



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН • Электронная библиотека

Препринты ИПМ • Препринт № 43 за 2018 г.



ISSN 2071-2898 (Print)  
ISSN 2071-2901 (Online)

Четверушкин Б.Н., Осипов В.П.,  
Балута В.И.

Подходы к моделированию  
последствий принятия  
решений в условиях  
противодействия

**Рекомендуемая форма библиографической ссылки:** Четверушкин Б.Н., Осипов В.П., Балута В.И. Подходы к моделированию последствий принятия решений в условиях противодействия // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2018. № 43. 15 с. doi:[10.20948/prepr-2018-43](https://doi.org/10.20948/prepr-2018-43)  
URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2018-43>

**Ордена Ленина  
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ  
имени М.В.Келдыша  
Российской академии наук**

**Б.Н. Четверушкин, В.П. Осипов, В.И. Балута**

**Подходы к моделированию  
последствий принятия решений  
в условиях противодействия**

**Москва — 2018**

***Четверушкин Б.Н., Осипов В.П., Балута В.И.***

**Подходы к моделированию последствий принятия решений в условиях противодействия**

В работе подчеркивается необходимость совершенствования методов оценки последствий принимаемых решений в сложных ситуациях, особенно в вопросах обеспечения безопасности в условиях противодействия, акцентируется внимание на необходимости математического и компьютерного моделирования процессов взаимодействия сложных систем, проводятся аналогии с примерами решения задач в механике сплошных сред.

***Ключевые слова:*** метод аналогий, моделирование сложных социальных систем, оценка последствий принимаемых решений, безопасность в условиях противодействия

***Boris Nikolaevich Chetverushkin, Vladimir Petrovich Osipov, Victor Ivanovich Baluta***

**Approaches to modeling the consequences of decisions taking by condition of counteraction**

The paper emphasizes the need to improve methods for assessing the consequences of decisions, especially in matters of safety by condition of counteraction, focuses on the need for mathematical and computer simulation of complex systems interaction processes, analogies are discussed with examples of problem solving in the mechanics of continuous media.

***Key words:*** method of analogies, modeling of complex social systems, assessment of the consequences of decisions, security by condition of counteraction

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 16-29-09550-офи\_м.

## **Введение**

Интерес общества к возможным последствиям принятия тех или иных экономических решений в области экономики и безопасности вполне очевиден. Жизненный опыт показывает, что очень часто преобразования, декларируемые и осуществляемые в интересах общественного блага, приводят к противоположным по сравнению с первоначальными ожиданиями результатам. Если оставить за кадром умышленное введение общества в заблуждение, причинами таких последствий выступают, как правило, неправильная оценка обстановки, недооценка совокупности влияющих на ситуацию внешних и внутренних факторов, в том числе деструктивного характера, недостаточная проработанность порядка реализации принимаемых решений и неверная прогнозная оценка их последствий.

Сложность выработки таких решений обусловлена тем, что при непосредственной оценке конечных результатов внимание руководителей или экспертов, дающих им рекомендации, акцентируется на нескольких ключевых моментах, и, в зависимости от личного опыта и восприятия значимости тех или иных факторов, выводы специалистов могут расходиться очень сильно, вплоть до прямо противоположных. В качестве примера последнего времени можно привести дискуссию о целесообразности увеличения пенсионного возраста. Одна группа экспертов увлеченно обсуждает положительные эффекты такого решения. С не меньшим жаром другая группа экспертов предрекает негативные экономические и социальные последствия.

В некоторых случаях последствия принятия тех или иных решений более-менее очевидны. Однако во многих случаях подобной ясности нет, поэтому общество в целом, соответствующие институты и отдельные эксперты пытаются найти инструменты оценки последствий принятия решений, влияющих на параметры жизни общества. В настоящей работе предлагается рассмотреть аналогии между процессами развития различных социальных систем и динамическими процессами в сложных физических, механических или химических системах. Это бывает полезно для объяснения возможных путей развития ситуации в условиях противодействия, зависимости от факторов обстановки, уровня конфликтного потенциала, наличия ресурсов и условий реализации вырабатываемых решений.

## **Уровень экспертных оценок**

Сложность социально-экономических процессов, их неоднозначное проявление, особенно в условиях конкуренции и целенаправленного противодействия, связанное с этим множество экономических теорий породили многообразие взглядов на причины проявления отдельных кризисных явлений в экономической жизни общества. Как следствие, это нашло отражение в поговорке, что «у двух экономистов три мнения по одному вопросу». Для

поиска консенсуса при выработке управленческих решений разработано большое количество различных технологий, направленных на согласование мнений в экспертном сообществе. Для исследования и оценки общественно значимых вопросов в числе наиболее распространенных вариантов обсуждения проблем – проведение публичных дебатов, круглых столов и т.п., да еще и иногда с голосованием аудитории на предмет правоты той или иной точки зрения.

Результатом таких мероприятий является либо фиксация расхождений мнений экспертов, либо констатация превалирования одной из позиций. Во втором случае вывод понятен, хотя нужно заметить, что трансформация взглядов или отказ от исходного мнения не всегда имеют объективную природу. Часто это может происходить под влиянием таких факторов, как ораторское мастерство убеждающего, должностное положение оппонента, негативная реакция аудитории.

Если вернуться к первому случаю, то в качестве наиболее рационального пути оценки последствий принятия решения можно предложить процедуру опоры на профессиональный авторитет участников. Изначально по взаимному согласованию каждому эксперту может приписываться весовой множитель, в какой-то мере отражающий его квалификацию. Затем мнения экспертов с учетом этих множителей суммируются и усредняются по числу участников опроса. Осредненное таким образом мнение можно использовать в качестве оценки наиболее вероятных последствий обсуждаемого решения. По умолчанию предполагается, что каждый эксперт, пусть неявно для себя, использует собственную модель развития ситуации, которая базируется на его представлениях о роли и значимости тех или иных влияющих на обстановку факторов, а квалификация каждого проявляется прежде всего в степени адекватности его умозрительной модели реальной обстановке.

Без сомнения, подобная экспертная оценка, основанная на квалификации опрашиваемых специалистов, вполне оправдана. Как минимум, она позволяет избежать ошибок, присущих «волевым» экономическим решениям или решениям, имеющим популистский характер.

Тем не менее, при подобном подходе остается ощущение некоторой неопределенности ожидаемого результата. Этот подход в какой-то мере можно сравнить с прогнозом погоды, сформированным на основе народных примет. Достаточно часто такого рода прогнозы сбываются, но нередки случаи значительного расхождения с ожидаемым результатом. В то же время, прогнозы изменений погоды, получаемые с помощью расчётов на суперкомпьютерах уравнений газовой динамики, описывающих движение атмосферы, имеют заметно более высокую степень совпадений с реальностью. Более высокая степень определенности в этом случае связана с использованием сложных математических моделей, отражающих объективные законы природы.

Исходя из этой аналогии можно констатировать, что построение адекватных математических моделей для оценки будущих последствий

принятия решений может значительно повысить качество ожидаемых результатов. При таком взгляде на проблему опыт, накопленный в решении задач на естественно-научных направлениях, может сыграть – и играет (например, [1-3]) – значимую роль в выработке средств и методов моделирования социальных процессов.

В настоящей работе рассмотрены некоторые аналогии между проблемами механики сплошной среды и подобными им ситуациями в жизнедеятельности общества для оценки последствий принятия решений, безопасности и рисков.

## **Анализ предкризисных ситуаций**

Если исходить из предположения, что развитие больших сложных социально-экономических систем подвержено общим закономерностям поведения сложных систем, то подход аналогий может иметь место в исследованиях их состояния и тенденций развития. В настоящее время большой интерес представляет оценка интенсивности внешнего воздействия, при котором социально-экономическая система остается в устойчивом, управляемом состоянии. Не меньший интерес вызывает анализ ситуации, в которой появление неожиданного и, на первый взгляд, малозначительного деструктивного фактора может привести к серьезным негативным последствиям.

Одним из общеизвестных примеров, когда, казалось бы, незначительное событие привело к Первой мировой войне и краху четырех европейских империй, является выстрел, произведенный летом 1914 года Гаврилой Принципом в городе Сараево. Причем цепочка действий от убийства эрцгерцога Фердинанда и его супруги до финальных событий в 1918 году развивалась predetermined от одного события к другому, подобно камнепаду в горах, когда случайный мелкий камешек из-под копыта животного на вершине порождает огромную лавину глыб у подножия горы.

Понятно, что подобную значимость мелкое событие может приобретать только при создании определенных условий, достаточного конфликтного потенциала в среде развития событий. Не каждый камешек порождает лавину. И множество более серьезных событий в истории остаются частными эпизодами. У историков, анализирующих состояние экономик ведущих европейских держав, их программ вооружений, состояние межгосударственных отношений начала XX века, не вызывает сомнений точка зрения в том, что, если бы убийство наследника австрийского престола произошло несколько раньше, последствия были бы не столь катастрофичны. Именно в 1914 году в Европе при всем видимом относительном социально-экономическом благополучии создается потенциал неустойчивости, при котором какое-либо, на первый взгляд не очень значительное событие, могло привести к необратимым изменениям. Не было бы выстрела в Сараево, ситуация взорвалась бы по какому-то другому поводу.

Можно рассмотреть аналогии подобных ситуаций в механике сплошной среды. Для примера можно привести расчетную модель воздушного потока на поверхности летательного аппарата. При установившемся обтекании небольшие изменения условий обтекания приводят также к незначительным изменениям общей картины течения. Решение задачи в этом случае удовлетворяет условию Липшица:

$$\|\bar{x} - \bar{x}_0\| \leq C\|\bar{y} - \bar{y}_0\|, \quad (1)$$

где:

$\bar{x}_0$  – вектор газодинамических параметров, соответствующих исходным начальным и граничным условиям  $\bar{y}_0$ ;

$\bar{y}$  – вектор измененных начальных и граничных данных, а  $\bar{x}$  – соответствующее ему решение. При этом ожидается, что константа  $C$  не слишком велика, с тем, чтобы разумные малые изменения вектора  $\bar{y}_0$  не приводили к сильному изменению решения.

Однако подобная картина нарушается для неустановившихся течений [4]. Неустановившиеся течения характеризуются тем, что при некоторых конфигурациях летательного аппарата и при некоторых стационарных скоростях обтекания реализуется не стационарная, как можно было бы ожидать, картина обтекания, а незатухающий колебательный режим. На практике моделирование этих явлений, часто характеризующихся взаимодействием вязкого пограничного слоя и ударных волн, требует больших вычислительных ресурсов, которые предоставляются современными суперкомпьютерами.

Важной особенностью неустановившихся течений является то, что в ряде случаев незначительное изменение исходных данных может привести к радикальной, имеющей негативные последствия, смене картины течения. Примером может служить течение в каверне с упругим дном, схема которого приведена на рис. 1

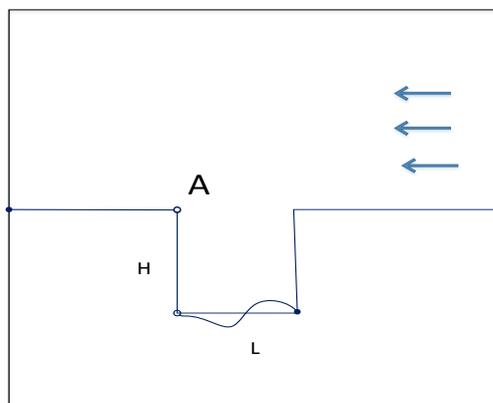
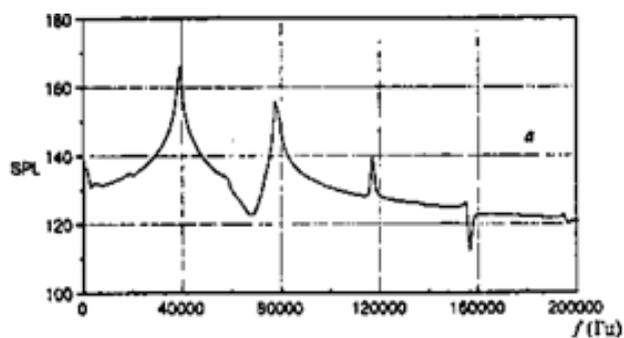
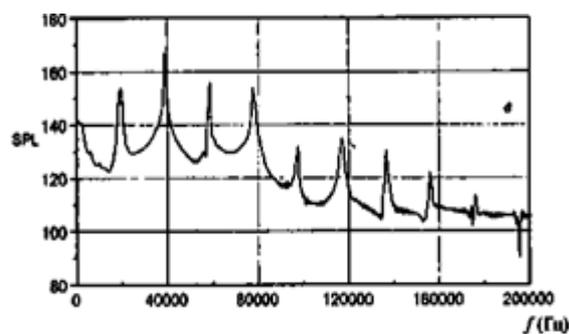


Рис. 1. Конфигурация течения

В пространственно-двумерном случае при соотношении ширины и глубины каверны  $L/H=2,1$  и скорости набегающего потока воздуха  $M_0=1,35$  реализуется колебательный режим. Этот режим характеризуется появлением внутри каверны вихря, который генерирует колебательное давление. На рис. 2а представлен спектр давления в точке А (рис. 1), полученный при условии, что нижняя стенка каверны жесткая.



а) Спектр давления в точке А при жесткой нижней стенке



б) Спектр давления в точке А при упругой нижней стенке

Рис. 2. Спектры давления на границе каверны (в точке А) при различных характеристиках дна

Изменим условия задачи – нижнюю стенку каверны будем считать упругой, колеблющейся с различными частотами и амплитудой колебаний  $0,001H$ . Колебания с частотами 38 кГц и 76 кГц, соответствующие основным частотам неустановившегося течения, приводят к незначительному изменению картины течения, колебательный спектр которой близок к изображенному на рис. 2а.

Однако, если частота вынужденных колебаний дна равна 56 кГц, что примерно в полтора раза превышает частоту 38 кГц, картина течения резко меняется. Появляется дополнительный интенсивный вихрь, который генерирует колебания давления с частотой 19 кГц. Это хорошо видно на рис. 2б. Что интересно, для установившихся течений вне указанных в этом примере значений параметров ( $M_0=1,35$  и  $L/H=2,1$ ) небольшие по амплитуде колебания дна не приводят к сколь-нибудь заметным изменениям общей картины.

Поскольку появление дополнительных осцилляций давления, которые ранее не прогнозировались, может привести к разрушению конструкции, перед исследователями стоит задача выявления средствами суперкомпьютерного моделирования не только условий появления возможных неустановившихся режимов, но и выявления возможных угроз резкой смены поведения течения в рамках существования этих режимов.

В приведенных примерах прослеживается некоторая аналогия между неустановившимися газодинамическими течениями и социально-экономическими процессами в конкурентной экономической среде. И в том, и в

другом случае необходимо выявлять те состояния систем, в которых она может быть подвержена болезненным для нее воздействиям, приводящим к кризисным явлениям. Причем набор этих «токсичных» воздействий с малой интенсивностью может быть достаточно велик. Так, частный пример моделирования периодических воздействий на социум при информационном противоборстве двух сторон рассмотрен в [3].

Таким образом, можно говорить об актуальности проблемы построения такой модели социально-экономической системы, расчет на основе которой позволит выявить состояния, аналогичные состоянию неустановившихся течений в газовой динамике. При наличии такой модели можно будет исследовать критичные состояния системы путем расчетов с вариацией большого количества исходных данных и выявлять условия, которые способствуют проявлению негативных последствий.

### **Поддержка выработки решений**

Еще одним направлением, на котором прослеживаются очевидные аналогии с алгоритмами решения задач механики сплошной среды, являются процедуры обработки больших объемов данных мониторинга состояния социотехнических или социально-экономических систем, которые необходимы при выработке управленческих решений и оценке их последствий. В последнем случае возникают графы большой размерности, для обработки которых применяются спектральные алгоритмы [5, 6]. Аналогичная проблема возникает также в параллельных вычислениях при поиске рационального разбиения на подобласти для пространственной аппроксимации объекта исследования на неструктурированных сетках. В этом случае формирование подобластей, имеющих минимальные контакты с соседними подобластями осуществляется на основе программ типа «МЕТИС», в основе которых лежит хорошо известный в теории графов спектральный алгоритм Фидлера [7].

Пример факторной модели, разработанной с участием авторов при выполнении НИР в интересах Минэкономразвития, представлен в виде графа на рис. 3. Каждый из прямоугольников на представленной схеме показывает один из учитываемых при анализе состояния системы факторов, а отдельные линии на схеме отражают их взаимную связь, в общем случае нелинейную.

Анализ такого рода моделей методами теории графов позволяет оценивать связность факторов и их прямое или опосредованное влияние на возможные последствия реализации каких-либо действий, событий, решений.

Результатом моделирования последствий принятия решений в той или иной сфере деятельности должна быть оценка, желательно количественная, влияния того или иного действия на конкретный, представляющий общественный интерес показатель. Трудность такого предсказания заключается в том, что, как правило, начальные действия и конечный результат связаны между собой не однозначным простым соотношением. Обычно эта связь

осуществляется посредством включения в процесс большого количества, на первый взгляд, совсем не очевидных факторов.

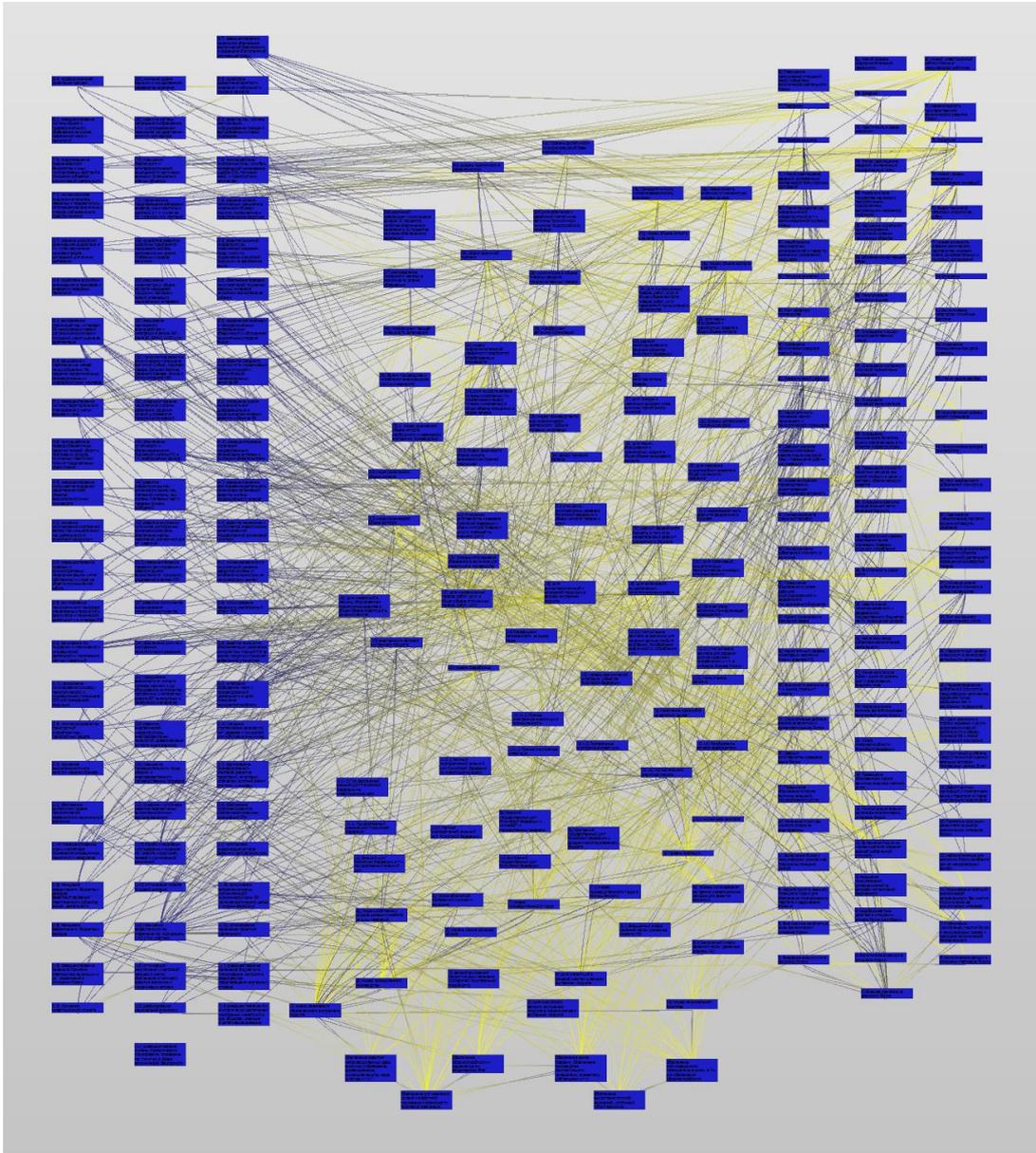


Рис. 3. Пример представления сложной системы взаимоотношений

В качестве аналогии можно привести пример исследования процессов горения. В начальной стадии этого явления участвует небольшое количество компонент, например, метан  $\text{CH}_4$  и воздух, состоящий в основном из кислорода  $\text{O}_2$  и азота  $\text{N}_2$ . Дальнейший процесс развивается с выделением энергии и повышением температуры, а также с образованием в результате химических реакций новых веществ, являющихся комбинацией углерода  $\text{C}$ , водорода  $\text{H}$ , кислорода  $\text{O}$  и азота  $\text{N}$ .

Система уравнений, описывающих горение, включает в себя набор уравнений неразрывности<sup>1</sup>, количество которых равно количеству учитываемых в процессе моделирования веществ.

$$\frac{\partial \rho_i}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho_i \bar{u}) = L_i - Q_i \rho_i \quad (2)$$

Здесь  $\rho_i$  - плотность  $i$ -ой компоненты вещества,  $\bar{u}$  - скорость среды,  $L_i$  - интенсивность генерации компоненты за счет различных химических реакций,  $Q_i$  - интенсивность убыли  $i$ -ой компоненты в процессе ее реакции с различными веществами, причем величины  $L_i$  и  $Q_i$  определяются константами скоростей реакций, которые, в свою очередь, сильно нелинейным образом зависят от температуры и плотности компонент.

Результат моделирования в значительной мере зависит от значений констант скоростей реакций, поэтому их нахождение представляет важную задачу для теоретических и экспериментальных исследований. Константы скоростей различных реакций могут иметь большой разброс по порядку величин. Это приводит к значительным вычислительным трудностям и росту объема вычислений, характерных для «жестких» систем уравнений.

Важным элементом расчета задач, связанных с процессом горения, является построение адекватной математической модели. В качестве примера рассмотрим образование токсических компонент оксидов азота  $\text{NO}_x$  и угарного газа  $\text{CO}$  при горении метана в воздухе. В процессе их образования участвует несколько сотен компонент [8]. Однако детальный анализ показывает, что основной вклад в образование  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}$  вносят лишь несколько десятков компонент [9]. Это позволяет на два порядка снизить объем вычислений и наиболее рациональным образом реализовать процесс моделирования.

После этого экскурса в область процессов горения вернемся к аналогиям, которые возникают при моделировании последствий принятия решений. Объекты, которые путем сложного взаимодействия между собой оказывают влияние на конечный интересующий результат, имеют аналогию с набором химических компонент, участвующих в реакции. Константы скоростей реакции имеют аналогию с интенсивностью воздействия одного объекта на другой. При этом возникает проблема определения интенсивности этих взаимодействий, которая представляется более сложной, чем аккуратное нахождение констант скоростей реакций.

В интересах исследования подобных процессов в обществе, когда необходимо интегрировать в моделях разнородные факторы, в отношении которых в настоящее время еще не существует достаточной степени научной проработки их связанности, можно использовать подход, базирующийся не на использовании сложных зависимостей, а на декомпозиции объекта исследования на относительно простые элементы, связи между которыми также относительно просты и очевидны. Определить, как повлияет увеличение

<sup>1</sup> Уравнения, описывающие изменение импульса и энергии за счет химических реакций, не приводятся.

пенсионного возраста на деятельность отдельного, пусть и крупного предприятия, намного проще, чем определить его влияние на общую ситуацию в стране. Связывая в модели результаты, полученные для большого количества типовых предприятий отдельной отрасли, с учетом их региональной специфики, можно оценить значимость принимаемого решения для рассматриваемой отрасли, а по результатам оценки множества отраслей с учетом их взаимосвязи и взаимозависимости – для страны в целом. Построение комплексной модели системы, в которой можно определить влияние значений какого-либо параметра на изменение состояний отдельных элементов модели, позволяет рассчитать влияние этого параметра на всю систему с учетом взаимосвязи элементов. Современные средства вычислительной техники относительно легко справляются с достаточно большими моделями, и необходимо эффективно использовать эти возможности, снижая затраты на разработку моделей и компенсируя снижение сложности связей их количеством и высокой производительностью современных вычислительных средств. Очевидно, что построение таких моделей и получение результатов требует непосредственного интерактивного участия экспертов – специалистов в соответствующих областях жизнедеятельности социума.

## **Моделирование взаимодействия**

Одной из задач, стоящих перед специалистами, так же, как и при моделировании сложных физико-химических процессов, является построение адекватной модели изучаемого явления. Эта модель, с одной стороны, должна учитывать наиболее важные для достижения конечного результата объекты и степень взаимодействия между ними. С другой стороны, модель должна допускать возможность ее реализации на существующих в настоящее время вычислительных системах, включая суперкомпьютерные.

Одним из удачных примеров использования подходов по методу аналогий является моделирование транспортных процессов и систем с привлечением опыта изучения гидродинамических явлений. Прежде всего, гидродинамические аналогии активно используются для моделирования интенсивного движения транспортных потоков [10, 11] на участках дорожной сети. В более сложных моделях, ориентированных на исследование сложного комплекса и динамики процессов, протекающих в транспортных системах, также применяются гидродинамические аналогии, в частности, используются такие понятия, как источники и стоки, на основе которых формируется матрица корреспонденции, отражающая картину формирования транспортных потребностей и соответствующих транспортных потоков между различными районами городов, населенных пунктов и т.п.

При моделировании движения транспорта в крупных городах авторами успешно применен подход, связанный с формированием динамики параметров источников и стоков путем моделирования их территориального распределения, а также социально-демографической структуры и суточной

активности различных категорий населения, общая совокупность моделей представлена на рис. 4. Соответствующая совокупность моделей позволяет достаточно обоснованно прогнозировать возможные последствия реализации управленческих решений в сфере строительства инфраструктуры, управления транспортом, изменения в социальной и финансовой политике, влияющие на миграционную активность и поведение различных категорий населения, и др.

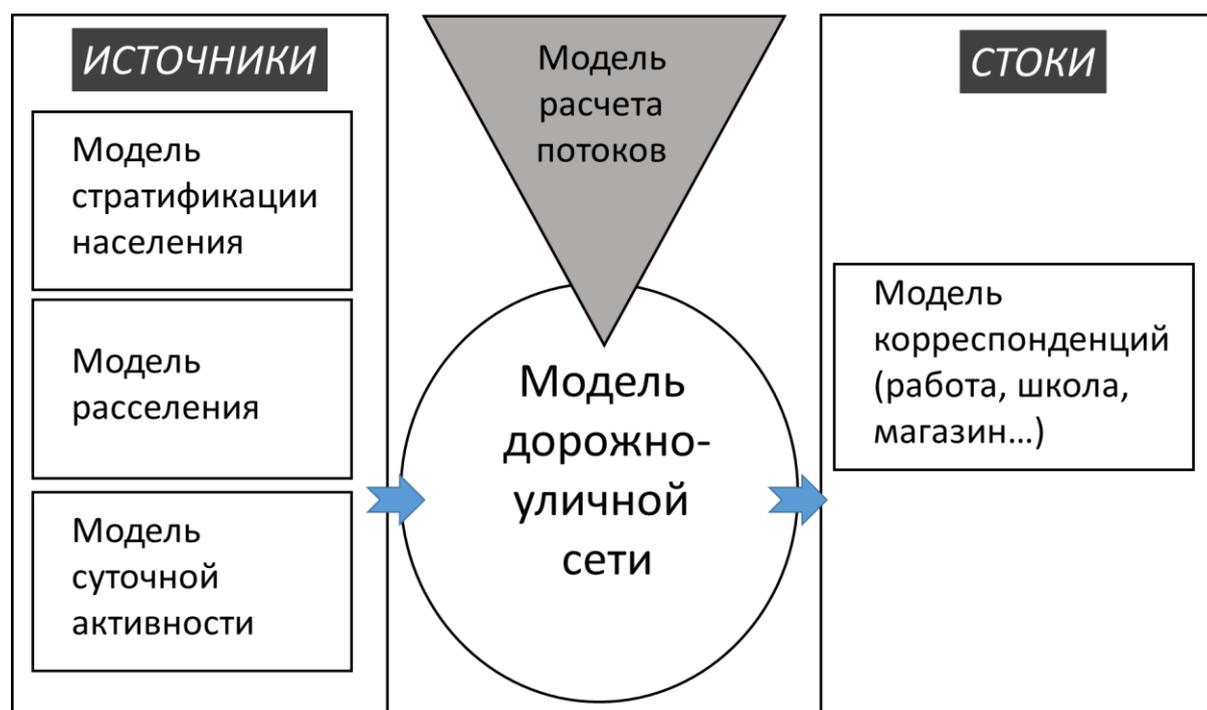
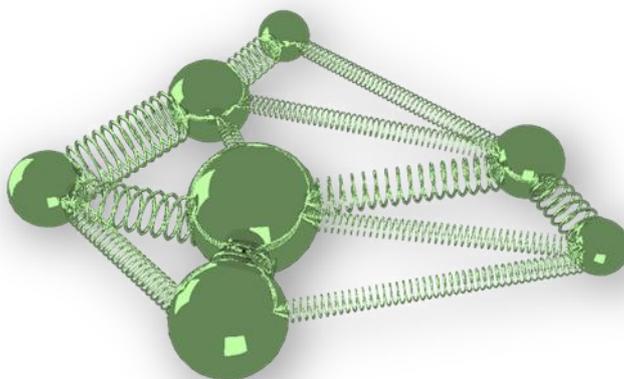


Рис.4. Схема моделей транспортного моделирования

Чтобы понять механизмы формирования конфликтного потенциала, динамику образования или распада коалиций в отношениях между различными субъектами в социально-экономической среде, на геополитической арене, в трудовых коллективах и т.п., можно также обратиться к физической аналогии. Картину комплексного взаимного влияния элементов сложной системы друг на друга можно проиллюстрировать на примере динамических процессов, происходящих в механической системе соединенных упругими связями объектов (рис. 5). Вывод из состояния равновесия любого из объектов в этой системе за счет внешнего импульса либо изменения его собственных параметров (массы, ослабления или усиления какой-то из связей) вызывает сложную реакцию перестройки расположения всех других объектов. Система стремится вновь прийти в состояние равновесия, перераспределяя объекты в пространстве в соответствии с их массами и жесткостью связей.



*Рис. 5.* Аналогии взаимосвязи элементов в системе

Подобная модель может служить аналогией процессам взаимодействия элементов сложных социотехнических и социально-экономических систем [12], связанных с оценкой рисков и угроз безопасности. Параметр массы шара можно ассоциировать с потенциалом (значимостью) соответствующего объекта в рассматриваемой системе по отношению к другим объектам, а упруго-жесткая пружинная связь может отражать степень напряженности и взаимозависимости в их взаимоотношениях. Модели, базирующиеся на подобной аналогии, применялись авторами при выполнении отдельных научно-исследовательских работ для оценки конфликтного потенциала в конкурентных средах и способствовали пониманию процессов взаимодействия акторов обстановки и тенденций развития критических ситуаций для обоснования управленческих решений.

## **Заключение**

Оценка последствий принимаемых решений в различных сферах деятельности опирается на создание все более сложных моделей управляемых систем и методов их исследования. Широкое внедрение передовых методов в этой области невозможно без применения высокоразвитого математического аппарата и соответствующих программных продуктов.

Их создание является непростой задачей, и здесь, по мнению авторов работы, существенную помощь могут оказать аналогии с процессами из других предметных областей с хорошо развитым математическим аппаратом. Для демонстрации в работе приведены некоторые задачи, встающие перед исследователями процессов в социальных системах, и рассмотрены аналогичные процессы в задачах механики сплошной среды, математическое моделирование которых хорошо проработано.

## Библиографический список

1. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование. – М.: Физматлит. 2006. 320 с.
2. Михайлов А.П., Ключосов Н.В. О свойствах простейшей математической модели распространения информационной угрозы. / Математическое моделирование социальных процессов, вып. 4. М.: МАКС Пресс, 2002. С. 115-123.
3. Михайлов А.П., Петров А.П., Прончева О.Г., Маревцева Н.А. “Модель информационного противоборства в социуме при периодическом дестабилизирующем воздействии”, Математическое моделирование, т.29, №2 (2017). С. 23–32.
4. Четверушкин Б.Н. Кинетические схемы и квазигазодинамическая система уравнений. 2004. Москва, Макс – Пресс, 328 с.
5. Головченко Е.Н., Якобовский М.В. Пакет параллельной декомпозиции больших сеток GRIDSPIDERPAR II. Вычислительные методы и программирование: Новые вычислительные технологии (Электронный журнал) -2015, т. 16, № 4, с. 507-517.
6. Головченко Е.Н. Дорофеева Е.Ю., Гасилов В.А., Якобовский М.В. Вычислительный эксперимент по оценке качества алгоритмов параллельной декомпозиции больших сеток // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2013, №7, 32 с.
7. Fiedler M. A property of eigenvectors of nonnegative symmetric matrices and its application to graph theory// Czechoslovak Math. J. 1975/ Vol/ 25/ P607-618/
8. Ловачев Л.А. Кинетика образования  $\text{NO}_x$  в метановоздушных пламенах. Хим-физика, 1983, т2, №8, с. 1085-1091.
9. Дородницын Л.В., Корнилина М.А., Четверушкин Б.Н., Якобовский М.В. Моделирование газовых течений при наличии химически активных компонентов. Журнал физической химии, 1997, т 71, № 13, с. 2275 – 2281.
10. Сухинова А.Б. Трапезникова М.А. Четверушкин Б.Н., Чурбанова Н.Г. Двумерная макроскопическая модель транспортных потоков. Математическое моделирование. 2009, т 21, №2, с. 118 -126.
11. Трапезникова М.А., Фурманов И.Р., Четверушкин Б.Н., Чурбанова Н.Г. Микро и макроскопические модели для описания движения автотранспорта на многополосных магистралях. Труды МФТИ. 2010. Т.2, №4 (8) с. 163 -168.
12. Балута В.И., Нечаев Ю.И., Осипов В.П., Четверушкин Б.Н. Концептуальный базис платформы прикладного моделирования конфликтного взаимодействия на базе суперкомпьютерных технологий // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2017. № 28. 20 с. doi:10.20948/prepr-2017-28.

## Оглавление

Введение .....	3
Уровень экспертных оценок.....	3
Анализ предкризисных ситуаций .....	5
Поддержка выработки решений .....	8
Моделирование взаимодействия .....	11
Заключение.....	13
Библиографический список.....	14