

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ БЕЗОПАСНОСТИ

**В.П. Сугак, кандидат технических наук, доктор военных наук, профессор.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

С позиций системного подхода рассматривается такое важное понятие, как устойчивость функционирования системы. Отмечаются трудности, связанные с описанием поведения сложных систем и недостаточной формализацией самого понятия устойчивости применительно к подобного рода системам. Предлагается один из возможных подходов к определению основных понятий, касающихся устойчивости функционирования сложных систем в рамках общей теории систем.

Ключевые слова: математическое моделирование, сложная система, устойчивость

PROBLEMATIC ISSUES COMPREHENSIVE STUDY STABILITY OF THE COMPLEX SECURITY OBJECTS

V.P. Sugak. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

With the system approach is regarded as an important concept, as the sustainability of the system. The difficulties associated with the description of the behavior of complex systems and the lack of formalization of the concepts of sustainability in relation to such systems. One of the possible approaches to the definition of the basic concepts related to the stability of complex systems in the framework of general systems theory.

Keywords: mathematical modeling, a complex system, sustainability

В данной статье рассмотрим понятие устойчивости. Говоря о проблеме устойчивости, авторы статьи «Методологические основы математического моделирования сложных объектов безопасности» [1] довольно упрощенно оперируют этим понятием, утверждают, что «... устойчивость системы является верхней предельной (оптимистической) оценкой ее реальной эффективности», не дают рекомендаций по количественной оценке устойчивости и практическому использованию ее показателей на всех этапах жизненного цикла системы и в различных условиях обстановки, не приводят таких показателей.

В этой связи следует отметить важность применения системного подхода к исследованию основных проблемных вопросов, связанных с устойчивостью.

Как и при рассмотрении понятия эффективности дадим определение устойчивости в широком смысле.

Устойчивость, стабильность (лат. *stabilitas* – устойчивость, прочность, надежность, неизменность) – комплексное свойство системы сохранять свои основные характеристики, свое поведение в условиях возмущающих воздействий различного рода.

В рамках данного широкого понимания устойчивости как более узкие могут рассматриваться такие понятия, как устойчивость равновесия и движения, живучесть, адаптивность, помехоустойчивость, надежность и др. При этом надо понимать, что чем шире понятие, тем меньше возможностей для его формализации. Вместе с тем, опираясь на определение в широком смысле, можно наметить основные варианты его трактовки в узких смыслах и соответствующие пути формализации. Покажем, что именно так обстоит дело с понятием устойчивости [2].

Математическая теория устойчивости имеет два основных взаимосвязанных направления: классическая теория устойчивости [3], сформировавшаяся в работах

выдающегося русского ученого А.М. Ляпунова, и теория структурной устойчивости [4], развитие которой началось школой советских специалистов в области теории динамических систем, возглавляемой А.А. Андроновым. Данное направление является обобщением классической теории устойчивости, поскольку если в первой рассматривается устойчивость состояния равновесия или движения конкретной системы, то во второй изучается проблема устойчивости, связанная с изменением структуры системы.

Следует понимать, что оба названных направления в качестве основных используют дифференциальные уравнения динамических систем. С появлением нового класса систем – сложных систем, не укладывающихся в рамки классической теории, проблема устойчивости требует нового подхода и решения. К таким системам относятся, в частности, критически важные и потенциально опасные объекты, системы управления подобными объектами и др.

Поэтому, помимо математического аппарата теории классической и структурной устойчивости, при исследовании данной проблемы в широком смысле может быть применен аппарат теории адаптации, теории возможностей и нечеткого моделирования Л. Заде, теории игр, модели сетей Петри и модели системной динамики. При этом, как показано в работах «Применение математических моделей для обеспечения требуемого уровня устойчивости автоматизированных систем управления потенциально опасных объектов» [5] и «Основы теории построения и контроля сложных систем» [6], конструктивные результаты достигаются при переходе в каждом конкретном исследовании к узкосмысловым трактовкам понятия устойчивости. Получаемые сужения понятия устойчивости в широком смысле могут в свою очередь трактоваться как общенаучные и как частнонаучные в связи с теми или иными приложениями. Они связаны между собой и частично перекрываются по своему содержанию. Чтобы лучше понять связи между этими понятиями, воспользуемся кругами Эйлера (рис.).

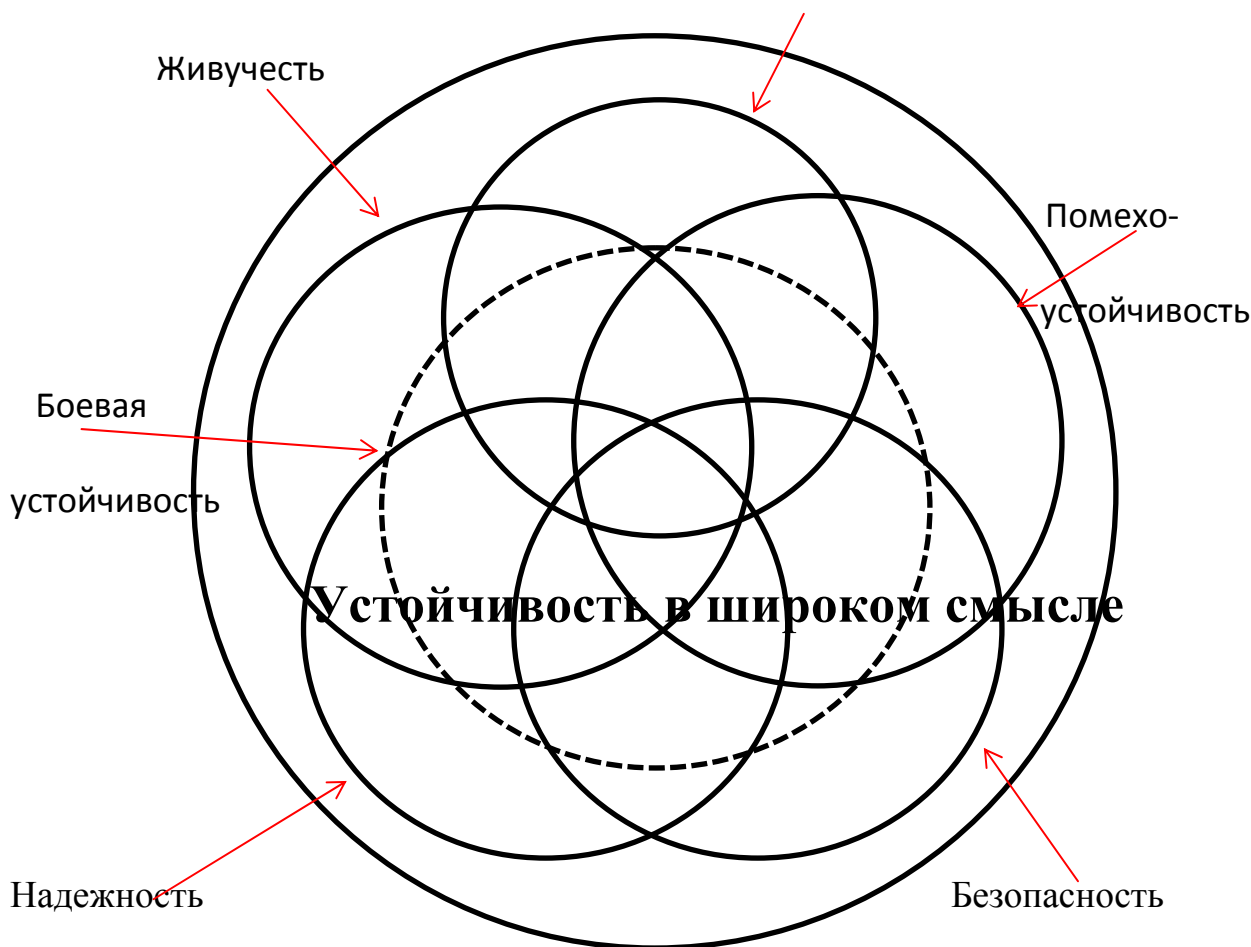


Рис. Представление отношений между понятиями устойчивости

Несмотря на то, что подобного рода диаграмма имеет лишь качественный характер, тем не менее с ее помощью можно отразить имеющуюся информацию об использовании узкосмысловых понятий устойчивости.

Так, например, применительно к вопросам исследования устойчивости управления, прежде всего, следует выделить тот факт, что в любой организационно-технической системе имеют место два взаимосвязанных процесса, один из которых ориентирован на обеспечение и поддержание нормального функционирования самой системы, а другой направлен на реализацию ее возможностей в интересах выполнения целевых задач. Точно также управление силами и средствами МЧС России предполагает в качестве необходимого условия наличие двух сторон этого процесса, связанных непосредственно с материальной основой управления, а также с выработкой и доведением управляющих воздействий по целевому назначению. В этой связи устойчивость управления следует рассматривать в двух аспектах: устойчивость функционирования собственно системы управления и устойчивость процесса управления при выполнении целевых задач. Второй аспект является более общим, так как включает в себя и первый. При этом нужно не забывать, что анализ устойчивости процесса управления выступает составной частью еще более общей задачи – исследования эффективности управления силами и средствами.

Дадим определение устойчивости применительно к указанной предметной области.

Под устойчивостью управления следует понимать свойство системы своевременно вырабатывать и доводить до объектов управления правильные управляющие воздействия в условиях различного рода возмущающих воздействий.

К правильным управляющим воздействиям относятся те, которые отражают сложившуюся обстановку и в целом соответствуют поставленным задачам.

Под своевременностью понимается способность системы управления передавать управляющие воздействия на объект управления не позже заданного момента времени.

Под устойчивостью функционирования системы управления (СУ) понимается ее свойство сохранять свою работоспособность в условиях возмущающих воздействий. Она является комплексной характеристикой, связана со всеми частными характеристиками (свойствами) и определяется живучестью, помехоустойчивостью и надежностью системы.

В качестве пояснения введенных на вербальном уровне определений дадим формализованные определения устойчивости.

Будем предполагать, что на систему управления действуют целенаправленные возмущения $\Gamma \in \Omega_\Gamma$ и случайные неопределенные возмущения $V \in \Omega_V$. Функционирование системы управления рассматривается на интервале времени σ , а выполнение системой целевых задач – на интервале $w = (t_0, t_f] \subset \sigma$. Состояние системы будем описывать вектором S . Состояние выполнения целевых задач (ЦЗ) в момент времени t описывается вектором $Q(t) \in \pi$, $t \in w$, где множество π представляет определенную целевую программу, которая должна быть выполнена системой. Выполнение ЦЗ достигается применением на интервале w объектов управления в соответствии с вектором управления $U \in \Omega_u$.

Управление считается устойчивым на интервале w при случайных и организованных возмущениях, если справедливо:

$$\inf P_v [U(t, U_0, \pi, Q, V, \Gamma, S) \in \Omega_u^+, t \in \sigma] \geq P^+, \Gamma \in \Omega_\Gamma.$$

Пусть $Q = Q(t)$. Считается, что процесс выполнения системой ЦЗ устойчив (система управления устойчиво функционирует, выполняет ЦЗ в условиях возмущений), если вероятность выполнения ЦЗ системой на w не менее требуемой вероятности P_T , то есть:

$$\inf P_v [Q(t, U, V, \Gamma, S) \in \pi, t \in w] \geq P_T, \Gamma \in \Omega_\Gamma.$$

Как отмечалось в работе «Применение математических моделей для обеспечения требуемого уровня устойчивости автоматизированных систем управления потенциально опасных объектов» [5], данное определение соответствует определению стохастической устойчивости, характеризует саму систему и процесс ее функционирования в условиях случайных и организованных целенаправленных возмущений.

Введенные определения позволяют дальнейший более глубокий анализ свойства устойчивости. Не повторяя результаты и предложения работы [5], попытаемся еще раз выделить те аспекты и особенности, которые необходимо учитывать, занимаясь исследованием устойчивости систем управления.

Проблема устойчивости появляется (возникает) в том случае, когда в процессе функционирования системы имеют место возмущающие воздействия, которые нарушают нормальную работу системы и снижают ее возможности.

Источниками возмущений могут являться среда, сама система, а также целенаправленное воздействие другой стороны (противника). Возмущение среды связано с различными природными явлениями и геофизическими факторами (наводнения, землетрясения, бури, атмосферные явления и электромагнитные помехи). Сама система выступает в качестве источника возмущений в случае отказов аппаратуры и ошибок личного состава. При этом отказ аппаратуры связан с повреждениями механической и электронной частей, неправильностью программ, искажениями информации в процессе ее сбора, обработки, хранения и доведения до объектов управления. Ошибки личного состава подразделяются на просчеты в действиях расчетов и лиц, принимающих решения. На систему также может оказываться широкий класс целенаправленных воздействий (огневое поражение, радиоэлектронное подавление, психологическое и психотропное воздействие на человека и др.).

Следующим проблемным вопросом, связанным с устойчивостью, является разработка показателей, оценивающих это свойство. Измерить или как-то отразить ее лишь одной характеристикой сложно и не всегда удобно для практического применения. В этой связи целесообразно воспользоваться разработанными в классической теории оценками, к числу которых относятся следующие: момент первого выхода, степень устойчивости, запас и область устойчивости. При этом в основу оценивания устойчивости процесса управления должен быть положен цикл управления со всеми его этапами и особенностями. Для оценивания устойчивости функционирования системы управления следует использовать жизненный цикл (ЖЦ) (табл.).

Таблица. Структура оценивания устойчивости функционирования СУ

Этапы ЖЦ	Предмет оценивания	Субъект оценивания	Цель оценивания	Условия оценивания
Проектирование	Проектируемая система управления	Заказчик	Обоснование общих требований к устойчивости СУ в целом, к подсистемам и видам обеспечения. Выбор путей и способов обеспечения устойчивости	Возможности промышленности по производству технических и программных средств, затраты на создание системы и ее будущую эксплуатацию
Эксплуатация и применение	Принятая на вооружение система управления	Заказчик	Выявление «узких» мест в СУ и формирование требований в процессе	Состав и характеристики объектов и задач управления, условия

			модернизации и развития	применения. Характер возмущающих воздействий. Состояние аппаратных и программных средств
		Пользователь	Выявление возможностей по обеспечению и повышению устойчивости	Состав и характеристики объектов и задач управления, условия применения.
		Служба эксплуатации	Поддержание и восстановление работоспособности, обеспечение устойчивости	Характер возмущающих воздействий. Состояние аппаратных и программных средств

Не менее актуальным проблемным вопросом является обеспечение устойчивости. Как отмечено в работе [5], можно выделить технические, структурные, организационные, эргономические и программно-алгоритмические направления обеспечения устойчивости. Каждое из указанных направлений содержит вполне определенную присущую только ему группу способов обеспечения устойчивости. Реализация на практике этих способов требует соответствующее количество материальных, энергетических, информационных и людских ресурсов. Особую значимость для системы управления имеют программно-алгоритмические методы. Алгоритмы и соответствующее им программное обеспечение, их структура и характеристики оказывают определенное влияние на устойчивость процессов функционирования системы. В этой связи возникает новая проблема по обеспечению устойчивости путем выбора соответствующих характеристик комплекса алгоритмов и программ для всех составляющих математического и программного обеспечения. Эта проблема не отрицает традиционных методов, а существенно их дополняет. Программно-алгоритмические методы практически могут быть использованы как на этапе создания системы, так и при ее штатной эксплуатации.

Таким образом, в статье рассмотрены основные проблемные вопросы комплексного исследования устойчивости, приведены соответствующие определения, предложены возможные пути и способы достижения требуемых уровней устойчивости. Необходимость данного подхода обусловлена сложностью этого понятия и его значимостью при решении практических задач в целях повышения эффективности управления.

Литература

1. Богданов А.В., Синешук Ю.И., Малыгин И.Г. Методологические основы математического моделирования сложных объектов безопасности // Проблемы управления рисками в техносфере. 2013. № 3 (27). С. 87–92.
2. Резников Б.А. Системный анализ и методы системотехники. Л.: МО СССР, 1990.
3. Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения. М.: Гостехиздат, 1950.
4. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Наука, 1981.

5. Сугак В.П. Применение математических моделей для обеспечения требуемого уровня устойчивости автоматизированных систем управления потенциально опасных объектов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2007. № 3–4. С. 119–125.

6. Дмитриев А.К., Мальцев П.А. Основы теории построения и контроля сложных систем. Л.: Энергоатомиздат, 1988.