

Модель обеспечения и методика оценки устойчивости больших технических систем в процессе эксплуатации

К.З. Билятдинов

Аннотация — представлены методологические решения по совершенствованию управления устойчивой эксплуатацией больших технических систем в неблагоприятных условиях. Предлагается модель обеспечения устойчивости больших технических систем в виде комплекса взаимосвязанных таблиц и критериев устойчивости систем, описывающих состояние систем в условиях деструктивных воздействий. Модель предназначена для описания состояний устойчивости системы в унифицированных табличных формах. В модели представлена динамика состояний устойчивого функционирования на основе изменений количественных значений устанавливаемых показателей качества. В модели формируются исходные данные для их системного применения в методике для расчета комплексного показателя устойчивости системы. В методике реализован подход к оценке устойчивости технической системы на основе использования формулы расчета критерия эффективности сложной системы при разделении элементов системы на три функциональные группы. Описана и предлагается программа для ЭВМ для применения на практике данной методики. Основным положительный эффект: существенное снижение затрат времени и ресурсов на оценку устойчивости, на моделирование процессов обеспечения устойчивости систем и возможность программной реализации рациональной обработки информации в процессе управления эксплуатацией больших технических систем.

Ключевые слова — большие технические системы, модель обеспечения устойчивости, методика оценки, комплексный показатель, унифицированные табличные формы, критерии.

I. ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях обеспечение устойчивого функционирования больших технических систем (промышленных предприятий, объектов информатизации и связи, объектов транспорта и др.) становится определяющим фактором при планировании и принятии управленческих решений в процессе эксплуатации данных систем [1, 2].

Поэтому актуальность темы настоящего исследования будет в первую очередь находиться в предметной области совершенствования управления большими техническими системами (далее – БТС) в интересах

повышения (обеспечения) требуемой эффективности устойчивого функционирования БТС в установленный период времени. Сегодня, исследуемая тема становится ещё более актуальной, вследствие того, что эффективность, как интегральное свойство сложной системы (в данном случае – БТС), будет напрямую зависит от качества технических систем (подсистем, изделий), эксплуатируемых в составе БТС. При этом эффективность функционирования БТС в различных условиях напрямую зависят от качественного состава оцениваемых систем и динамики состояния элементов этих систем [1, 2, 3, 4], а также наличия ресурсов и времени на восстановление системы (пополнения запасов ресурсов).

II. ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Актуальность темы исследования и разнообразие функционального предназначения современных БТС предопределяют необходимость системного подхода к анализу результатов научных исследований [5, 6, 7, 8], которые потенциально могут быть применимы для моделирования процессов обеспечения и оценки устойчивости БТС.

Кроме того, с точки зрения системного подхода важно изучение области применения модели обеспечения устойчивости БТС (далее – Модели) и методики оценки устойчивости БТС (далее – Методики), как двух взаимосвязанных методологических решений, имеющих целью совершенствование управления эксплуатацией БТС в неблагоприятных условиях.

В классическом понимании устойчивость – это свойство системы восстанавливать состояние равновесия, из которого она была выведена под влиянием возмущающих факторов после прекращения их воздействия [4, 5]. Однако, анализ современных научных исследований в сфере обеспечения безопасности, эффективности и устойчивости функционирования сложных систем [8, 9, 10, 11, 12] показывает ярко выраженную тенденцию расширения взглядов на данную предметную область [13, 14]. В первую очередь это выражается в запросах на моделирование состояний устойчивости систем в зависимости от последствий деструктивных воздействий и с учетом качества технических систем (элементов), эксплуатируемых в составе БТС [15 - 19].

В особенности это проявляется при решении

различных слабоструктурированных проблем обеспечения эффективного функционирования:

- в сфере учета и идентификации отказов в производственных и информационных системах;
- при использовании в управлении информационных систем на основе математических моделей [13];
- при оценке устойчивого развития и безопасности, включая оценку киберугроз для эксплуатируемых и разрабатываемых автоматизированных систем управления и информационных систем в составе БТС;
- при применении систем искусственного интеллекта, больших данных и совершенствования систем поддержки и принятия решений (СППР) с учетом современных направлений развития киберфизических систем [6, 17, 19, 20];
- при обеспечении технологической безопасности и синтеза архитектуры программно-аппаратных средств критически значимых объектов инфраструктуры;
- для обоснования управленческих решений и снижения возможной субъективности лица, принимающего решения (далее – ЛПР) [1, 2, 3, 21].

При этом развитие и совершенствование способов моделирования сложных систем предопределяет необходимость рассмотрения и практического применения широкого спектра результатов научных исследований в различных областях [7, 17, 19, 20, 22].

В исследуемой предметной области под устойчивостью БТС целесообразно понимать не только ее способность как можно более длительное время функционировать в неблагоприятных условиях при заданных ресурсах, но и противостоять деструктивным воздействиям, восстанавливая свои технические системы и требуемые для эксплуатации запасы ресурсов. Устойчивость БТС будет зависеть от качества технических систем в ее составе.

Таким образом, при всей важности данных исследований [7, 8, 9, 10, 11, 12] в настоящее время остается актуальным [14, 17, 20] необходимость дальнейшего совершенствования методологических решений в области моделирования и оценки устойчивости, а также в интересах повышения эффективности управления.

Вышеизложенное подтверждает потенциальные возможности эффективного использования современных научных достижений при совершенствовании процедур принятия управленческих решений, обработки информации, моделирования и оценки устойчивости БТС [2, с. 26].

Отсюда целесообразно сформулировать две взаимосвязанные задачи исследования:

1. разработать простую, наглядную и универсальную Модель для решения задач моделирования состояний устойчивости БТС в зависимости от последствий различного рода воздействий, наличия и поставок ресурсов, качества технических систем (как элементов БТС (Рис. 1 и 2)), эксплуатируемых в составе системы в оцениваемых период времени (табл. 1 и 2).

2. на основе Модели разработать Методику, в которой рассчитываются комплексные показатели устойчивости

БТС в оцениваемые периоды времени, а при этом непосредственно оценка производится с помощью установленных критериев устойчивости.

Состав и содержание Модели и Методики должны обеспечивать простоту и наиболее рациональные варианты их программной реализации в подсистемах управления различных БТС.

III. МОДЕЛЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БОЛЬШОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

3.1. Назначение, ограничения и допущения Модели. Результаты современных научных исследований [5, 22] дают возможность разработки Модели путем унификации и применения системного подхода к оценке влияния неблагоприятных условий на обеспечение устойчивости функционирования, учету потерь, расхода ресурсов и времени на восстановление элементов.

Таким образом, предлагаемая Модель представляет собой математическое описание обеспечения устойчивости функционирования БТС на основе критериев устойчивости и возможностей элементов БТС к восстановлению [4, 5].

Назначение Модели:

1. Анализ и оценка устойчивости БТС в неблагоприятных условиях функционирования.

2. Прогнозирование состояния БТС в зависимости от последствий воздействия различных неблагоприятных факторов.

Ограничения при применении Модели:

1. Модель применима совместно со структурно-функциональной моделью БТС [1, 2, 3] при условии, что оцениваемый объект, при требуемой детализации, можно представить в виде множества технических систем и других элементов, выполняющих соответствующие функции для достижения цели создания и функционирования оцениваемой БТС.

2. Модель применима, если обозначенное (п.1 данных ограничений) множество элементов, выполняющих соответствующие функции объекта, можно корректно разделить на три группы элементов:

- элементы, находящиеся в постоянной эксплуатации (готовности);

- элементы, находящиеся в резерве и готовые к вводу в эксплуатацию;

- неисправные элементы, подлежащие восстановлению.

3. Для корректной оценки устойчивости БТС при сравнении с устойчивостью других аналогичных БТС, а также с базовыми значениями устойчивости (при их наличии) при применении Модели рекомендуется не учитывать пополнение персонала и запасов ресурсов (Рис. 2).

4. В Модели исследуются лишь последствия деструктивных воздействий на БТС и при этом не рассматриваются сами конкретные деструктивные воздействия (аварии, природные и техногенные катастрофы, действия злоумышленников и т.д.). Допущения:

1. В начальный момент времени (t_0) система

устойчива, известны ее исходные значения показателей и установлены критерии устойчивости (табл. 1).

2. В Модели элементы системы, которые могут выходить из строя вследствие деструктивных воздействий (табл. 2).

3. В зависимости от степени детализации структурно-функционального представления оцениваемой системы принимаются максимальные значения времени, трудозатрат и расхода ресурсов на восстановление одного элемента, выполняющего заданную функцию (функции), то есть рассматривается пессимистический сценарий развития событий вследствие деструктивных воздействий.

Данное допущение позволяет учитывать слабо прогнозируемые события при эксплуатации БТС в неблагоприятных условиях.

3.2. Сущность и краткое содержание Модели.

Модель позволяет учитывать изменение исходных показателей функционирования БТС в зависимости от результатов воздействия неблагоприятных условий.

Для этого Модель включает в себя совокупность взаимосвязанных табличных форм, содержащих описание требований, критериев и динамику изменений следующих основных показателей: время устойчивого функционирования, ресурсы, количество подсистем (элементов), количество персонала, трудозатраты, неисправности, возможности системы к восстановлению и результаты восстановления (примеры, табл. 1 и 2).

В разработанной Модели описание состояния устойчивости функционирования в любой момент времени t_i происходит с помощью систематизированных значений выбранных показателей качества функционирования БТС с последующей оценкой значений этих показателей в соответствии с заданными критериями.

В качестве двух основных критериев обеспечения устойчивости предлагаются:

1. Количество элементов в составе БТС, находящихся в непрерывной эксплуатации (готовности) – N_{min} .

Если $N > N_{min}$, то БТС устойчива, если $N < N_{min}$, то система не устойчива, если $N = N_{min}$, то находится на границе своей устойчивости.

2. Минимально требуемый результат функционирования системы – Y_{min} .

Если $Y \geq Y_{min}$, то БТС устойчива, а если $Y < Y_{min}$, то не устойчива.

Другие принимаемые критерии должны отражать специфику БТС и требования по достижению цели функционирования.

В Модели основная величина, характеризующая влияние качества элементов на устойчивость системы – это количество времени (Δt_u), в течение которого БТС способна устойчиво функционировать в неблагоприятных условиях без поступления внешних ресурсов и при одинаковом количестве ресурсов, имевшихся у нее в исходном состоянии, то есть до начала воздействия неблагоприятных условий:

$$\Delta t_u = t_i - t_0$$

где t_0 – время начало воздействия неблагоприятных условий (табл. 1).

Таким образом, Δt_u можно обоснованно считать основным показателем качества при оценке (сравнении) различных систем в сфере обеспечения устойчивости аналогичных систем, функционирующих в одинаковых неблагоприятных условиях, или, например, при оценке качества БТС.

На основании вышеизложенного целесообразно разработать критерий оценки обеспечения устойчивости, состоящий в том, что в любой момент времени t_i в оцениваемый период времени Δt_u :

$$K_i \geq K_{imin}$$

где K_{imin} – минимально допустимое значение показателя качества БТС (элемента в ее составе) в момент времени t_i .

Система устойчива, если в любой момент оцениваемого периода времени значение выбранного показателя качества больше или равно своему минимально допустимому значению.

Критерий оценки возможностей БТС по обеспечению своей устойчивости за счет восстановления поврежденных элементов:

$$K_{vi} \geq K_{ni}$$

Система устойчива, если в любой момент оцениваемого периода времени значение (K_{vi}), выражающее наличие запасов ресурсов (X_1, X_2, \dots, X_r) и количества восстановленных элементов (n_v), больше или равно значению (K_{ni}), которое выражает потери ресурсов и потери элементов. То есть для обеспечения своей постоянной устойчивости БТС должна вовремя восстанавливать свои потери, в соответствии с установленными требованиями (Рис. 1).

Поэтому на устойчивость влияет время восстановления систем – элементов, от которых зависит достижение цели функционирования.

Минимальное количество времени на восстановление n элементов в составе БТС (T_{nmin}) будет всегда равно минимально возможному времени восстановления одного элемента (T_{1min}): $T_{nmin} = T_{1min}$.

3.3. Моделирование обеспечения устойчивости БТС.

Таким образом, с учетом вышеизложенного и используя установленные критерии, рационально рассчитывать затраты времени и ресурсов на восстановление n_v неисправных элементов. То есть Модель при количестве элементов в БТС n позволяет рассматривать диапазон количественных значений от 1 до n , с шагом $\Delta n = 1$.

При этом моделирование обеспечения устойчивости БТС доказывает, что время восстановления элементов и расход ресурсов (X_1, X_2, \dots, X_r) будут являться основными показателями качества элемента в сфере обеспечения устойчивости функционирования БТС.

На основе вышеизложенного в Модели динамику изменений состояний устойчивости БТС в любой момент времени (t_i) наиболее рационально описывать в табличных формах, отражающих специфику каждой конкретной оцениваемой Системы (пример – табл. 2).

Исходное состояние и возможности БТС
в момент времени начала воздействия неблагоприятных условий (t_0)

№ п/п	Наименование показателя (K_0), $K_0 \geq K_{min}$	Обозначение показателя	Единица измерения	Количественное значение
1	Количество оцениваемых элементов, находящихся в непрерывной эксплуатации (готовности)	N_{01}	комплект	
2	Количество элементов, находящихся в резерве	n_{0p}	комплект	
3	Общее количество оцениваемых элементов в БТС	$N_{общ. min}$	комплект	$N_{общ} = N_{01} + n_{0p}$
4	Количество персонала	$L_{эк.0}$	специалист	
5	Запасы ресурсов, необходимых для производства продукции (для БТС в промышленности) и (или) для поддержания требуемого состояния БТС (для объектов информатизации и связи)	X_{n0}	принятые ед. изм. др. ресурсов	
6	Бюджет эксплуатации и ремонтно-восстановительных работ БТС	S_0	тысяч рублей	
7	Результат функционирования БТС: количество выпущенной продукции, оказанных услуг и (или) поддержание в готовности требуемого количества систем (N_{01})	Y_0 или N_{01} (п.1 таблицы 1)	принятые ед. изм.	

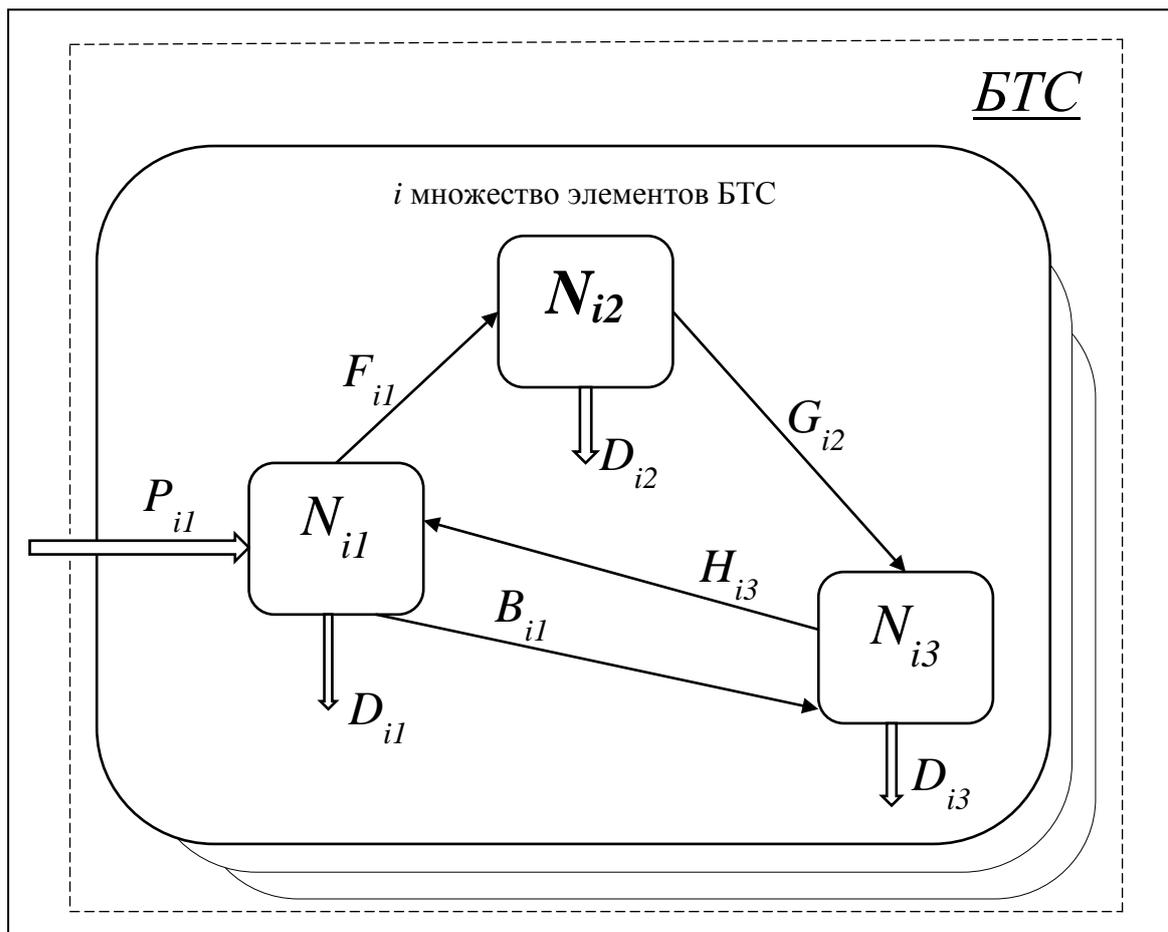


Рис. 1 – Схема динамики процесса обеспечения устойчивого функционирования требуемого количества элементов (N_{i2}) при поступлении внешних ресурсов (P_{il})

Табличные формы заполняются на основании описания исходного состояния системы (K_0) в момент времени (t_0), а также информации о результатах воздействия неблагоприятных условий.

Момент времени $t_i = t_0 + \Delta t_i$, где Δt_i – время воздействия неблагоприятных условий (деструктивных воздействий), в результате которых БТС несет какие-либо потери: элементов (N), ресурсов (X_1, X_2, \dots, X_r) и (или) может не достичь минимально требуемого результата своего функционирования (Y_{min}).

В таблице 2, приведенной в качестве простейшего примера, на основании полученных количественных значений показателей (K_i) в соответствующем столбце таблицы 2 оценивается устойчивость по предлагаемым критериям или по специально установленным критериям для оцениваемой БТС.

Специально установленные критерии могут выражать особую специфику функционирования данной системы.

В идеале при моделировании процесса обеспечения устойчивости в любой момент времени t_i БТС должна быть устойчива в любых неблагоприятных условиях.

Для этого должны выполняться все заданные критерии устойчивости и тогда будет соблюдено равенство: $\Delta t_i = \Delta t_{i\prime}$.

IV. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ БОЛЬШИХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Назначение Методики: оценка устойчивости выполнения системами функции (функций) посредством расчета коэффициента устойчивости системы как показателя качества систем.

Элементом БТС выступает любая техническая система (подсистема, изделие) эксплуатируемая в составе БТС и выполняющая определенную функцию БТС, устойчивость выполнения, которой оценивается.

Принятое ограничение: деструктивные факторы могут воздействовать на все элементы БТС.

Допущение: БТС всегда можно разделить на три группы элементов (Рис. 1 и 2):

Первая группа (N_1) – это элементы, вводимые в эксплуатацию. В Методике установлены следующие обозначения элементов первой группы:

где P_1 – количество поступивших элементов 1 группы, введенных в эксплуатацию;

N_1 – общее количество элементов 1 группы, вводимых в эксплуатацию за оцениваемый период времени Δt_i ;

B_1 – количество элементов 1 группы, не перешедших во 2 группу, неисправных и перешедших в третью группу за оцениваемый период времени Δt_i ;

D_1 – количество элементов 1 группы, вышедших из строя и не подлежащих восстановлению (ремонту);

F_1 – количество элементов 1 группы, перешедших во 2 группу.

Вторая группа (основная) – выполняет основные функции БТС (N_2).

G_2 – количество поврежденных и неисправных элементов 2 группы, перешедших в 3 группу;

D_2 – количество поврежденных и неисправных элементов 2 группы, не подлежащих восстановлению.

Третья группа (N_3) – это подлежащие ремонту неисправные элементы:

H_3 – количество элементов, перешедших из 3 группы во 2 группу;

D_3 – количество элементов 3 группы, ставших за оцениваемый период непригодными к восстановлению, может не учитываться, так как на практике всегда существуют элементы в ремонте и (или) выведенные из эксплуатации для регламентного технического обслуживания (Рис. 1 и 3).

Теоретическим базисом Методики является формула критерия эффективности сложной системы, полученная в результате решения линейной системы дифференциальных уравнений [23, 24]:

« ... динамическая система, описывающая процесс функционирования системы, будет существовать только при выполнении условий:

$$\frac{\rho fh^3}{aq^3(q+d)} - \frac{bh^4}{aq^4} - \frac{fh^4}{aq^4} \geq 0,$$

$$\rho, a, b, f, q, d, h > 0. \quad \gg$$

Краткая последовательность действий и расчетов при выполнении Методики:

1. Определение в составе системы элементов (изделий), выполняющих заданную функцию (функции).

2. Разделение этого количества элементов на ранее определенные три группы элементов.

3. Определение и заполнение в табличных формах Модели ограничений и базовых требований к системе.

4. Определение реальных или прогнозируемых значений показателей функционирования элементов в составе системы.

5. Расчет коэффициентов функционирования системы (формулы 1-8).

5.1. Коэффициент ввода элементов 1 группы в эксплуатацию (p):

$$p = \frac{P_1}{N_1} \quad (1)$$

5.2. Коэффициент учета влияния недостатка ресурсов на 1 группу элементов (a):

$$a = \frac{B_1}{N_1} \quad (2)$$

5.3. Коэффициент возникновения неисправностей (уничтожения, выхода из строя) элементов 1 группы (b):

$$b = \frac{D_1}{N_1} \quad (3)$$

5.4. Коэффициент интенсивности восстановления элементов, то есть перехода элементов (изделий) 1 группы во 2 группу (основную) – f :

$$f = \frac{F_1}{N_1} \quad (4)$$

Таблица 2

Моделирование процесса обеспечения устойчивого выполнения функций БТС в неблагоприятных условиях

№ п/п	t_0	t_1		...		t_i	
	K_0	K_1	Оценка устойчивости в момент времени t_1	K_i	Оценка устойчивости в момент времени t_i
1	N_0	N_1	Если $N_1 > N_{min}$, то БТС устойчива, если $N_1 < N_{min}$, то не устойчива, если $N_1 = N_{min}$, то находится на границе своей устойчивости. Если $Y_1 \geq Y_{min}$, то БТС устойчива, если $Y_1 < Y_{min}$, то не устойчива.	N_i	Если $N_i > N_{min}$, то Система устойчива, если $N_i < N_{min}$, то не устойчива, если $N_i = N_{min}$, то находится на границе своей устойчивости. Если $Y_i \geq Y_{min}$, то БТС устойчива, если $Y_i < Y_{min}$, то не устойчива.
2	L_0	L_1		...		L_i	
3	X_{0l}	X_{1l}		...		X_{il}	
...	
m-2	X_{0r}	X_{rl}		...		X_{ri}	
m-1	S_0	S_1		...		S_i	
m	Y_0	Y_1	...	Y_i			

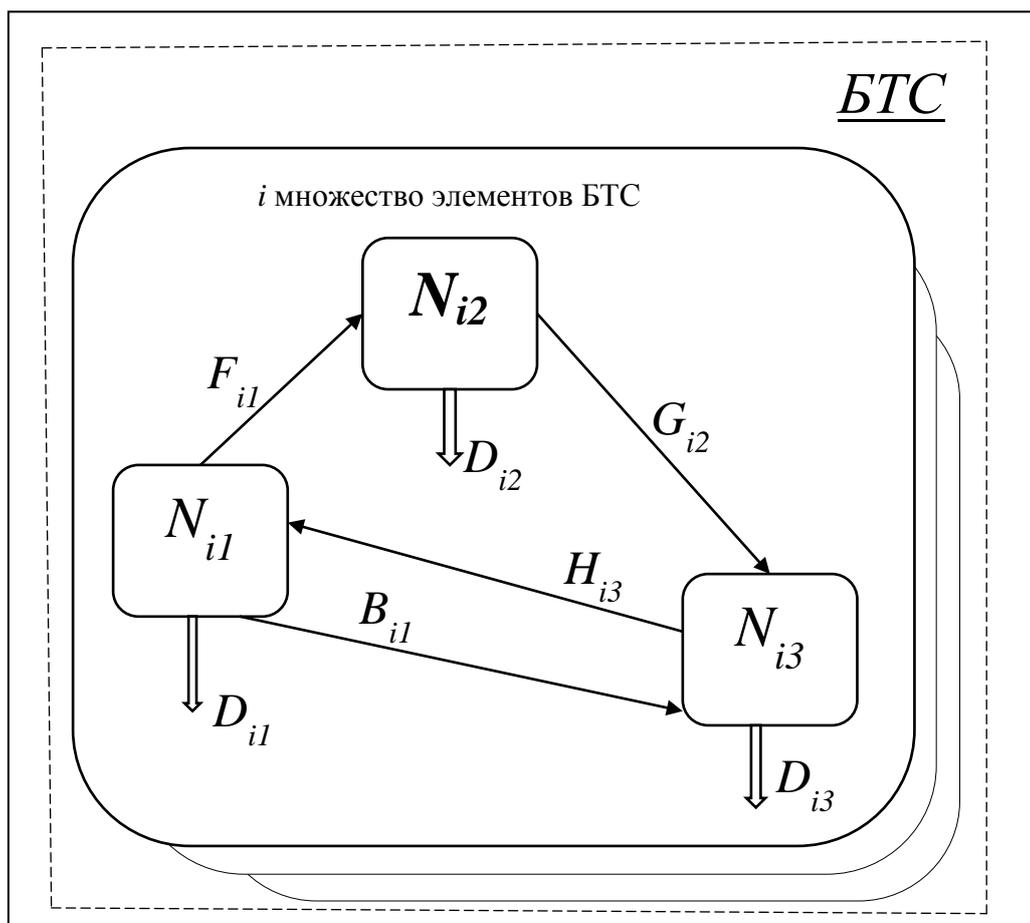


Рис. 2 – Схема динамики процесса обеспечения устойчивого функционирования требуемого количества элементов (N_{i2}) без поступления внешних ресурсов (автономный режим)

5.5. Коэффициент интенсивности перехода элементов 2 группы в 3 группу (q):

$$q = \frac{G_2}{N_2} \quad (5)$$

5.6. Коэффициент неисправности элементов систем $n_1 n_2 n_3$ группы (d):

$$d = \frac{D_2}{N_2} \quad (6)$$

5.7. Коэффициент использования (убыли) элементов третьей группы в интересах восстановления элементов первой группы (h):

$$h = \frac{H_3}{N_3} \quad (7)$$

6. Расчет значения комплексного коэффициента устойчивости системы (U):

$$U = \frac{p f h^3}{a q^3 (q + d)} - \frac{h^4 (b - f)}{a q^4} \quad (8)$$

При условии, что $p > 0$, $a > 0$, $b > 0$, $f > 0$, $q > 0$, $d > 0$ и $h > 0$.

7. Вывод по результатам оценки устойчивости системы на основании следующих критериев:

7.1. Если $U > 0$ – то система устойчива в течении данного периода времени при заданных условиях и ограничениях.

7.2. Если $U = 0$ – то система находится на пределе своей устойчивости в течении данного периода времени при заданных условиях и ограничениях.

7.3. Если $U < 0$ – то система неустойчива в течении данного периода времени при заданных условиях и ограничениях.

8. При необходимости выполнить сравнение с базовыми требованиями и (или) с коэффициентами устойчивости других систем или в разные периоды времени. Составить рейтинг устойчивости систем и представить результаты оценки ЛПР [2].

V. КРИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ ВНЕДРЕНИЯ МОДЕЛИ И МЕТОДИКИ

В заключении необходимо отметить, что полученные в результате моделирования значения Δt_u рационально использовать при прогнозировании динамики состояний БТС в задаваемых неблагоприятных условиях функционирования.

На практике разработанные Модель и Методика применяются в программе для ЭВМ «Оценка устойчивости систем» (автор Билятинов К.З., свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № RU2020615328, дата государственной регистрации 21.05.2020 года).

Применение данной программы позволяет моделировать изменения количественных значений основных показателей оценки качества БТС и (или) элементов в их составе, в зависимости от результатов деструктивных воздействий, а также исследовать

процессы обеспечения устойчивого функционирования БТС в неблагоприятных условиях, которые объективно невозможно (нерентабельно) создать при их реальном функционировании.

Модель и Методика применялись в учебном процессе при выполнении студентами факультета инфокоммуникационных технологий Университета ИТМО лабораторных работ, заданий на практике и выпускных квалификационных работ.

В целом Модель и Методика имеют недостатки обусловленные прежде всего тем, что разработанная Модель является детерминированной. Поэтому в детерминированной Модели все факторы, оказывающие влияние на развитие ситуации принятия решения, однозначно определены и их значения известны в момент принятия решения.

В свою очередь стохастические модели предполагают наличие элемента неопределенности, учитывают возможное вероятностное распределение значений факторов и параметров, определяющих развитие ситуации [4, 24].

Разработанная детерминированная Модель с одной стороны, являются более упрощенными, поскольку не позволяют достаточно полно учитывать элемент неопределенности.

Однако, на практике в исследуемой предметной области детерминированная Модель позволяет учесть многие дополнительные факторы важные для ЛПР в процессе эксплуатации БТС. Так как технические регламенты и нормативно-правовое регулирование процесса эксплуатации БТС определяют необходимость ЛПР принимать решения на основе действительных значений заданных показателей качества, определяемых непосредственно в процессе эксплуатации БТС.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, Модель и Методика, реализованные программой для ЭВМ, могут быть использованы для совершенствования интерактивных процедур оценки устойчивости и моделирования состояния устойчивости БТС.

В перспективе это обеспечит объективный анализ влияния качества технических систем на достижения цели эксплуатации [18, 22] и мониторинг качественного состава оцениваемых систем и динамику состояния элементов этих систем [15, 20, 26].

Другой немаловажный перспективный момент нашего исследования - это обеспечение безопасного устойчивого функционирования БТС за счет моделирования состояний устойчивости БТС, то есть тогда, когда оцениваемая система будет вовремя восстанавливать свои потери, в соответствии с установленными требованиями [15, 17, 22, 25] в зависимости от наступивших последствий эксплуатации в неблагоприятных условиях [24], что может способствовать реализации системно-динамического

подхода к моделированию технических рисков [12, 14, 25, 26].

В этом отношении будет наиболее рационально обеспечиваться достижение целей устойчивого развития производственных систем [25, 26], что обосновывает применение Модели, Метода и программы для ЭВМ, как части методологического обеспечения в составе СППР. В том числе в СППР БТС, функционирующих с использованием технологии мультиагентных систем (МАС), где агентами выступают подсистемы (элементы) в составе БТС, взаимодействующие с внешней средой.

Основной положительный эффект от применения разработанных Модели, Методики и программы для ЭВМ заключается в существенном сокращении времени и расхода ресурсов на моделирование и оценку устойчивости систем, а также на прогнозирование состояния устойчивости систем в зависимости от последствий воздействия различных неблагоприятных факторов. Применение ЛПР Модели, Методики и программы для ЭВМ будет способствовать принятию своевременных и обоснованных управленческих решений в сфере обеспечения устойчивости систем.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Билятдинов К.З., Меняйло В.В. Модифицированный метод DEA и методика оценки эффективности технических систем // Информационные технологии, выпуск 11, 2020. С. 611-617.
- [2] Билятдинов К.З., Методика оценки устойчивости технических систем // Научно-технический вестник Поволжья. № 10, 2020. с. 25-28.
- [3] Bilyatdinov K.Z., Krivchun E.A. Development and improvement of assessment means of technical systems quality in the process of maintenance // Proceedings of the 9th International Conference «Distributed Computing and Grid Technologies in Science and Education» (GRID'2021), Dubna, Russia, July 5-9, 2021. Vol. 3041, p. 579-583.
- [4] Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения. М.; Л.: ОНТИ, 1935. – 386 с.
- [5] Дорф Р. Современные системы управления. М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2012. 832 с.
- [6] Baker J., Henderson S. The Cyber Data Science Process. The Cyber Defense Review. 2017. Vol. 2. No. 2. Pp. 47-68.
- [7] Banker R., Kotarac K., Neralić L. Sensitivity and stability in stochastic data envelopment analysis. The Journal of the Operational Research Society. 2015. Vol. 66. No. 1. Pp. 134-147.
- [8] Chen J.-X. Overall performance evaluation: new bounded DEA models against unreachability of efficiency. The Journal of the Operational Research Society. 2014. Vol. 65. No. 7. Pp. 1120-1132.
- [9] Danyk Yu., Maliarchuk T., Briggs C. Hybrid War: High-tech, Information and Cyber Conflicts. Connections. 2017. Vol. 16. No. 2. Pp. 5-24.
- [10] Downes C. Strategic Blind-Spots on Cyber Threats, Vectors and Campaigns. The Cyber Defense Review. 2018. Vol. 3. No. 1. Pp. 79-104.
- [11] Han P., Wang L., Song P. Doubly robust and locally efficient estimation with missing outcomes. Statistica Sinica. 2016. Vol. 26. No. 2. Pp. 691-719.
- [12] Jabbour K., Poisson J. Cyber Risk Assessment in Distributed Information Systems. The Cyber Defense Review. 2016. Vol. 1. No. 1. Pp. 91-112.
- [13] Kalimoldayev M., Abdildayeva A., Mamyrbayev O. Information system based on the mathematical model of the EPS. Open engineering. 2016. Vol. 6. No. 1. Pp. 464-469.
- [14] Cox, T., Lowrie, K. Improving Risk Management of Complex Systems // Risk Analysis. 2021. 41(1). P. 1-2.
- [15] Karagiannis G. On structural and average technical efficiency. Journal of Productivity Analysis. 2015. Vol. 43. No. 3. Pp. 259-267.
- [16] Leys N. Autonomous Weapon Systems and International Crises. Strategic Studies Quarterly. 2018. Vol. 12. No. 1. Pp. 48-73.
- [17] Luetje A., Wohlgenuth V. Tracking Sustainability Targets with Quantitative Indicator Systems for Performance Measurement of Industrial Symbiosis in Industrial Parks. Administrative sciences. 2020. Vol. 10. No. 1.
- [18] Price M., Walker S., Wiley W. The Machine Beneath: Implications of Artificial Intelligence in Strategic Decision making. PRISM. 2018. Vol. 7. No. 4. Pp. 92-105.
- [19] Price M., Walker S., Wiley W. The Machine Beneath: Implications of Artificial Intelligence in Strategic Decision making. PRISM. 2018. Vol. 7. No. 4. Pp. 92-105.
- [20] Putz M., Wiene, T., Pierer A. A multi-sensor approach for failure identification during production enabled by parallel datamonitoring. CIRP annals-manufacturing technology. 2018. Vol. 67. No. 1. Pp. 491-494.
- [21] Segal A. Bridging the Cyberspace Gap: Washington and Silicon Valley. PRISM. 2017. Vol. 7. No. 2. Pp. 66-77.
- [22] Trevino M. Cyber Physical Systems: The Coming Singularity. PRISM. 2019. Vol. 8. No. 3. Pp. 2-13.
- [23] Гольянова (Дмитриева) О.Н. Оптимальное управление в модели использования лесонасаждений // Применение функционального анализа в теории приближений: Сб. научн. тр. Тверь: ТвГУ, 2005. – С. 172-178.
- [24] Дмитриева О.Н. Стохастическая модель динамики развития лесонасаждений // Сборник научных трудов «Многоуровневая система подготовки специалистов на основе информационных и коммуникационных технологий образования». Тверь: ТвГУ, 2006. – С. 41–49.
- [25] Li Y., Huang Sh., Li, H. Application of phase sequence exchange in emergency control of a multi-machine system // International journal of electrical power & energy systems. 2020. Vol. 121. Article 106136.
- [26] Liang Ya., Gao Zh., Gao J. A new method for multivariable nonlinear coupling relations analysis in complex electromechanical system // Applied soft computing. 2020. Vol. 94. Article 106457.

Model of stability provision and methodology for assessing the stability of big technical systems during operation

K.Z. Bilyatdinov

Abstract — methodological solutions for improving the management of sustainable operation of big technical systems in adverse conditions are presented. The article proposes a model of stability of big technical systems in a form of a set of interdependent tables and criteria of systems' stability that describe a system's condition under the destructive influence. The model describes states of a system's stability by means of unified tables. The model presents dynamics of a state of stable functioning of a system based on changes of values of the quality indicators. The model forms basic data for its systematic application in the methodology to calculate a complex indicator of a system's stability. The method described in the article presents an approach to assessment of a technical system's stability based on the calculation of the criterion of effectiveness of a complex system when dividing the system's elements into three functional groups. To apply the method on practice the author proposes to use a specially designed software. The main positive effect from the application of the proposed method is a considerable decrease of time and resources needed for assessing stability, for modeling the processes of ensuring the stability of systems and a possibility of software realization of a rational processing of information in the process of management of big technical systems' maintenance.

Key words — big technical systems, model of stability provision, methodology of assessment, complex indicator, unified tables, criteria.

REFERENCES

- [1] Biliatdinov K.Z., Meniailo V.V. Modified method DEA and methodology of technical systems effectiveness assessment // Information technologies, No. 11, 2020. P. 611-617. (in Russian)
- [2] Biliatdinov K.Z. Methodology for assessing the stability of technical systems // Scientific and technical Volga region bulletin. No. 10, 2020. – P. 25 – 28. (in Russian)
- [3] Bilyatdinov K.Z., Krivchun E.A. Development and improvement of assessment means of technical systems quality in the process of maintenance // Proceedings of the 9th International Conference «Distributed Computing and Grid Technologies in Science and Education» (GRID'2021), Dubna, Russia, July 5-9, 2021. Vol. 3041, p. 579-583.
- [4] Liapunov A.M. General problem of motion stability. M.; L.: ONTI, 1935. – 386 c.
- [5] Dorf R. Sovremennyye sistemy upravleniya [Modern systems of control]. Moscow: Laboratoriya Bazovyh Znaniy [Laboratory of basic knowledge], 2012. 832 p. (In Russian)
- [6] Baker J., Henderson S. The Cyber Data Science Process. The Cyber Defense Review. 2017. Vol. 2. No. 2. Pp. 47-68.
- [7] Banker R., Kotarac K., Neralić L. Sensitivity and stability in stochastic data envelopment analysis. The Journal of the Operational Research Society. 2015. Vol. 66. No. 1. Pp. 134-147.
- [8] Chen J.-X. Overall performance evaluation: new bounded DEA models against unreachability of efficiency. The Journal of the Operational Research Society. 2014. Vol. 65. No. 7. Pp. 1120-1132.
- [9] Danyk Yu., Maliarchuk T., Briggs C. Hybrid War: High-tech, Information and Cyber Conflicts. Connections. 2017. Vol. 16. No. 2. Pp. 5-24.
- [10] Downes C. Strategic Blind-Spots on Cyber Threats, Vectors and Campaigns. The Cyber Defense Review. 2018. Vol. 3. No. 1. Pp. 79-104.
- [11] Han P., Wang L., Song P. Doubly robust and locally efficient estimation with missing outcomes. Statistica Sinica. 2016. Vol. 26. No. 2. Pp. 691-719.
- [12] Jabbour K., Poisson J. Cyber Risk Assessment in Distributed Information Systems. The Cyber Defense Review. 2016. Vol. 1. No. 1. Pp. 91-112.
- [13] Kalimoldayev M., Abdildayeva A., Mamyrbayev O. Information system based on the mathematical model of the EPS. Open engineering. 2016. Vol. 6. No. 1. Pp. 464-469.
- [14] Cox, T., Lowrie, K. Improving Risk Management of Complex Systems // Risk Analysis. 2021. 41(1). P. 1-2.
- [15] Karagiannis G. On structural and average technical efficiency. Journal of Productivity Analysis. 2015. Vol. 43. No. 3. Pp. 259-267.
- [16] Leys N. Autonomous Weapon Systems and International Crises. Strategic Studies Quarterly. 2018. Vol. 12. No. 1. Pp. 48-73.
- [17] Luetje A., Wohlgemuth V. Tracking Sustainability Targets with Quantitative Indicator Systems for Performance Measurement of Industrial Symbiosis in Industrial Parks. Administrative sciences. 2020. Vol. 10. No. 1.
- [18] Price M., Walker S., Wiley W. The Machine Beneath: Implications of Artificial Intelligence in Strategic Decision making. PRISM. 2018. Vol. 7. No. 4. Pp. 92-105.
- [19] Price M., Walker S., Wiley W. The Machine Beneath: Implications of Artificial Intelligence in Strategic Decision making. PRISM. 2018. Vol. 7. No. 4. Pp. 92-105.
- [20] Putz M., Wiene, T., Pierer A. A multi-sensor approach for failure identification during production enabled by parallel datamonitoring. CIRP annals-manufacturing technology. 2018. Vol. 67. No. 1. Pp. 491-494.
- [21] Segal A. Bridging the Cyberspace Gap: Washington and Silicon Valley. PRISM. 2017. Vol. 7. No. 2. Pp. 66-77.
- [22] Trevino M. Cyber Physical Systems: The Coming Singularity. PRISM. 2019. Vol. 8. No. 3. Pp. 2-13.
- [23] Dmitrieva O.N. Optimal control in the model of the use of forest plantations // Application of functional analysis in approximation theory: Sat. scientific tr. Tver: TVGU, 2005. - p. 172-178.
- [24] Dmitrieva O.N. Stochastic model of the dynamics of development of forest plantations // Collection of scientific papers "Multilevel system of training specialists based on information and communication technologies of education". Tver: TVGU, 2006. - p. 41-49.
- [25] Li Y., Huang Sh., Li, H. Application of phase sequence exchange in emergency control of a multi-machine system // International journal of electrical power & energy systems. 2020. Vol. 121. Article 106136.
- [26] Liang Ya., Gao Zh., Gao J. A new method for multivariable nonlinear coupling relations analysis in complex electromechanical system // Applied soft computing. 2020. Vol. 94. Article 106457.