

**РАЗДЕЛ IV**  
**ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА**  
**И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ РИСКАМИ**  
**И БЕЗОПАСНОСТЬЮ**

---

**Проблема синтеза  
иерархических структур управления**

А. Ю. Попович, В. Н. Цыгичко

Проблемы синтеза иерархических систем управления организациями давно привлекают внимание исследователей. Содержательному описанию свойств иерархии и полученным опытным путем практическим рекомендациям по построению иерархических систем управления посвящена богатая библиография. Однако стройной и непротиворечивой теории, объясняющей закономерности возникновения и функционирования феномена иерархического управления и позволяющей создать инструментарий его синтеза, до сих пор не существует. Это объясняется, прежде всего, тем, что иерархическая система управления является сложной социальной организацией, в которой человеческий фактор играет первостепенную роль, а его формализация является пока до конца не решенной проблемой.

Обсуждению системообразующих структур управления посвящались специальные разделы классических трудов начала двадцатого века, таких как [11–18]. В середине двадцатого века появились работы, рассматривающие иерархические структуры управления организационных систем с позиции математического моделирования. Первым систематическим исследованием стала «Теория иерархических многоуровневых систем» М. Месаровича, Д. Мако, И. Такахара [5], которая до сих пор остается одной из наиболее авторитетных и зна-

чимых работ в этой области. Свое развитие теория иерархических социально-экономических систем получила в работах [1–3]. Здесь впервые поставлена задача синтеза, иерархических систем управления, проведено ее исследование, показаны предпосылки для создания подхода к решению.

В наши дни существует множество работ, демонстрирующих различные подходы к моделированию иерархических систем [10], [19–23], однако большинство из них предлагает в лучшем случае формальное описание процессов функционирования и анализ существующих практик, в то время как вопросы построения и модификации структур обходятся стороной. Применимых на практике механизмов синтеза по-прежнему не существует. Как и столетия назад, организации создаются по интуиции и опыту руководителя. В достаточно развитых областях системы строятся по аналогии с существующими, доказавшими свою эффективность. Однако подчас шаблонное перенесение опыта не дает ожидаемых результатов, поскольку не учитывает различий в области задач, условий функционирования, не исследует сильные и слабые стороны, не реализует уникальные потенциальные возможности конкретного образования. Тем более сложно формировать структуры систем, чья деятельность связана с новыми и развивающимися областями в периоды быстро меняющихся внешних условий. Стремительный прогресс и усложнение практически всех областей жизни общества привел к тому, что в наши дни классы задач, решаемых существующими организационными системами быстро эволюционируют и видоизменяются, более того новые потребности приводят к появлению принципиально новых структур.

В последние десятилетия интерес к вопросам синтеза и модификации иерархических структур возрос как никогда. Проблема обсуждается на междисциплинарных научно-практических конференциях и форумах [24], освещается в трудах ученых различных областей знания. Для практического дизайна организаций предлагаются работы, обобщающие опыт и существующие представления о принципах построения эффективных структур [6], [7], [28], [29].

Что же касается математического моделирования, к успехам можно отнести решение задач оптимизации иерархических структур и задач построения информационно-управляющих систем. Первые представляют собой задачи минимизации заданной функции затрат (либо максимизации целевой функции) на множестве графов [25–26]. Однако и эти работы не приближают нас к пониманию механизма синтеза иерар-

хических систем управления. Для решение этой фундаментальной задачи, прежде всего, необходимо ответить на вопрос о том, что приводит к созданию и росту иерархии системы управления социально-экономическими организациями.

Коротко напомним основные свойства иерархических систем управления.

Иерархия — это естественная форма управления сложными объектами различной природы, позволяющая организовать совместное функционирование разнородных элементов, составляющих эти объекты, для достижения общей цели. Иерархическая организация предназначена для обеспечения наилучших условий реализации процессов информационного обмена и принятия решений как в сложившейся структуре управления, так и путем изменения самой организации, приспособлением ее структуры и функций к изменениям внешних и внутренних условий жизнедеятельности.

Структура иерархии управления определяется масштабом социальной организации, функциональным многообразием ее элементов, особенностями воздействия окружающей среды и возможностями людей принимать решения в сложных ситуациях.

Иерархическая организация представляет собой многоуровневую структуру, состоящую из взаимосвязанных подсистем, элементы которых имеют право принимать решения. Иерархия организации определяет порядок соподчинения подсистем и элементов в системе управления, распределение управленческих функций и ответственности. Вышестоящим элементам иерархии управления принадлежит приоритет решений и право вмешательства в действия подчиненных ему нижестоящих элементов.

Нижестоящий элемент свободен в своих решениях в рамках поставленных ему сверху задач и ограничений, т. е. обладает определенной «степенью свободы» в своей деятельности.

Жизнедеятельность подобной структуры осуществляется за счет информационного обмена между элементами, как по вертикали, так и по горизонтали.

Вышестоящий элемент с помощью информационного обмена организует взаимодействие, координацию и контроль деятельности подчиненных ему нижестоящих элементов для достижения целей, поставленных ему элементом более высокого уровня.

Нижестоящий элемент влияет на решение вышестоящего путем его информирования о своем состоянии и последствиях принимаемых

им решений. Вышестоящий элемент в соответствии с получаемой снизу информацией корректирует свои решения, согласовывая решения нижних уровней с целями всей организации.

Обмен информацией по горизонтали, т. е. между подразделениями одного уровня управления, предполагает взаимное информирование о состоянии, условиях, планах деятельности и проблемах без вмешательства вышестоящего звена управления. Это взаимодействие осуществляется в рамках определенной для каждого звена управления степени свободы, т. е. ограничивается пределами компетентности и ответственности. Процесс взаимного обмена информацией по вертикали и горизонтали иерархии образует прямую и обратную связь в системе управления.

Управление носит циклический характер, т. е. все этапы процесса управления периодически повторяются через определенный отрезок времени — цикл управления, который является одной из основных характеристик системы управления. Цикл управления включает циклы управления всех звеньев иерархии организации. Продолжительность цикла определяется периодически возникающей необходимостью вмешательства в управляемый процесс для корректировки его целей и характера функционирования.

Объективной характеристикой функциональных возможностей системы управления является время ее реакции на внезапные, непрогнозируемые изменения условий деятельности организации. Время реакции системы является минимальным циклом управления и зависит как от совершенства самой организации, так и от характера и степени внезапного изменения условий функционирования, т. е. от сложности проблем, которые необходимо решить в кратчайший срок. Быстрота реакции на внезапные изменения ситуации (условий функционирования) характеризует адаптивные свойства организации, так как является пределом ее управленческих возможностей. Если ситуация меняется быстрее времени ответной реакции, то организация становится неуправляемой.

Адаптивные свойства организации обеспечиваются, помимо прочего, иерархической структурой построения управления. Уровни управления характеризуются различным временем реакции. Чем выше уровень управления, тем сложнее решаемые им проблемы и тем больше времени уходит на сбор информации, ее обработку и принятие решения.

Распределение управляющих функций по уровням иерархии позволяет решать возникающие трудности в рамках определенной каж-

дому звену «степени свободы», т. е. в пределах его компетентности. Небольшие отклонения от нормальной деятельности можно быстро ликвидировать на нижнем уровне управления, но чем серьезнее причина изменения условий функционирования организации, тем на более высоком уровне управления должны решаться возникающие проблемы.

*Исходными моментами построения иерархической структуры управления является масштаб организации и время цикла ее управления. Основным механизмом синтеза иерархической структуры является процедура разделения функций по непосредственному управлению производством и функций по координации деятельности всех звеньев организации.*

Разделение управленческих функций происходит тогда, когда звено управления не справляется со своими задачами в заданный цикл управления. Это происходит из-за высокой сложности или большого количества возложенных на управляющее звено задач, которые не могут быть успешно решены за заданное время ограниченным числом сотрудников.

Проанализируем задачи, решаемые в системах с позиции их трудоемкости.

Какие производственные задачи, считаются трудновыполнимыми? К примеру, задача перевода рукописного текста в электронный, то есть набор текста на персональном компьютере, проста по своей сути, с ней справится каждый пользователь ПК. Однако, если необходимо набрать тысячи листов в сжатые сроки, для одного человека это может оказаться невыполнимой задачей. С другой стороны, математическая задача, решение которой умещается на одной странице, оказывается невыполнимой для человека, не имеющего математического образования, даже в условиях отсутствия жестких ограничений по времени. Следовательно, трудоемкость задачи исходит по крайней мере из двух базисных параметров: нагрузки (которая часто может рассматриваться как время, требуемое на решение задачи) и сложности (в значении, иллюстрируемом вторым примером). Для удобства дальнейшего изложения введем следующие обозначения:

- нагрузка —  $p$  ;
- сложность —  $c$  .

Сотрудник, которому поручается задача, должен обладать достаточными резервами рабочего времени, чтобы справиться с нагрузкой,

налагаемой новой задачей, и достаточной квалификацией, чтобы справиться с ее сложностью. Другими словами, для каждой управленческой задачи существуют предельная нагрузка —  $p^*$  и предельная сложность (то есть требования по квалификации) —  $c^*$ . Предположим, мы говорим об отделе, все сотрудники которого выполняют однотипную работу. На каком-то этапе развития организации отделу могут поручаться новые задачи, требующие ежедневного решения (как при расширении производства). Если человеческих ресурсов отдела достаточно для решения новых задач (то есть задачи могут быть распределены между сотрудниками таким образом, что сложность задач поручаемых сотруднику не превышает его компетенции, а нагрузка его резервов рабочего времени), то структура системы не требует изменений. В противном случае для выполнения новых задач необходимо привлечение новых исполнителей, происходит рост системы по горизонтали.

Конечно, в приведенном примере мы несколько упростили ситуацию. В реальности может существовать связь между параметрами, в особенности это следует учитывать при рассмотрении предельных ситуаций. Если сложность задачи слегка превышает  $c^*$ , в ряде случаев сотрудник справится с задачей, если он не слишком ограничен во времени. Аналогично с задачами, для которых  $c < c^*$ , а нагрузка слегка превышает резервы. Так или иначе, способность либо неспособность сотрудника решить задачу зависит не от самих параметров сложности и нагрузки, а от их отношений к характеристикам элемента:

$$\frac{p}{p^*}, \frac{c}{c^*}.$$

Рассмотрим иерархическую структуру системы на рис. 1. Как известно, при анализе проблем управления принято различать уровни координирующих, управляющих и исполнительных элементов.

*Координирующий* элемент — это звено системы управления, согласовывающее действия нижестоящих звеньев.

*Управляющие элементы* — образуют нижний уровень управления, непосредственно воздействуя на исполнительные элементы системы.

*Исполнительный элемент* — наименьшая составная часть в декомпозиции системы, которая выполняет определенную функцию, например производит какую-либо часть конечного продукта. Совокупное

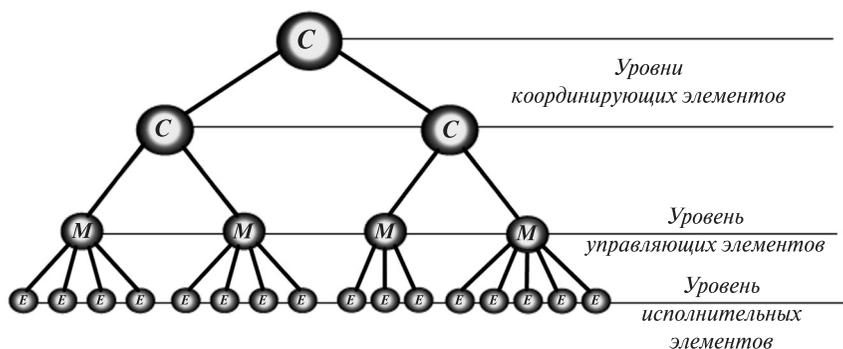


Рис. 1. Многоуровневая система управления

целенаправленное действие исполнительных элементов системы составляет процесс ее производственного функционирования.

Увеличение числа исполнителей ведет к увеличению нагрузки на управляющие элементы. При превышении некоторого предела нагрузки по управлению, управляющий элемент более не может эффективно выполнять свои функции. Необходимо добавление нового элемента на второй уровень, который возьмет на себя часть нагрузки. Расширение второго уровня приведет к увеличению нагрузки на элементы третьего и так далее.

Кроме того, важным этапом в развитии системы является появление задач по новой специализации. Появление задач по новой специализации требует создания функционально нового звена. По отношению к структуре управления такой рост представляется скачкообразным расширением как минимум первого и второго уровней, и увеличением нагрузки на последующие.

Как оценить норму управления? Как определить, справится ли конкретный элемент с конкретным множеством задач, если речь идет о задачах по управлению?

Важнейшей особенностью мышления является ограниченность степени сложности решаемой человеком проблемы. Это означает, что при принятии решения одновременно может быть учтено только ограниченное количество взаимодействующих факторов и условий составляющих существо рассматриваемой проблемы. Проведенные с помощью специальных тестов исследования показали, что опытные администраторы при решении предложенных им задач одновременно могли учитывать от 5 до 10 различных факторов и условий. Такой разброс можно объяснить различной сложностью тестов, т. е. слож-

ностью взаимодействия факторов и условий в задаче и разной подготовкой, опытом и способностями администраторов, подвергавшихся исследованиям. Несомненно, что подобные эксперименты далеки от совершенства, тем не менее результаты проведенных исследований позволяют утверждать, что предел сложности решаемой человеком проблемы существует и может быть измерен. Назовем этот предел «порогом сложности», который отвечает следующим двум аксиомам [1].

1. Каждой задаче управления соответствует определенный порог сложности.
2. Порог сложности — неубывающая функция времени, отведенного на принятие решения.

Для принятия решения необходима информация, содержащая сведения о целях и задачах управляемой организации или ее подразделений, критериях деятельности и границах управляемости объекта, состоянии объекта управления, механизме функционирования, закономерностях и тенденциях развития объекта, возможных изменениях условий деятельности организации, альтернативных стратегиях деятельности, возможных альтернативах решения; последствиях реализации альтернатив, механизмах выбора лучшей альтернативы. Каждая составляющая приведенной информационной структуры решения представляет собой набор количественных или качественных параметров. Поскольку функционирование систем управления протекает в условиях неопределенности, истинные значения параметров неизвестны. Принимающий решение может определить только интервалы  $l$ , содержащие возможные значения этих параметров. Для каждого решения объективно существует допустимая точность задания информации, то есть минимальные интервалы  $\delta$  значений параметров, обеспечивающих необходимую подробность описания управляемого процесса. Если информация о каком-либо параметре отсутствует, то интервал  $l$  будет содержать все возможные значения этого параметра. В другом крайнем случае, если вся информация о том или ином параметре известна, то интервал его возможных значений  $l$  будет совпадать с допустимым интервалом точности  $l = \delta$ . Процедура принятия решения представляет собой итеративный процесс последовательного уменьшения интервалов  $l$  возможных значений параметров, составляющих исходную информацию.

Пусть на каждый момент процедуры принятия решения для всех параметров  $j = \overline{1, J}$ , составляющих информацию, определены допус-

тимые интервалы точности задания численных значений  $\delta_j \in \Delta = \{\delta_j\}$  и интервалы возможных значений параметров  $l_j \in L = \{l_j\}$ , где  $L$  — область возможных решений. Разобьем интервалы возможных значений параметров  $l_j$  вектора  $L$  на участки длиной  $\delta_j$ . Каждый интервал содержит по  $N_j$  участков:

$$N_j = \frac{l_j}{\delta_j}.$$

Вероятность попадания численного значения  $j$  параметра в  $K_j$  участок интервала  $l_j$  обозначим  $P_{K_j}$ , где  $K_j = \overline{1, N_j}$ . В силу независимости компонент вектора  $L$  полная энтропия неполноты информации, согласно К. Шеннону:

$$\mathcal{E}_n = - \sum_{j=1}^J \sum_{K_j=1}^{N_j} P_{K_j} \log P_{K_j}.$$

Важной характеристикой управления системой является начальная неопределенность решения  $\mathcal{E}_{нач}$ , то есть неопределенность на момент начала реализации процедуры принятия решения.  $\mathcal{E}_{нач}$  — это начальное значение полной энтропии решения на момент  $t = 0$ , где  $t \in [0, T]$ ;  $T$  — время, выделенное на принятие решения.

$$\mathcal{E}_{нач} = \mathcal{E}_n(t = 0).$$

Начальная неопределенность решения характеризует степень стабильности функционирования управляемого объекта, внутренние и внешние условия его деятельности и является одним из важных индикаторов, на который необходимо ориентироваться при организации управления системой.

Еще больший интерес представляет остаточная неопределенность решения:  $\mathcal{E}_{ост} = \mathcal{E}_n(T)$ , ибо она позволяет судить о качестве принимаемого решения.

Опираясь на понятия начальной и остаточной неопределенности можно оценить «**качество решения**» через степень разрешения начальной неопределенности на момент  $T$ :

$$\chi(T) = 1 - \frac{\sup \mathcal{E}_{ост}(T)}{\sup \mathcal{E}_{нач}}.$$

$\sup \mathcal{E}_{ост}(T)$  показывает какая неопределенность остается для разрешения интуитивно-логическим путем, а  $\chi(T)$  — какую часть неопределенности удалось разрешить объективными методами за время  $T$ . В совокупности они характеризуют степень риска, которую берет на себя принимающий решение, прекращая поиски объективного обоснования своего решения [1–2].

Введенные понятия «порог сложности» и «качество решения» позволяют дать формальную постановку задачи синтеза иерархических структур управления социально-экономических организаций.

Пусть  $\Gamma\{\gamma, i\}$  — граф, отображающий структуру системы управления, и известна функция

$$\tau = \tau(\Gamma\{\gamma, i\}, \mathcal{E}_p, \{\mathcal{E}_{p_{нор}^{\gamma}}\}, \chi). \quad (1)$$

Требуется найти такой граф  $\Gamma\{\gamma, i\}$ , при котором достигается минимум функции (1) при условии, что  $\chi \geq \chi_{дон}$  (или  $\sup \mathcal{E}_{ост} \leq \mathcal{E}_{ост_{дон}}$ ) и выполняются условия:

$$\sum_i^I \mathcal{E}_{p_{нор}^{\gamma}} \geq \mathcal{E}_p^{\gamma} = \sum_{p_i}^I \mathcal{E}_{p_i}^{\gamma}, \quad i = \overline{1, I}, \mathcal{E}_{p_{нор}^{\gamma}} \geq \mathcal{E}_{p_i}^{\gamma}. \quad (2)$$

$$\mathcal{E}_p = \sum_{\gamma}^{\Gamma} \mathcal{E}_p^{\gamma} \leq \mathcal{E}_{p_{нор}}. \quad (3)$$

Здесь  $\chi_{дон}$  — допустимое качество решения проблемы управления в целом;  $\mathcal{E}_{ост_{дон}}$  — допустимая степень разрешения неопределенности проблемы управления объективными методами;  $i$  — номер последовательно решаемой задачи на  $\gamma$ -м этапе принятия решения;  $I$  —

число таких задач;  $\mathcal{E}_p^\gamma$  — априорная энтропия  $\gamma$ -го этапа принятия решения;  $\mathcal{E}_{p_i}^\gamma$  — априорная энтропия задачи  $i$  этапа  $\gamma$  принятия решения;  $\mathcal{E}_{p_{nop}}^\gamma$  — порог сложности;  $\tau$  — цикл управления системой.

В такой постановке задачи синтеза системы управления в качестве ограничения может присутствовать ее допустимая стоимость. В этом случае должна быть известна зависимость продолжительности цикла управления от затрат на создание системы управления —  $C(\tau)$ . Тогда условие  $C(\tau) \leq C_{don}$ , где  $C_{don}$  — предельно допустимая стоимость системы управления, дополнит сформулированную постановку задачи. В общем случае  $C_{don}$  может быть разложено на стоимость создания системы управления и стоимость ее эксплуатации в определенный период (например, в год).

Для многих социально-экономических систем оптимальный цикл управления  $\tau_{don}$  может быть жестко задан, тогда постановка задачи синтеза системы управления будет формулироваться следующим образом.

Найти такую структуру системы управления  $\Gamma\{\gamma, i\}$ , чтобы функция

$$C = C(\Gamma\{\gamma, i\}, \tau, \mathcal{E}_p, \{\mathcal{E}_{p_{nop}}^\gamma\}, \chi) \quad (4)$$

достигала минимума при условии, что  $\tau \leq \tau_{don}$ ;  $\chi \geq \chi_{don}$  и выполнялись условия (2), (3).

Сформулированная задача синтеза структуры управления организационными системами в каждом конкретном случае будут дополнены различными условиями и ограничениями, однако их существо не должно измениться.

Задачи синтеза структуры управления — сложнейшая и еще не решенная проблема теории больших систем. Основная трудность заключена в отыскании вида функций (1), (4) и порога сложности частных задач управления. Опираясь на понятия «порога сложности» и «качества решения», представляется возможным перейти к количественному определению пределов нагрузок по управлению на элементы системы и значений увеличения нагрузки на руководителя при введении в его отдел нового подчиненного. Введение подобных параметров

позволит рассчитать показатели роста системы по вертикали и горизонтали при постановке перед системой новых задач, что закладывает основу для создания механизма структурного синтеза.

## Литература

1. *Федулов А. А., Федулов Ю. Г., Цыгичко В. Н.* Введение в теорию статистически ненадежных решений. М.: КомКнига/URSS, 2007.
2. *Цыгичко В. Н.* Руководителю о принятии решений. М.: Финансы и статистика, 1991.
3. *Цыгичко В. Н.* Прогнозирование социально-экономических процессов. М.: КомКнига/URSS, 2007.
4. *Цыгичко В. Н.* Модели в системе принятия военно-стратегических решений в СССР. М: Империиум ПРЕСС, 2005.
5. *Месарович М., Мако Д., Такахара И.* Теория иерархических многоуровневых систем. М: Мир, 1973.
6. *Минцберг Г.* Структура в кулаке: создание эффективной организации. СПб.: Питер, 2004.
7. *Mintzberg H.* The Structuring of Organizations: A Synthesis of the Research. Prentice-Hall, 1979.
8. *Саати Т., Кернс К.* Аналитическое планирование. Организация систем. М: Радио и связь, 1991.
9. *Evan W. M.* Organization Theory Research And Design. N.-Y.: MacMillan, 1993.
10. *Beckman M. J.* Tinbergen Lectures On Organization Theory. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1983.
11. *Schulze J. W.* The American office; its organization, management and records. New York, The Ronald Press company, 1914.
12. *Marshall L. C., Lyon L. C.* Our economic organization. N.-Y.: MacMillan, 1921.
13. Executive control: building up your organization, establishing standard performances, management duties and divisions. Chicago: A. W. Shaw, 1915.
14. *Hine C.* Modern organization: an exposition of the unit system. N.-Y.: The Engineering Magazine Co., 1912.
15. *Johnson J. F.* Modern Business. N.-Y.: Alexander Hamilton institute, 1910.
16. *Wagner A. L.* Organization and Tactics. London, N.-Y.: B. Westermann, 1985.
17. *Andrews L. C.* Fundamentals of military service. Philadelphia and London: J. B. Lippincott company, 1916.
18. *Collins G. R. N.* Military organization and administration. London, Rees, 1918.
19. *Плотников В. Н., Зверев В. Ю.* Задачи принятия решений и их применение в иерархических системах управления. М.: Изд-во МГТУ, 1990.

20. *Кочкаров А. А., Кочкаров Р. А.* Предфрактальные графы в проектировании и анализе сложных структур. М.: Препринт. Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, 2003.
21. *Угольницкий Г. А.* Линейная теория иерархических систем. М.: Препринт. Института системного анализа РАН, 1996.
22. *Воронин Ю. А., Чугунов В. С.* О теории организаций и искусственном интеллекте. М., 2004.
23. *Губко М. В.* Математические модели оптимизации иерархических структур. М.: ЛЕНАНД/URSS, 2006.
24. Развитие и динамика иерархических (многоуровневых) систем (Теоретические и прикладные аспекты): Научные труды и материалы Всероссийской научно-прикладной конференции (Казань, КГПУ 21–22 ноября 2003 г.), Казань: ООО «Волга Пресс», 2003.
25. *Дементьев В. Т., Ерзин А. И., Ларин Ю. В., Шамардин Ю. В.* Задачи оптимизации иерархических структур. Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1996.
26. *Воронин А. А., Мишин С. П.* Оптимальные иерархические структуры. М: ИПУ РАН, 2003.
27. *Царегородцев А. В.* Теория построения иерархических информационно-управляющих систем. М.: Изд-во РУДН, 2004.
28. *Galbraith J. R.* Designing Organizations: An Executive Guide to Strategy, Structure, and Process. Jossey-Bass, 2001.
29. *Kalleberg A. L., Knoke K., Marsden P. V., Spaeth J. L.* Organizations in America: Analysing Their Structures and Human Resource Practices. Sage Publications, Inc. 1996.
30. *Lanchester F. W.* Aircraft in Warfare: The Dawn of the Fourth Arm. London: Constable and company limited, 1916.
31. *Fiske B. A.* The Navy As a Fighting Machine. US Naval Institute Press, 1988.
32. *MacKay N.* Lanchester combat models. University of York, 2005.
33. *Darilek R.* Measures of Effectiveness for the Information-Age Army. RAND Corporation, 2001.
34. *Jaiswal N. K.* Military Operations Research: Quantitative Decision Making. Springer, 1997.
35. *Stewart B. D.* An Interactive Use of the Lanchester Combat Model // Journal of Online Mathematics and its Applications. 2003. V. 3.
36. *Ilachinski A.* Artificial War: Multiagent-Based Simulation of Combat. World Scientific Publishing Company, 2004.
37. *Ilachinski A.* Land Warfare and Complexity. Alexandria, Virginia, Center for Naval Analyses, 1996.
38. *Sheeba P. S., Ghose D.* Optimal Resource Allocation in Military Conflicts with Lanchester Square Law Attrition using Time Zero Allocation Strategies. Tech-

- nical Report GCDSL, Department of Aerospace Engineering Indian Institute of Science. 2007.
39. *Cares J. R.* An information age combat model. Alidade Incorporated, TPD-01-C-0023, 2004.
  40. *Вентцель Е. С.* Введение в теорию операций. М: Советское радио, 1964.
  41. *John O'Shaughnessy.* Business Organization (Study in Management). Harper-Collins Publishers Ltd, 1972.
  42. *Новицкий Н. И.* Организация и планирование производства. Минск: Новое знание, 2004.
  43. *Акбердин Р. З., Кубанов А. Я.* Совершенствование структуры, функций и экономических взаимоотношений управленческих подразделений предприятий при разных формах хозяйствования. М.: Ротапринт ГАУ имени Серго Оржоникидзе, 1993.
  44. *Кнорринг В. И.* Теория, практика и искусство управления. М.: НОРМА, 2001.
  45. *Williamson O.* Markets and Hierarchies: Analysis and Antitrust Implications. Free Press, 1975.
  46. *Williamson O.* Hierarchical Control and Optimal Firm Size // The Journal of Political Economy. Vol. 75. № 2 (1967). P. 123–138.
  47. *Simon H. A.* The Compensation of Executives. Sociometry. Vol. 20. № 1 (1957). P. 32–35.
  48. *Calvo. G.A., Wellisz S.* Supervision, Loss of Control and the Optimal Size of the Firm // The Journal of Political Economy. 1978.
  49. *Calvo. G.A., Wellisz S.* Hierarchy, Ability and Income Distribution // The Journal of Political Economy. 1979.
  50. *Qian Y.* Incentives and Loss of Control in an Optimal Hierarchy. The Review of Economic Studies. 1994.