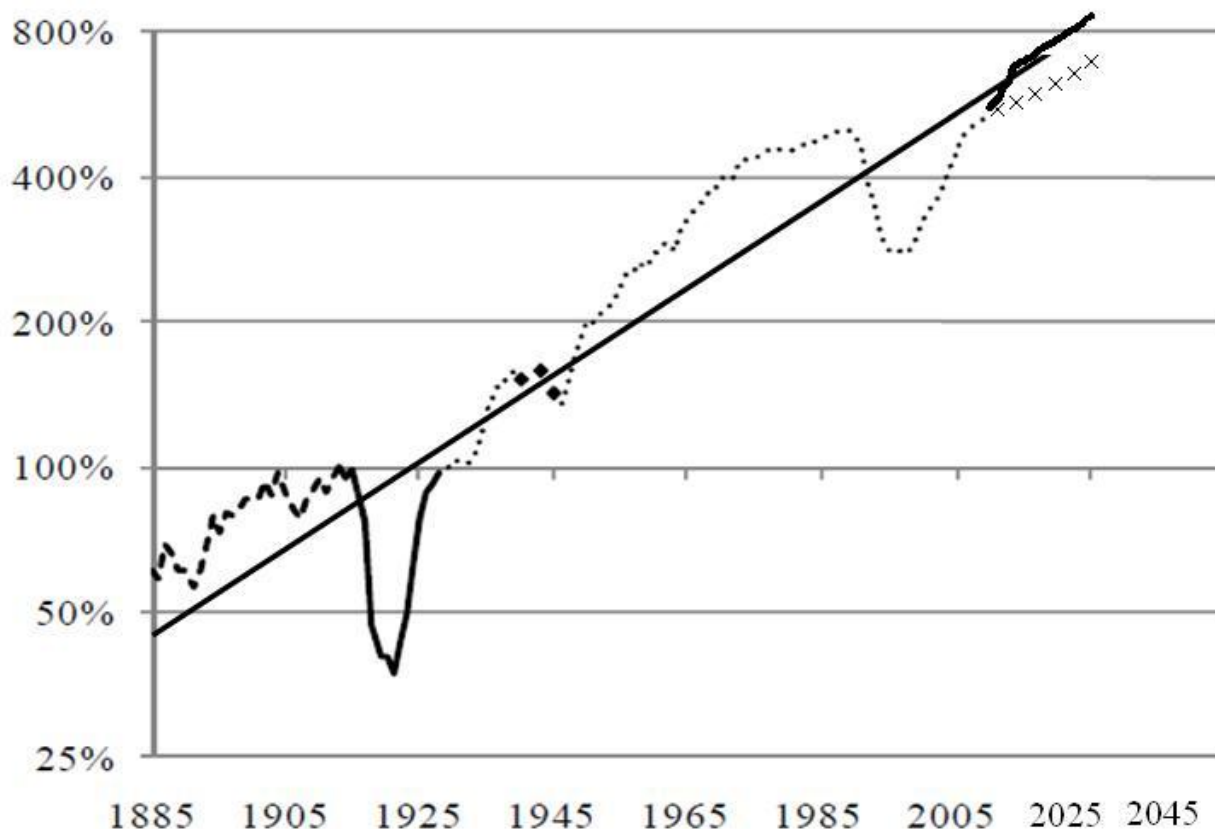


Рис. 2. Логарифм ВВП на душу (\$1990) в России и СССР, 1885 – 2005. Прогноз после 2012 года инерционного (крестики) и ускоренного развития (сплошная линия).

4. Заключение

С позиций глобального моделирования разработаны методы построения сценариев динамики экономических систем, формирования классов схожих систем с определением факторов, которые являются индикаторами схожести (близости). Определяются причинно-следственные связи влияния факторов экономического роста и степень их корреляции со сценариями динамики макроэкономических показателей: ВВП и ВВП на душу населения. Макроэкономические показатели рассматриваются в роли индикаторов, отражающих уровень развития экономики и благосостояния стран. При построении сценариев динамики определяется критерий устойчивости роста экономики. Рассматривается связь между перечисленными показателями и глубиной последующих экономических спадов. Делается попытка определить периоды и глубину экономических циклов макропоказателей. Для этого решены следующие задачи:

- построены модели анализа гетерогенных экономических данных, присущих различным временным интервалам и регионам с последующим построением сценариев динамики развития рассматриваемых стран. Построенные зависимости дополняют онтологию известных формализованных экономических законов и позволяют провести анализ корреляции между полученными результатами;
- формализованы рекомендации о корректировке пропорций в структуре экономики, которые в рамках принятых при построении моделей гипотез ведут в долгосрочной перспективе к увеличению производительности труда в экономике и долгосрочному экономическому росту;
- построен спектр композиций моделей, определены основные факторы, влияющие на динамику сложных систем;
- определены причинно-следственные связи между экономическими показателями (факторами) и динамикой экономического роста;
- построен классификатор стран по схожести динамики экономического развития и выявлены факторы экономического роста этих стран;
- для России в рамках предложенной модели проведен корреляционный анализ между общей факторной производительностью труда (один из факторов экономического роста) и темпом экономического роста.

Представлены факторы и методы корректировки динамики экономических систем. Анализируются исторические аспекты причин и принципов формирования факторов, влияющих на динамику экономических систем.

Использованный междисциплинарный подход позволяет выработать новые методы к построению систем поддержки принятия решений и своевременно корректировать динамику сложных систем и протекающих в них процессов [10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геловани В.А., Бритков В.Б., Дубовский С.В.* СССР и Россия в глобальной системе (1985-2030): Результаты глобального моделирования / Предисл. Г.Г. Малинецкого. – М.: Книжный дом «Либроком», 2009. – 320 С.
2. *Distributed Computing and Its Applications. // monograph / S.V. Emelyanov, A.P. Afanasiev, Y.R. Grinberg, V.E. Krivtsov, B.V. Peltsverger, O.V. Sukhoroslov, R.G. Taylor, V.V. Voloshinov - Felicity Press, Bristol, USA, 2005. – 298 p.*
3. *Бритков В.Б., Булычев А.В.* Прогноз динамики интегральных показателей сложных систем на основе технологии информационного моделирования // Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций «CASC-2011»: труды IX Международной конференции (Россия, Москва, 14 - 16 ноября 2011 г.). – М.: ИПУ РАН, 2011. – С. 186-189.
4. *Булычев А.В., Бритков В.Б.* Построение модели прогнозирования развития сложных систем с использованием технологии информационного моделирования // Системный анализ и информационные технологии «САИТ – 2011»: труды IV Международной конференции (Россия, Абзаково, 17-23 августа 2011 г.). Том 1. - Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2011. - С. 175-178.
5. *Афанасьев А.П.* Объединение высокоуровневых вычислительных ресурсов в распределенной среде // 4-я Международная конференция «Распределенные вычисления и Грид – технологии в науке и образовании» (GRID'2010). Россия, г. Дубна, ОИЯИ ЛИТ, 2010.

6. *Астафьев А.С., Афанасьев А.П., Лазарев И.В., Сухорослов О.В., Тарасов А.С.* Научная сервис-ориентированная среда на основе технологий Web и распределенных вычислений // Научный сервис в сети Интернет: масштабируемость, параллельность, эффективность: Труды Всероссийской суперкомпьютерной конференции (21-26 сентября 2009 г., г. Новороссийск). М.: Изд-во МГУ, 2009. 524 с.
7. *Сухорослов О.В.* Реализация и композиция проблемно-ориентированных сервисов в среде MathCloud // Вестник ЮУрГУ. Серия "Математическое моделирование и программирование". 2011. № 17(234). Вып. 8.
8. *Phelps Brown E. H. and Sheila V. Hopkins.* 'Seven Centuries of the Prices of Consumables, Compared with Builders' Wage-Rates' *Economica*, New Series, Vol. 23, No. 92. (Nov., 1956), pp. 296-314.
9. *Markevich, Andrei and Harrison, Mark.* Great War, Civil War, and Recovery: Russia's National Income, 1913 to 1928 (January 26, 2011). *Journal of Economic History*, Vol. 71, No. 3, pp. 672-703.
10. *Alfredas Chmieliauskas, Emile J. L. Chappin, Chris B. Davis, Igor Nikolic and Gerard P. J. Dijkema.* New Methods for Analysis of Systems-of-Systems and Policy: The Power of Systems Theory, Crowd Sourcing and Data Management // *System of Systems*. - 2012. - P. 77-98.