

# ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К УПРАВЛЕНИЮ РАЗВИТИЕМ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Ю.А. Матвиенко**

*ФГБУ «4 ЦНИИ» Министерства обороны России*  
Россия, Моск. область, Королёв, ул. Тихонравова, 29  
E-mail: Yiry59@yandex.ru

**Ключевые слова:** динамичная организационно-техническая система, процесс развития, функция управления, немарковский дискретный случайный процесс, дисбаланс, показатель эффективности функционирования, траектория развития.

**Аннотация.** Процесс развития сложной (большой) динамичной организационно-технической системы рассмотрен как немарковский дискретный случайный процесс с непрерывным временем или процесс с «памятью». В качестве стимула развития такого типа системы рассмотрен дисбаланс между целевой и достигаемой на практике траекториями её развития. Предложен подход к управлению развитием систем, имеющих в своём составе компоненты разных сроков создания, поколений техники и архитектурных решений, который основан на минимизации дисбаланса между целевой и достигаемой на практике траекториями её развития с учётом имеющихся ресурсов и ожидаемых условий функционирования.

## 1. Введение

В настоящее время в эксплуатации находится довольно большое количество иерархических систем управления специального назначения [1, 2]. По целому ряду признаков данные системы относятся к классу сложных (больших) динамичных организационно-технических систем (далее ДОТС) [3]. В качестве ключевых компонентов таких систем можно выделить центры управления (ЦУ) различного ранга с размещёнными на них средствами автоматизации управления (САУ) и средствами связи и коммуникации (ССК), обеспечивающими информационное взаимодействие ЦУ между собой, с вышестоящими системами и с объектами управления. Одной из особенностей сложных (больших) ДОТС, обусловленной проявлением принципов историчности и постепенной последовательной модернизации, является наличие в их составе в любой момент времени компонентов разных поколений техники, архитектурных решений, сроков создания, находящихся на разных стадиях своего жизненного цикла [1, 2]. При изменении условий функционирования таких систем (в том числе, появлении нового типа внешних угроз их безопасности), проявлении других внешних и внутренних объективных и субъективных дестабилизирующих факторов, эффективность систем снижается, что требует проведения комплекса мероприятий по их совершенствованию и развитию для соответствия этим новым условиям эксплуатации [4].

Под развитием ДОТС в статье понимается последовательное целенаправленное изменение во времени состояния системы от некоего исходного до требуемого, в результате чего она приобретает новое качество, позволяющее ей соответствовать своему предназначению (роли и месту) в изменившихся условиях функционирования. Считается, что развитие ДОТС осуществляется по некоему плану (программе), сформированному на основе методов программно-целевого планирования [5]. Такую последовательность изменения состояния

системы во времени под действием совокупности различных факторов можно рассматривать как её движение, и это движение можно представить некоей *траекторией* [6].

Опыт создания и развития ДОТС показал, что ввиду слабой предсказуемости проявления совокупности внешних и внутренних факторов, влияющих на качество и эффективность их функционирования, точно определить желаемое состояние системы и траекторию движения к нему только исходя из достигнутого состояния невозможно [1,2]. Это обусловлено тем, что за предшествующие периоды существования ДОТС уже сформировались определённые программы развития отдельных компонентов системы, что продолжает некоторое время удерживать их дальнейшее развитие на старой траектории, тем самым ограничивая выбор путей развития системы в целом из потенциально возможных вариантов [4,6]. Как следствие, несмотря на затрачиваемые ресурсы, достигаемая траектория развития ДОТС практически всегда не совпадает с целевой (плановой) и эффективность функционирования системы в новых условиях оказывается ниже ожидаемой.

Причина данной проблемной ситуации кроется в том, что на практике процесс развития сложной (большой) ДОТС определяется не только характером изменившихся внешних условий (настоящее) и необходимостью решения новых управленческих задач (будущее), но и предысторией её создания (прошлым). Это обстоятельство делает процесс развития ДОТС немарковским, то есть, процессом, «будущее» которого зависит от его «прошлого» [7]. Управление таким процессом не подчиняется пуассоновскому распределению, так как управляющая функция не является полностью случайной - её характер также зависит от предыстории создания ДОТС, имеющейся ресурсной базы и уровня развития науки и техники для изменения значений характеристик компонентов системы (ЦУ, САУ, ССК).

В связи с этим поиск методов управления процессом развития ДОТС как немарковским процессом с непрерывным временем является актуальной задачей.

## 2. Основная часть

Совокупность возможных (допустимых) состояний  $J_k(S)$  некоей ДОТС  $S$  образует её пространство (множество) состояний, то есть  $J_k(S) \in J^0(S)$ . В формализованном виде плановый процесс развития ДОТС  $S$  задаётся следующим вектором её состояний

$$J(S) = (J_0(S), J_1(S), J_2(S), \dots, J_k(S)), k = ]0, K[$$

где  $K$  – количество этапов, в которых состояние системы должно изменяться при её движении к заданной цели развития по утверждённой программе.

Траекторию развития ДОТС, соответствующую плану, будем называть *целевой*.

Каждый компонент ДОТС (центр управления, САУ, ССК) может быть описан определённым множеством присущих ему характеристик  $X_i$ , определяющих его качество

$$X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\}, n = ]1, N[, i = ]1, M[$$

Тогда то или иное состояние  $J_k(S)$  системы во времени можно определить, зная уровень характеристик  $X_i$  входящих в ДОТС компонентов. То есть,  $J_k(S) = F[X_i(tk)]$ .

Особенностью процесса развития ДОТС, как процесса смены её состояний во времени, является его дискретность, обусловленная дискретным характером изменения уровней характеристик компонентов системы, а также её состава, структуры и характера взаимосвязей между компонентами. То есть, состояния системы во времени могут быть чётко отграничены друг от друга, и для каждого текущего состояния системы можно указать соседние (предыдущее и желаемое последующее) [8]. Учитывая также случайный характер изменения внешних условий и внутренних факторов, определяющих уровень характеристик компонентов системы, процесс развития ДОТС можно определить как немарковский дискретный случайный процесс с непрерывным временем [9].

С учётом изложенного, процесс развития ДОТС как процесс смены её состояний во времени можно представить выражением вида:

$$(1) \quad J_s(t+1) = F[t, J_s(t-\tau), y_m(t), U_m, R], t = ]0, N-1[, U_m \in U_0,$$

где  $J_s(t-\tau)$  – состояние системы с учётом наличия у неё ограничений  $U_m$ , обусловленных предысторией её создания и развития;  $y_m(t)$  – управляющее воздействие на систему с предысторией для её перевода на последующем этапе развития в новое состояние с учётом имеющегося ресурса  $R$ .

Зависимость процесса развития ДОТС от предыстории её создания в силу проявления принципов историчности и постепенной последовательной модернизации определим как некую «память», присущую такого типа системам. Тогда величину  $\tau$  можно определить как «глубину» «памяти», присущей ДОТС  $S$  и количественно выразить в виде временного интервала (временной задержки) от момента достижения  $i$ -м компонентом системы некоего уровня своих характеристик  $X_{id} \in X_i$  до появления у Заказчика возможности их изменить [10]. То есть, появления возможностей придать данным характеристикам компонентов системы некие другие уровни (значения) при появлении у субъекта управления соответствующих ресурсов  $R$  (как финансовых, так и научно-технического и технологического заделов (НТТЗ)), а также возможностей предприятий промышленности по реализации имеющегося НТТЗ в заданные сроки. Исходя из этого и принимая во внимание наличие подмножества характеристик  $X_{im} \in X_i$  компонентов системы, зависящих от имеющихся ресурсных ограничений  $U_m$  на возможность их изменения на данном этапе развития ДОТС, «глубина» «памяти» системы в целом может быть представлена множеством множеств временных задержек

$$\tau = \{ \tau_{mX1}, \tau_{mX2}, \dots, \tau_{mXi} \}, i = ]1, M[$$

где  $\tau_{mXi}$  – соответственно множества, отражающие временные задержки по изменению определённых характеристик  $X_{im} \in X_i$  компонентов ДОТС;  $M$  – количество компонентов в системе.

Учитывая неопределённость времени, необходимого предприятиям промышленности для изменения характеристик компонентов ДОТС до требуемого уровня при наличии разного рода ресурсных ограничений, «глубина» «памяти»  $\tau$  является случайной величиной.

Таким образом, у каждой из характеристик компонентов ДОТС, входящих в соответствующие подмножества  $X_{im}$ , определяющие структуру «памяти» системы, имеется своя временная задержка, не позволяющая какое-то время изменять свойства системы на этом направлении, что сужает область возможных вариантов её совершенствования и развития (делает систему эквивифинальной). То есть,

$$(2) \quad X_{inm}(t) = f(X_{din}, t, \tau_{mXin}), \tau_{mXin} = f(1/R(X_{in})),$$

где  $R(X_{in})$  – ресурс, необходимый для изменения конкретной характеристики  $x_{inm} \in X_i$  компонента ДОТС от достигнутого до требуемого на момент времени  $t$  значения.

Под эквивифинальностью в статье понимается способность системы достигать определённого состояния  $J_k(S) \in J^0(S)$  [11]. При этом пространство состояний  $J^0(S)$  является конечным множеством (ограниченным сверху), образующим некую «зону достижимости» [4].

Физический смысл выражений (1) и (2) состоит в том, что чем больше «глубина» «памяти» ДОТС (чем продолжительнее интервал времени накопления необходимых ресурсов и НТТЗ для изменения уровня характеристики  $x_{inm}$  до требуемого значения), тем дольше траектория развития системы, заданная на предыдущем этапе, будет оставаться неизменной и не отвечающей новым (заданным) требованиям. То есть, тем дольше времени ДОТС не сможет изменить своего предыдущего состояния в пространстве допустимых состояний.

Траекторию развития ДОТС, получаемую на практике вследствие наличия у неё «памяти», будем называть *достижимой* траекторией.

Зная состояние ДОТС на  $k$ -м этапе её развития, характер внешних условий её функционирования  $U_{\text{вне}}(t_k)$ , соответствующие множества характеристик её компонентов  $X_i(S)$  и имея информацию об уровне этих характеристик, можно проводить количественную оценку качества и эффективности функционирования системы на любом из  $k \in K$  этапов её развития. В этом случае каждому состоянию  $J_k(S)$  ДОТС в пространстве состояний  $J^0(S)$  может быть поставлено в соответствие определённое значение показателя эффективности  $W_k(S)$  решения системой той или иной задачи  $z_i$  из комплекса возложенных на неё функциональных задач  $Z$ .

$$Wk(S, z_i) = f(Jk(S)),$$

где  $f$  – правило (аналитическое выражение), позволяющее вычислять значение показателя  $W_k(S, z_i)$  в ожидаемых условиях обстановки  $U_{\text{вне}}(t_k)$  в зависимости от состава и структуры ДОТС, уровней множества характеристик  $X_i(J_k(S))$  её компонентов, определяющих состояние системы в момент времени  $t_k$ .

Таким образом, от пространства состояний ДОТС можно перейти к пространству значений её эффективности. В этом случае показатель эффективности можно рассматривать в качестве некой меры, позволяющей оценить степень соответствия системы предъявляемым к ней требованиям на разных этапах её развития [8].

Переход от  $K$ -мерного пространства состояний ДОТС к двумерному пространству значений её эффективности в тот или иной момент времени позволяет описать процесс развития системы в виде кусочно-линейной функции  $G(S)$  вида

$$(3) \quad GS(ti) = \begin{cases} WS(ti), ]ti, < ti + 1[, \\ WS(ti) + \Delta W(ti + 1), t = ti + 1. \end{cases}$$

Для такой функции её значения на интервале  $]i, i+1[$  будут постоянны, а в конце интервала (в точке  $i+1$ ) функция увеличит своё значение на величину  $\Delta W_i$ . Это значит, что траектория развития системы  $G(S)$  является одним из видов ступенчатой (скачкообразной) функции [12]. Скачок (прирост)  $\Delta W$  значений функции  $G(S)$  в сторону увеличения соответствует изменению после реализации соответствующих ОКР состава и (или) структуры системы, уровней характеристик её компонентов или входящих в них элементов и т.п.). Физически  $\Delta W(t_i)$  можно рассматривать как показатель оценки вклада выполненных к моменту времени  $t_i$  НИОКР в повышение эффективности системы на  $i$ -м этапе её развития.

Вместе с тем, на практике, вследствие присущей процессу развития ДОТС «памяти» (в виде предшествующих программ развития компонентов), при реализации текущей программы развития системы в условиях случайного характера проявления внешних и внутренних деструктивных факторов различной физической природы *достигаемая* траектория её развития может не совпадать с *целевой* (программной) траекторией. В результате в процессе развития ДОТС по заранее сформированной программе проявляется определённый дисбаланс между *целевой* и *достигаемой* на практике траекториями. Величина дисбаланса при сдвиге траектории развития ДОТС вправо будет определяться «глубиной» «памяти»  $\tau$  процесса развития системы. Тогда с учётом (3) выражение для *достигаемой* траектории развития ДОТС как ступенчатой функции будет иметь следующий вид

$$(4) \quad GД(ti + \tau_i) = \begin{cases} WS(ti + \tau_i), ]ti, < (ti + 1 + \tau_i)[, \\ WS(ti + \tau_i) + \Delta W(t), t = ti + 1 + \tau_i + 1. \end{cases}$$

Функцию  $G_{д}(t_i + \tau_i)$  можно считать моделью развития ДОТС как немарковского случайного дискретного процесса с непрерывным временем.

Наличие дисбаланса между траекториями развития ДОТС можно рассматривать как стимул к её дальнейшему развитию и сигнал субъекту управления для

формирования соответствующих корректирующих программу её развития управляющих воздействий  $u_m(t_i) \in Y^0$ . То есть, учитывая случайный характер процесса развития ДОТС необходимо сформировать функцию  $Y^*(X^*, U_m, U, R, t_k)$  управления её развитием, определяющую последовательность и характер (вид) воздействий на множество характеристик  $X(S)$  компонентов системы во времени, при которой обеспечивается выполнение следующего условия

$$| W_{ц}(X_{зад}, U, U_m, R, tk) - W_{д}(X^*, U, U_m, R, tk) | \rightarrow \min \Delta WS(tk), k = ]1, K[$$

при условии  $U_m \in U^0, U \in U^0, R \leq R_{зад}, X^* \in X^0$ , где  $K$  – количество контрольных точек оценки хода работ по развитию ДОТС;  $U_m$  – ограничения из области допустимых  $U^0$ , обусловленные наличием у системы «памяти»;  $U = \{U_{вну}, U_{вне}\}$  – множество внутренних и внешних деструктивных факторов из области допустимых  $U^0$ , оказывающих влияние на процесс развития системы;  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_g\}$  – множество ресурсных ограничений.

Для формирования управляющей функции  $Y^*(X^*) = (y^*(t_1), y^*(t_2), \dots, y^*(tk))$ , обеспечивающей при заданных ограничениях минимизацию дисбаланса между целевой и достигаемой траекториями развития ДОТС, необходим соответствующий механизм управления, учитывающий как особенности ДОТС, так и процесса её развития.

Такой механизм разработан и в виде метода представлен в [13-15].

### 3. Заключение

Отличительной особенностью предлагаемого метода является возможность минимизировать возникающий дисбаланс процесса развития ДОТС при минимальном расходовании ресурсов, так как в системе изменяются уровни только тех характеристик её компонентов, которые в заданный момент времени при имеющихся ограничениях максимально снижают разницу между требуемым и достигнутым уровнем её эффективности. При этом в отличие от классического динамического программирования, предложенный метод управления развитием ДОТС позволяет учитывать состояние системы не только на предыдущем шаге, но и предысторию её создания, а также тренды изменения в будущем характеристик входящих в систему компонентов, что повышает качество выбора вариантов её развития из имеющегося множества возможных и снижает «цену» ошибок проектирования.

Для практической реализации предложенного метода разработана концепция построения программно-аппаратного комплекса управления развитием (ПАК УР) ДОТС [16], а также соответствующая информационная технология. В качестве прототипа для технической реализации ПАК УР использовано устройство для анализа и оценки хода выполнения программы развития сложных технических систем [17].

### Список литературы

1. Козичев В.Н., Протасов А.А., Ширманов А.В. Автоматизированные системы управления специального назначения. М.: ООО Припп «Новые авторы», 2019. 448 с.
2. Об опыте создания и развития АСУ ВС СССР и Российской Федерации. Мемуарно-исторический очерк / Кол. авт. под рук. В.Г. Халина. М.: АдамантЪ, 2019-2020. В 3 т.
3. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978. 400 с.
4. Гасанов Т.И., Матвиенко Ю.А., Рассохин Г.Н. Критический анализ факторов развития АСУ военного назначения // Стратегическая стабильность. 2016. № 1(74). С. 30-35.
5. Брезгин В.С., Буравлев А.И., Буренок В.М. и др. Методология программно-целевого планирования развития системы вооружения на современном этапе. М.: Издательский дом «Граница», 2012. 460 с.

6. Теслинов А.Г. Развитие систем управления: методология и концептуальные структуры. М.: Глобус, 1998. 229 с.
7. Морозов А.Н., Скрипкин А.В. Немарковские физические процессы. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2018. 288 с.
8. Основы теории управления в системах специального назначения: Учебник / Под общей ред. Ю.В. Бородакия, В.В. Масановца. М.: Управление делами Президента РФ, 2008. 400 с.
9. Солодовников В.В., Тумаркин В.И. Теория сложности и проектирование систем управления. М.: Наука, 1990. 168 с.
10. Матвиенко Ю.А. Направления развития АСУ военного назначения на основе принципа сбалансированности // Военная мысль. 2020. № 2. С. 81-88.
11. Системный анализ и принятие решений. Словарь-справочник / Под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. М.: Высшая школа, 2004.
12. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. М.: Наука, 1981.
13. Матвиенко Ю.А. О методе управления развитием систем управления военного назначения с компонентами разных поколений техники // Вестник Академии военных наук. 2020. № 4 (73). С. 75-82.
14. Матвиенко Ю.А. К вопросу об использовании методов эвристической самоорганизации при формировании множества приемлемых вариантов развития АСУ военного назначения // Стратегическая стабильность. 2022. № 1 (98). С. 38-44.
15. Матвиенко Ю.А. Способ формирования обменных соотношений между боевыми и эксплуатационными характеристиками, определяющими основные свойства систем управления военного назначения, при выборе допустимых вариантов их развития в условиях ресурсных ограничений // Стратегическая стабильность. 2022. № 3 (100). С. 16-21.
16. Матвиенко Ю.А. Об использовании методов концептуального проектирования при создании программно-аппаратного комплекса управления развитием СУ ВН // Вестник научно-технического совета Военно-промышленной комиссии РФ. 2021. № 4 (29). С. 32-37.
17. Гончаров Н.А., Крылов Н.И., Матвиенко Ю.А., Мунтяну А.А. Устройство для анализа и оценки хода выполнения программы развития сложных технических систем. ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны РФ. Патент на полезную модель №199084. Зарегистрирован в Госреестре полезных моделей РФ 13.08.2020.