

раться различные показатели, например, доходность ценных бумаг, рыночная стоимость собственного капитала и пр.

4. Для расчета показателя WACC необходимо учитывать российское налоговое законодательство, предполагающее особенности по включению в расходы, учитываемые в целях налогообложения прибыли, процентов по полученным кредитам и займам.

Библиографический список:

1. Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов: Теория и практика: Учеб. Пособие; 3-е изд.; испр. и доп. – М.: Дело, 2004. – 888 с.

2. Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция) / М – во экон. РФ, М-во фин. РФ, ГК по стр-ву, архит и жил. политике; – М.: ОАО «НПО «Изд-во «Экономика», 2000. – 421 с.

3. Бертонеш М., Райт Р. Управление денежными потоками. – СПб.: Питер, 2004. – 240 с.

4. Налоговый кодекс Российской Федерации: Ч. I и II – М.: Юрайт-Издат, 2006. – 576 с.

УДК 303.444:351:65:01

Определение эффективных вариантов декомпозиции моделируемых сложных систем со значительной долей социальных составляющих

© 2009 г. В. В. Бринза, В. В. Логинова, А. И. Хилько*

Необходимость повышения конкурентоспособности сложных организационно-технических и социально-экономических систем обуславливает поиск внутренних, зачастую неочевидных резервов, реализация которых позволит снизить издержки при их функционировании, улучшить качество выпускаемой продукции и предоставляемых услуг и укрепить их имидж. Выбор процедур поиска резервов при наличии достаточного количества количественной информации, характеризующей особенности рассматриваемых систем, может быть организован по аналогии с методами исследования и совершенствования технических структурных комплексов. Опыт совершенствования сложных производственных систем и производственных процессов во многих случаях показывает реальность повышения их эффективности одновременно по нескольким по-

казателям на основе использования результатов привлечения целого ряда методических подходов: теории организации производственных систем [1], проектного подхода [2], исследования операций [3], имитационного моделирования [4], моделей системной динамики [5], сетей Петри и их расширений [6], структурного анализа и проектирования (*SADT*) [7], *CASE* – технологий [8] и других.

Между тем специфика социальных систем или организационно-технических систем со значительной долей социальных составляющих, заключающаяся в том, что их структура включает множество отдельных индивидов, их групп и продуктов их материальной и духовной деятельности, а также значительное число устойчивых связей между ними, необходимых для сохранения и развития данных множеств [9], не дает в полной мере использовать методический опыт, приобретенный при оптимизации производственных систем. Во-первых, социальные системы и социальные составляющие организационно-технических систем содержат большое количество факторов субъективной природы. Во-вторых, данные системы руководствуются слабоформализованными целевыми установками. Наконец, многие взаимосвязи между структурными элементами по-

* В.В. Бринза – д. т. н., директор Научно – последовательского центра технологического прогнозирования МИСиС.

В.В. Логинова – м. н. с. Научно – исследовательского центра технологического прогнозирования МИСиС.

А.И. Хилько – главный инженер МИСиС.

добных систем зачастую не могут быть определены объективными средствами. Примеры перечисленных особенностей социальных систем представлены в [10]. В этой связи к исследованию закономерностей развития сложных социальных систем все чаще привлекается метод качественного моделирования, базирующийся на аппарате взвешенных ориентированных графов [11 – 13 и др.]. Благодаря привлечению к выявлению структуры моделируемых систем информации, получаемой экспертным путем и в дальнейшем объективизируемой с помощью специальных процедур, становится возможным производить достаточно достоверные прогнозные расчеты результативного уровня исследуемых показателей при различных сочетаниях исходных данных. Направленный перебор сочетаний исходных значений факторов моделируемой социальной системы и траекторий динамики их изменения, а также осуществление прогнозных расчетов и последующего сравнения результатов для каждого из заданных вариантов даст возможность определить лучший сценарий развития системы. Однако упомянутые преимущества метода качественного моделирования пропадают с увеличением сложности ее структуры. Как известно, структура сложных систем состоит из совокупности элементов, прямых и обратных связей между ними и подвержена множественному влиянию внешней среды. При этом количество взаимосвязей между N элементами для систем со значительной долей составляющих социальной природы близко к N^2 . Соответственно с ростом числа элементов в структуре системы трудоемкость ее экспертизы в рамках метода качественного моделирования возрастает близко к $3N^2$ раз, так как метод предполагает восстановление структуры графа, эквивалентного структуре рассматриваемой системы. Здесь множитель 3 при вышеприведенном параметре N^2 обусловлен тем, что процедура восстановления структуры взвешенного ориентированного графа предполагает получение экспертной информации:

- о наличии и направленности (ориентации) воздействия одних элементов системы и её внешней среды на другие;

- об инерционности этих воздействий;

- об интенсивности («весе») воздействий.

Практика применения метода качественного моделирования показывает, что при оценке структуры сложной социальной системы, включающей не менее 65 – 70 элементов, необходимые трудозатраты превышают возможности экспертов по генерации достоверной исходной информации о ее строении. Поэтому достижение условий, при которых эксперты без дополнительного увеличения усилий осуществляют оценку характера значимо большего количества факторных взаимовлияний, что расширяет масштабы социальных систем, поддающихся исследованию методом качественного моделирования, является актуальным. Как показано в публикации [14 – 16], задача абсолютного снижения числа межэлементных взаимосвязей может быть решена на ос-

нове представления структуры систем в виде иерархий и последующей оптимизации иерархического строения.

Целью настоящей работы является расширение возможностей метода качественного моделирования за счет определения эффективных вариантов декомпозиции моделируемых сложных систем со значительной долей социальных составляющих, использование которых существенно снижает трудозатраты по определению их строения и тем самым делает обозримыми закономерности развития более масштабных социальных структур.

В работе рассмотрена одна из подобных систем, представляющая административно-хозяйственный и социально-бытовой (АХиСБ) комплекс национального исследовательского университета. Отнесение университета к данной категории должно повлечь за собой существенное расширение функциональных обязанностей персонала АХиСБ комплекса, требующее, в том числе, реализацию резервов по широкому спектру направлений деятельности. Структура данного комплекса включает подсистемы элементов эксплуатационного и хозяйственного обслуживания университета, ремонта и строительства, обеспечения безопасности, социально-бытовой деятельности. Кроме того, необходимым является учет ресурсного и кадрового потенциала рассматриваемого комплекса, а также показателей результативности его деятельности. В целом, анализ структуры АХиСБ комплекса университета показал, что она состоит из 62 взаимодействующих функциональных элементов. Основные положения теории организаций и их менеджмента качества требуют учета влияния университетского руководства и взаимодействия рассмотренной организационной структуры с потребителями ее деятельности — другими комплексами университета (учебным, научно-инновационным, студенческим городком) и основными инфраструктурными подразделениями (управлений информационных технологий, кадров и делопроизводства, международного сотрудничества, договорно-правовой работы и др.). Кроме того, отображение рассматриваемой социальной системы будет неполным без включения в ее модель факторов взаимодействия с внешними поставщиками и потребителями, а также проявлений влияния элементов глобальной внешней среды (**рис. 1**). Если принять во внимание данный перечень воздействий, то общая структура данной социальной системы при «одноуровневом» представлении должна компоноваться минимум из 94 составляющих, что практически исключает полноценную экспертизу особенностей функционирования АХиСБ комплекса вуза путем восстановления соответствующего взвешенного ориентированного графа.

Прежде всего, это объясняется наличием при «одноуровневом» представлении значительного количества потенциальных взаимосвязей между отдельными элементами рассматриваемой социальной системы, равного $94 \times 94 = 8836$. Конкретизация такого числа связей (существования, направленнос-

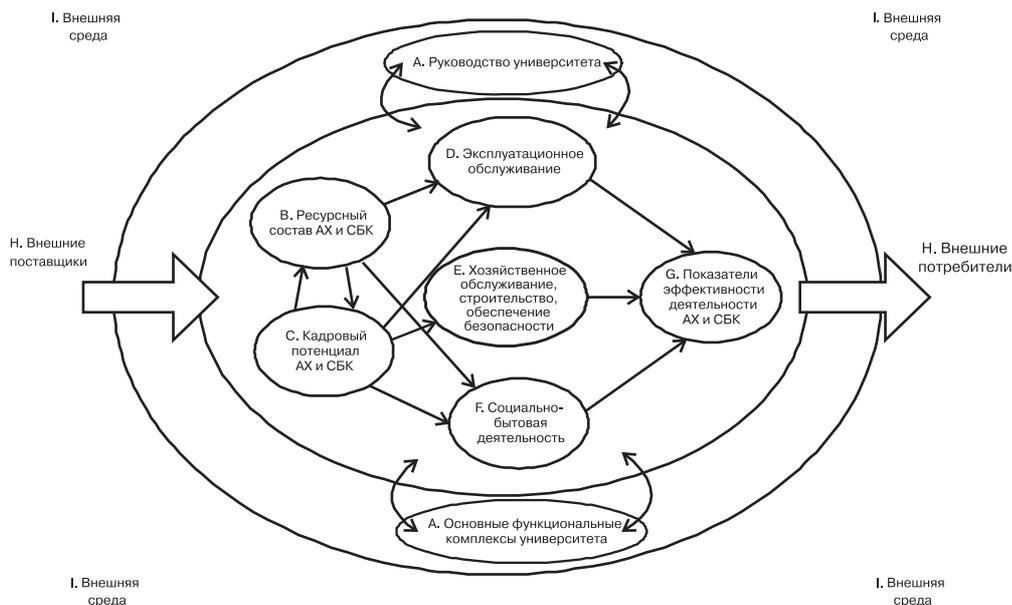


Рис. 1 Структурная схема АХ и СБ комплекса

ти, инерционности, интенсивности каждой из них) существенно превышает реальные возможности экспертов квалифицированно и с необходимой долей стабильности произвести их оценку.

Существенно уменьшить общее количество взаимосвязей между элементами данной системы возможно за счет ее приведения к двух- или многоуровневому иерархическому виду путем декомпозиции. Как известно, сложные социальные системы декомпозируемы, так как межэлементные связи внутри их подсистем, как правило, более многочисленны и более выражены, чем связи между элементами, классифицированные в состав различных подсистем [17]. При структурной декомпозиции общее уменьшение количества взаимосвязей в системе достигается вследствие того факта, что сумма их числа по отдельным подсистемам даже с учетом введения дополнительных элементов, порожденных дополнительными иерархическими связями, для разноуровневого представления рассматриваемой структуры значительно меньше величины N^2 . Иллюстрация данного

факта представлена на **рис. 2**, где для системы, состоящей из восьми элементов одноуровневое представление обуславливает наличие до 64 взаимосвязей между ними (**рис. 2 а**). Декомпозиция данной системы с выделением двухуровневой иерархии, выполненная в соответствии с рекомендациями, представленными в [18], приводит к увеличению числа структурных элементов до 10 и снижению максимально возможного количества взаимосвязей между ними до 49 (**рис. 2 б**). Дальнейшая декомпозиция системы до получения трехуровневой иерархической структуры сопровождается ростом числа элементов до 14 и дальнейшим уменьшением максимально возможного количества межэлементных взаимосвязей до 31 (**рис. 2 в**).

Однако наряду со значимым снижением числа межэлементных связей, оцениваемых экспертами, результатом декомпозиции сложных систем является повышение количества подсистем и увеличение в их структуре иерархических уровней, что, безусловно, усложняет последующий анализ закономерностей трансформации моделируемого социального комплекса и делает менее обозримым прогнозируемые изменения всех его составляющих. Например, для вышерассмотренного примера структурной декомпозиции представление системы на двух иерархических уровнях соответствует ее компоновка из трех подсистем (см. **рис. 2 б**), а ее представление на трех уровнях – семи подсистем (**рис. 2 в**). Поэтому к эффективным вариантам декомпозиции структуры сложных социальных систем следует отнести те, которые наряду со снижением общего числа потенциально существующих взаимосвязей обеспечивают малый рост количества выделяемых подсистем и иерархических уровней в составе результирующей структуры. Определение указанных вариантов декомпозиции сложных социальных систем не очевидно и в настоящей работе применительно к АХ и СБ

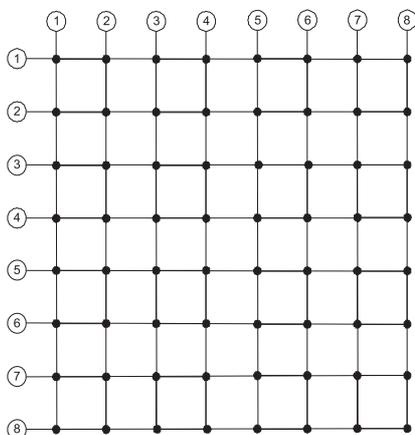


Рис. 2а Схема взаимосвязей системы из 8 элементов

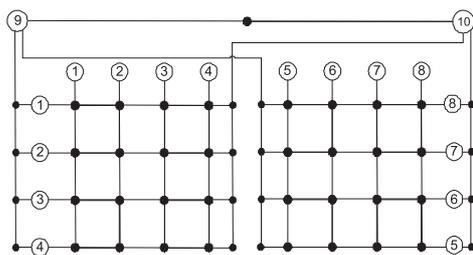


Рис. 2б Декомпозиция системы с выделением двухуровневой иерархии

комплексу университета производится в ходе вычислительного эксперимента.

Исследование структурной схемы АХ и СБ комплекса (см. рис. 1) показывает, что из девяти групп его элементов и взаимодействующих с ними факторов, характеризующих внутренних и внешних поставщиков, потребителей, а также элементов глобальной внешней среды, иерархическое представление целесообразно по отношению ко всем группам кроме последней. Для ограничения количества альтернативных вариантов структурной декомпозиции данной социальной системы группы элементов *A, B, C, F, G* и *H* (см. рис. 1) поочередно представляли на одном или двух иерархических уровнях. Вместе с тем группы, объединяющие функциональные составляющие эксплуатационного обслуживания (группа *D* на рис. 1), а также хозяйственного обслуживания, строительства, обеспечения безопасности (группа *E* на рис. 1), вследствие значительного разнообразия направлений деятельности в ходе декомпозиции должны быть рассмотрены при их представлении на одном, двух и трех иерархических уровнях. Таким образом общее количество вариантов декомпозиции рассматриваемой сложной социальной системы в полном факторном вычислительном эксперименте составляет $2^6 \times 3^2 = 576$ сочетаний. Привлечение планирования многофакторных экспериментов, изложенных в [9], позволяет ограничиться 16 основными вариантами декомпозиции системы. В ходе исследования для каждого из выделенных вариантов анализировали структуру системы, получаемую при декомпозиции, и определяли максимальное количество потенциальных межэлементных взаимосвязей, подсистем и иерархических уровней. Определение эффективности каждого из вариантов декомпозиции рассматриваемой системы осуществляли с использованием критерия:

$$K = 0,5(K_1 + 0,5(K_2 + K_3)),$$

где K_1 – максимально возможное количество взаимосвязей между составляющими АХ и СБ комплекса и факторами внешнего влияния; K_2 и K_3 – соответственно количество подсистем моделируемой системы после ее декомпозиции; и количество иерархических уровней данной системы после ее декомпозиции.

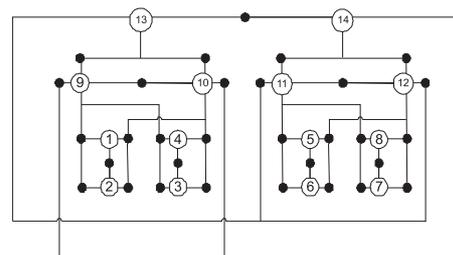


Рис. 2в Дальнейшая декомпозиция системы до получения трехуровневой иерархической структуры

В представленной формуле частные показатели K_1 , K_2 и K_3 имеют нормированный вид, в соответствии с которым наибольшим значениям этих показателей среди всех сравниваемых вариантов присваивали величину 2, а наименьшим значениям – величину 1. Соответственно, эффективные декомпозиции социальной системы АХ и СБ комплекса характеризуются минимальными значениями критерия *K*. Представленный вид критерия эффективности варианта декомпозиции сложной социальной системы, во-первых, учитывает близкий характер изменения частных показателей K_2 и K_3 , усредняя их значения, а во-вторых, предполагает равенство значимости показателей K_1 и $(K_2 + K_3)$ при оценке эффективности различных вариантов структурной декомпозиции.

Обобщение результатов вычислительного эксперимента осуществляли в виде полиномиальной зависимости, построенной с использованием регрессионного анализа. Состав параметров зависимости определяли, привлекая метод случайного баланса:

$$K = 3,518 - 0,04A + 0,22B + 0,015C - 1,38D - 0,86E + 0,01F - 0,01G + 0,33D^2 + 0,28E^2 - 0,1BE - 0,01CE$$

где обозначения *A – G* – соответствуют группам элементов, указанным на рис. 1.

Величины переменных *A – C* и *F – H* в полученной зависимости варьируются в интервале 1 – 2, *D* и *E* – в интервале 1 – 3, что обозначает число иерархических уровней представления каждой группы элементов рассматриваемой социальной системы для различных вариантов декомпозиции. Полученная зависимость характеризуется коэффициентом корреляции между исходными и аппроксимированными значениями критерия *K*, равным 0,858 при критическом значении коэффициента корреляции, для 14 степеней свободы и 95 процентного уровня значимости, составляющем 0,497; максимальным отклонением его аппроксимированных значений от исходных, равным 0,076 и средним отклонением – 0,042 в интервале варьирования критерия от 1,342 до 1,716. Рассмотрение графического представления полученной зависимости позволяет выделить перечень наиболее эффективных вариантов декомпозиции структуры АХиСБ комплекса и групп факторов внешнего влияния (рис. 3). Базируясь на представленной

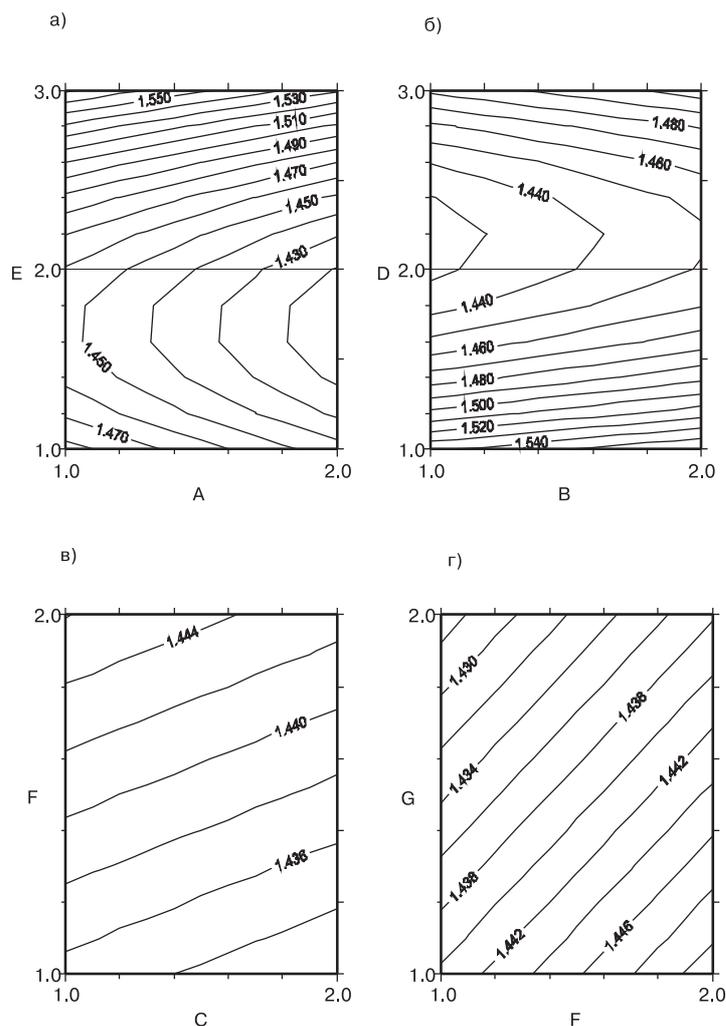


Рис.3 Наиболее эффективные варианты декомпозиции структуры АХ и СБ комплекса и групп факторов внешнего влияния.

графической информации и составе параметров аппроксимирующей зависимости, можно обосновать следующие эффективные варианты декомпозиции моделируемой сложной социальной системы: $A = 2$; $B = 1$; $C = 1$ или 2 ; $D = 2$; $E = 2$; $F = 1$; $G = 2$; $H = 1$ или 2 ; $I = 1$. Эти варианты соответствуют минимальным значениям K , равным $1,39 - 1,40$. Декомпозиция «одноуровневой» структуры АХиСБ комплекса университета в соответствии с выявленным вариантом приводит к двухуровневому иерархическому построению рассматриваемой сложной социальной системы, которая на втором иерархическом уровне включает 6 подсистем. Характеристика структуры данной системы после её декомпозиции приведена в табл. 1.

В результате изложенного преобразования для получения необходимой информации о строении структуры экспертам необходимо рассмотреть наличие, направленность, инерционность и интенсивность действия межэлементных взаимосвязей среди 5940 сочетаний структурных элементов. Сопоставление с трудозатратами экспертов при одноуровневом представлении структуры рассматриваемой системы показывает их снижение для полученного в ходе декомпозиции структурного варианта на 33 %, что способствует получению существенно более стабильных и реализуемых в значительно более короткие сроки результатов экспертизы. Отмеченное улучшение состояния исходной экспертной информации повышает досто-

Таблица 1

Число элементов и количество межэлементных взаимосвязей, включенных в структуру каждой из подсистем структуры АХ и СБ комплекса университета при его декомпозиции по наиболее эффективному варианту

Обозначение подсистем	A	B	C	D	E	F	G	H	I	В сумме элементов	В сумме межэлементных взаимосвязей (максимальное количество)
Подсистема 1-го уровня иерархии	1	7	1	4	4	7	1	3	13	41	1681
Подсистема А 2-го уровня иерархии	9	7	1	4	4	7	1	3	-	36	567
Подсистема С 2-го уровня иерархии	1	7	6	4	4	7	1	3	-	33	360
Подсистема D 2-го уровня иерархии	1	7	1	20	4	7	1	3	-	44	1360
Подсистема E 2-го уровня иерархии	1	7	1	4	14	7	1	3	-	38	868
Подсистема G 2-го уровня иерархии	1	7	1	4	4	7	10	3	-	37	640
Подсистема H 2-го уровня иерархии	1	7	1	4	4	7	1	8	-	33	464

верность результатов прогнозирования исследуемой сложной социальной системы, получаемых методом качественного моделирования.

Изложенный подход, направленный на определение эффективных вариантов декомпозиции АХиСБ комплекса университета, может быть использован в процессе прогнозного моделирования широкого класса сложных социальных систем или систем со значительной долей социальных составляющих. Кроме того, структурная декомпозиция социальных систем, минимизирующая как количества потенциальных связей между их элементами, так и перечней получаемых при этом подсистем, а также иерархических уровней соподчинения, имеет и непосредственную практическую востребованность, способствуя обоснованию рациональной структуры управления организационными системами или реализуя элементы управленческого аудита при анализе эффективности строения действующих систем.

Библиографический список

1. *Минько Э.В., Минько А.Э.* Теория организации производственных систем. – М.: Экономика, 2007. – 493 с.
2. *Ильин Н.И., Лукманова И.Г., Немчин А.М. и др.* Управление проектами. – СПб.: «Два Три», 1996. – 610 с.
3. Исследование операций. В 2-х томах / Под ред. Дж. Моулдера, С. Элмаграби. – М.: Мир, 1981. Т. 2. – 677 с.
4. Имитационное моделирование производственных систем / Под общ. ред. А.А. Вавилова. – М.: Машиностроение, Берлин: Техник, 1983. – 416 с.
5. *Форрестер Дж.* Основы кибернетики предприятия. – М.: Прогресс, 1971. – 340 с.
6. *Аврамчук Е.Ф., Вавилов А.А., Емельянов С.В. и др.* Технология системного моделирования – М.: Машиностроение: Берлин: Техник. 1988. – 520 с.
7. *Марка Д., МакГоуэн К.* Методология структурного анализа и проектирования. – М.: МетаТехнология. 1993. – 240 с.
8. *Калянов Г.Н.* Консалтинг при автоматизации предприятий: подходы, методы, средства – М.: СИНТЕГ, 1997. – 316 с.
9. *Давыдов А.А.* Системный подход в социологии: законы социальных систем. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 256 с.
10. *Де Брюйн Х.* Управление по результатам в государственном секторе. – М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2005. – 192 с.
11. Моделирование развития основных направлений деятельности вуза. *В.В. Хван, В.В. Бринза, В.П. Соловьев и др.* // Качество. Инновации. Образование. 2004. № 3. С. 18 – 27.
12. *Бринза В.В., Германова А.В.* Моделирование активизации процесса создания интеллектуальной собственности // Университетское управление: практика и анализ. 2006. № 2 (42). С. 79 – 87.
13. *Бринза В.В., Хван В.В., Коровин А.В.* Повышение эффективности функционирования сложных социальных систем на основе использования информации о внутренних закономерностях развития их составляющих // «Вестник МГТУ им. Г.И. Носова». 2006. № 4 (16). С. 136 – 144.
14. *Губко М.В.* Математические модели оптимизации иерархических структур. – М.: ЛЕНАНД, 2006. – 264 с.
15. *Мишин С.П.* Оптимальные иерархии управления в экономических системах. – М.: ПМСОФТ, 2004. – 190 с.
16. *Воронин А.А., Мишин С.П.* Оптимальные иерархические структуры. – М.: ИПУ РАН, 2003. – 214 с.
17. *Ван Гиг Дж.* Прикладная общая теория систем. – М.: Мир, 1981. – 733 с.
18. *Саати Т.Л.* Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 360 с.
19. *Addelman S. Kempton O.* Orthogonal Main – Effect Plans. ASTIA Arlington Hall Station. Arlington, 1961.