

УДК 681.51

© Василенко В.В., Остроухов В.В., Бордюков М.М.
 Vasilenko V., Ostroukhov V., Bordjukov M.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ – МЕТОДИЧЕСКАЯ ОСНОВА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЮ

MODELLING OF FUNCTIONING PROCESSES OF COMPLEX ORGANIZATIONAL-TECHNICAL SYSTEMS – THE METHODOLOGICAL BASIS OF INVESTIGATION FOR THEIR PROGNOSTICATION

Аннотация. В статье излагаются цели и задачи исследований организационно-технических систем (ОТС), ориентированных на определение и прогнозирование их структуры, параметров и оценки их эффективности. С этой целью в статье предлагается для исследования ОТС и её подсистем использовать методы математического моделирования. Излагаются методические принципы построения математических моделей ОТС и определения их состава, а также декомпозиция моделей и их информационные взаимосвязи. Подчеркивается необходимость принципа универсальности при задании входных и выходных параметров моделей.

Annotation. In the article purposes and tasks of investigation of complex organizational-technical systems (OTS) for definition and prognostication of their parameters, structure and estimation of their efficiency are considered. For investigation of OTS and their subsystems it is suggested to use methods of mathematical model construction of OTS are stated, as well as model decomposition and their information intercommunications. Necessity of universality principle is emphasized when setting in and out parameters of models.

Ключевые слова. Организационно-техническая система, моделирование, математическая модель, эффективность системы, методические принципы, постановка задачи.

Key words. Organizational-technical system, modelling, system efficiency, mathematical models, methodical principles, problem set.

Исследования сложных организационно-технических систем (ОТС) при прогнозировании их развития ориентированы на решение ряда оптимизационных и оценочных задач, связанных с определением их рационального состава и оценкой их эффективности. Будем считать, что на сложную ОТС с параметрами X возложено решение широкого круга задач, связанных с их деятельностью. Из общего числа целевых задач, решаемых ОТС, выберем те из них N , которые требуют реализации наибольшего количества организационно-технических мероприятий с параметрами M для достижения поставленной цели с эффективностью V .

Будем полагать также, что в решении основных целевых задач ОТС участвуют Q организационно-технических подсистем (ОТПС), оснащенных необходимым количеством сложной техники с параметрами X_q , различной по назначению и устройству.

Эффективность функционирования такой системы V определяется также и большим количеством внешних факторов (условий) Z , параметрами инфраструктуры ОТС X_{ii} . Как внешние, так и внутренние факторы могут оказывать существенное влияние на характер функционирования ОТС и, следовательно, на их выходной эффект в ходе решения целевых задач.

Василенко Владимир Васильевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, 4 ЦНИИ Минобороны России, тел. (495) 515-70-48;

Остроухов Владимир Васильевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник управления, 4 ЦНИИ Минобороны России;

Бордюков Михаил Михайлович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, 4 ЦНИИ Минобороны России.

Vasilenko Vladimir – Dr. Sci.Tech., prof., the chief research worker, 4 Central Scientific Research Institute Ministry of Defence of Russia, tel. (495) 515-70-48;

Ostroukhov Vladimir – Dr. Sci.Tech., prof., the chief research worker of department, 4 Central Scientific Research Institute Ministry of Defence of Russia;

Bordjukov Michail – Kand.Sci.Tech., the leading research worker, 4 Central Scientific Research Institute Ministry of Defence of Russia.

В обобщённом виде функционал для показателя V (группы показателей) может быть представлен в следующем виде:

$$V = f(W) = f(X, X_q, X_w, Z, D), \quad (1)$$

где D – ограничения и допущения, принимаемые при исследовании ОТС;

$$W = \{X, X_q, X_w, Z, D\}. \quad (2)$$

Природа функционирования ОТС и её ОТПС в ходе решения ими целевых задач и количество свойственных им связей таковы, что они не поддаются описанию средствами традиционной математики, а требуют разработки и применения для их исследования математических моделей различного уровня и назначения, устанавливающих алгоритмическую связь соответствующих показателей или целевых функций F с наиболее влияющими на них параметрами, включенными в исследовательскую схему. Это тем более необходимо, поскольку, как показывает опыт, при исследовании таких сложных организационно-технических систем приходится решать достаточно широкий круг задач, характерных для системных исследований: распределительных задач, задач массового обслуживания, управления запасами, оптимального планирования, выбора оптимальных режимов применения средств и т.д. При аналитическом подходе описание процессов осуществляется в форме функциональных уравнений. Однако на их основе можно исследовать лишь самые простейшие процессы функционирования ОТС при сравнительно грубых предположениях. В случае усложнения процессов возникают громоздкие и, как правило, нерешаемые уравнения. При алгоритмическом подходе это обстоятельство не является препятствием, поскольку связь показателей и целевых функций с многочисленными параметрами процессов решения целевых задач в этом случае осуществляется в форме математического описания отдельных фаз и подпроцессов и объединения их с помощью логических операторов в единый процесс. Алгоритмическая форма решения задач исследования ОТС дает возможность использовать современные вычислительные средства и не укладывать процессы функционирования ОТС в рамки аналитического подхода, который может увести далеко за пределы тех реальных задач, которые мы действительно хотим рассматривать при исследовании ОТС.

Итак, комплексные исследования по прогнозированию развития ОТС и оценке их эффективности с наибольшей полнотой и точностью и в приемлемые сроки могут быть проведены на основе создания алгоритмических моделей ОТС и моделирования на ЭВМ процессов её функционирования. Алгоритмические модели ОТС

дают возможность исследовать процессы решения целевых задач с отображением реальных условий их функционирования (применения). В этом случае путем доступного математического аппарата представляется возможным построить модели ОТС с учетом возможного изменения структуры, состава ОТПС и ОТС в целом, а также параметров внешних условий и др. Многократное воспроизведение процессов функционирования ОТС на таких моделях позволяет определить основные закономерности влияния отдельных параметров (групп параметров) на выходной эффект решения целевых задач ОТС; выявить узкие места, ограничивающие возможности ОТС; выработать конкретные рекомендации, связанные с обоснованием требований по совершенствованию ОТС; оценить эффективность ОТС и их подсистем; выявить влияние на выходной эффект ОТС основных параметров, характеризующих их состав и структуру, и др.

Важной особенностью алгоритмических моделей является то обстоятельство, что они предоставляют информационные возможности для анализа и синтеза требований к ОТС и их параметрам в целях решения возложенных на них задач применительно к существующим, разрабатываемым и перспективным средствам ОТС, для оценки различных способов их применения.

Первый вопрос, который встает при разработке моделей в связи с выбором метода моделирования в качестве основного при проведении исследований ОТС и их ОТПС, состоит в том, сколько и какие модели необходимо разрабатывать, какова сложность каждой из них, как они будут взаимодействовать друг с другом?

Физическая природа различных требований к ОТС и их параметров, их зависимость от условий функционирования не одинаковы. Поэтому и в моделях, предназначенных для оценки их влияния, необходимо отображение различных особенностей функционирования ОТС и ОТПС и протекающих в них процессов, влияющих на них факторов и учитываемых ограничений. Должна осуществляться различная степень детализации отдельных подпроцессов в ходе решения целевых задач; допущения, приемлемые в одном случае, могут оказаться неприемлемыми в другом и т.д. Стремление к универсальности, одновременному удовлетворению всех этих требований в рамках одной модели сделало бы ее чрезвычайно громоздкой и сложной. Тем более, что применение метода моделирования приводит к необходимости воспроизведения достаточно большого числа одинаковых процессов (со случайными параметрами), так как точность получаемых результатов зависит при этом от количества реализаций.

Таким образом, применение сложной модели потребовало бы в этом случае чрезмерно больших затрат машинного времени и исключало бы возможность проведения исследований в достаточно короткие сроки.

Поэтому при исследовании ОТС необходимо воспользоваться иерархическим подходом. При иерархическом подходе общая задача исследования ОТС может быть расчленена на ряд подзадач, каждая из которых решается независимо от других. Частные решения затем координируются в рамках единого процесса, строящегося таким образом, чтобы как можно ближе подойти к полному решению всех задач в ходе исследований ОТС. Необходимость такой координации диктуется тем, что мы не сможем корректно исследовать те или иные параметры ОТС, и тем более решать задачу оптимального выбора состава их ОТПС, пока не сумеем каким-либо образом объединить все параметры ОТПС и ОТС в целом в рамках единого критерия (показателя), единой целевой функции.

При таком подходе для описания процессов решения целевых задач ОТС необходимо разработать комплекс алгоритмических моделей различного уровня.

При разработке такого многоуровневого комплекса моделей всегда стоит проблема поиска разумного компромисса между точностью воспроизведения и полнотой исследования процессов функционирования (применения) ОТС на модели, с одной стороны, и сложностью (трудоемкостью) процессов моделирования, а, следовательно, и оперативностью проведения исследований – с другой. Оба эти обстоятельства во многом определяются уровнем подготовки исследователя для работы с ЭВМ.

Разработанный комплекс моделей должен обеспечить как решение задач исследования ОТС по «верхнему» уровню, вытекающих из общей постановки задачи, так и решение широкого круга локальных задач.

По своей структуре и возможностям модели комплекса должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Каждая модель должна быть по возможности простой (экономичной) и вместе с тем обеспечить корректное отображение моделируемых процессов с тем, чтобы получить результаты с приемлемой точностью. Обеспечивать воспроизведение процессов с детализацией, достаточной для изучения их особенностей и определения наиболее существенных взаимосвязей и параметров. Должны быть обеспечены приемлемые трудозатраты и оперативность при реализации моделей на ЭВМ и непосредственном моделировании процессов.

2. Должна быть обеспечена возможность сопряжения моделей различных уровней друг с другом по своим входным и выходным параметрам в иерархической схеме их взаимодействия. Это неравнозначно ориентации на то, чтобы из тех или иных моделей низшего уровня непосредственно компоновать модель высшего уровня. Такая ориентация приводила бы вновь к построению громоздких моделей. Имеется в виду в основном использование результатов исследования, самостоятельно проведенного на одной модели, для определения законов распределения тех или иных случайных величин, для получения упрощенных обобщенных математических зависимостей (моделей), которые могут быть применены в моделях более высокого уровня.

3. Комплекс разработанных моделей должен обеспечить возможность решения всей совокупности задач по исследованию ОТС. В моделях должна быть обеспечена универсальность по заданию при моделировании структуры и параметров ОТС в целом и их ОТПС в широком диапазоне их изменения. Там, где это допустимо, должна быть предусмотрена унификация – возможность применения разработанных блоков в моделях различного назначения.

В свете изложенных требований к математическим моделям и исходя из анализа процессов решения целевых задач ОТС, а также учитывая накопленный опыт проведения исследований сложных и больших организационно-технических систем методами математического моделирования, для исследований по прогнозированию ОТС и оценке их эффективности, необходима в рамках алгоритмической связи (1) разработка математических моделей следующих уровней:

Первый уровень в этой иерархической системе – уровень моделирования процессов функционирования ОТС в целом. Модели этого уровня должны отображать процессы функционирования ОТС в увязке со всеми ОТПС для различных способов их применения, состава технических средств, информационного обеспечения процессов управления и др. Модели должны позволять оценивать по обобщенным показателям динамику и исход решения целевых задач в зависимости от состава организационно-технических средств и мероприятий, а также проводить обоснование и выбор их рационального состава, обеспечивающих решение целевых задач с требуемой эффективностью.

Второй уровень – уровень моделирования ОТПС. Модели этого уровня должны обеспечивать решение следующих групп задач:

- оценки эффективности функционирования

(применения) ОТПС в зависимости от их структуры, состава технических характеристик средств;

- оценки влияния, средств управления ОТПС на их показатели;
- обоснования и выбора рационального состава технических средств и организационно-технических мероприятий, а также требований к средствам управления, обеспечивающим решение возлагаемых на ОТПС задач с требуемой эффективностью.

Состав, сложность и детальность моделей этого уровня определяется их главным предназначением: они должны обеспечить корректное отображение процессов управления указанных средств и являться информационной основой для разработки обобщенных моделей этих средств с целью последующего использования их в качестве соответствующих блоков в моделях высшего уровня.

В принципе в зависимости от задач и целей исследования в научной практике имеют место модели и более низких уровней. Например, отдельных подсистем и блоков и др.

Подчеркнем еще раз, что математические модели в рамках реализуемых ими связей типа (1) могут являться методической, информационной основой для разработки комплекса разнообразных и конкретных методик и методов для исследований ОТПС и их ОТПС.

Проведя системную декомпозицию моделей по уровням, далее необходимо определить:

- сколько и каких моделей должно быть на каждом уровне;
- как должны взаимодействовать модели друг с другом на своем уровне, с моделями высшего и низшего уровней.

Задачу определения состава моделей на каждом уровне представляется целесообразным решать в следующей последовательности:

1. Определяется перечень исследовательских задач, которые предполагается решать с использованием моделей i -го уровня.

2. Для каждой j -й задачи определяется перечень V_j ее выходных параметров – показателей (или целевых функций)

$$V_j = \{v_{j1}, v_{j2}, \dots, v_{jn}\}, \quad (3)$$

характеризующих качество (эффективность) ее решения;

3. Для каждого выходного параметра v_j определяется совокупность факторов и входных параметров w_j ,

в зависимости от которых отыскивается параметр v_j , т.е. формируется функционал вида

$$V_j = f(W_j, D_j), \quad (4)$$

где W_j – множество параметров, которые по аналогии с (2) влияют на решение только j -й задачи.

4. Проводится комплексный смысловой анализ и сопоставление связей вида (4): анализируется физическая природа каждого фактора, входящего в совокупность W_j , формы его проявления и "физического" влияния на выходной эффект, оценивается их "совместимость" в данной группе задач. По результатам такого анализа из множества связей вида (4) группируются наиболее близкие связи, реализация которых целесообразна в рамках одной математической модели. Количество таких групп и предопределяет количество моделей на k -м уровне.

Как показывает практика, решающее значение при решении этой задачи имеет опыт исследователя, его научная квалификация в области исследования сложных систем методами математического моделирования. Но даже и при наличии такого опыта и квалификации исследователя выбранный таким образом состав моделей не следует считать окончательным. Его уточнение может быть проведено на этапах формализованного описания процессов и разработки моделирующих алгоритмов, по мере более глубокого "внедрения" исследователя в "физику" изучаемых, моделируемых процессов.

Зная параметры W, W_j теперь без особого труда может быть сделана конкретная постановка задачи на разработку k -й модели. Необходимо при этом иметь в виду следующее обстоятельство. Каждая k -я модель i -го уровня по меньшей мере должна выполнять две функции: автономную и внешнюю. При автономном ее использовании для решения комплекса исследовательских задач выходные параметры всецело "подчинены" и определяются целевой направленностью исследований и к ним, как правило, "внешние" требования могут и не предъявляться. Если же такая модель несет внешнюю функцию, т.е. "работает" на модели верхнего или нижнего уровня, то ее выходные параметры должны быть приведены "в одну систему координат". И в этом случае смысловое содержание и форма представления выходных параметров модели k -го уровня должны удовлетворять входам соответствующих моделей. При этом надо помнить, что подобная увязка входов и выходов моделей k -го уровня, как правило, должна строиться на основе создания обобщенных моделей соответствующих уровней.

Материал поступил в редакцию 1. 03. 2012 г.