

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МОНОТОННЫХ И НЕМОНОТОННЫХ СТРУКТУР СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Павлов Александр Николаевич,

г. Санкт-Петербург, Россия, Pavlov62@list.ru

Павлов Дмитрий Александрович,

г. Санкт-Петербург, Россия, Dpavlov239@mail.ru

Павлов Алексей Александрович,

г. Санкт-Петербург, Россия, Pavlovs2007@mail.ru

Слинько Алексей Алексеевич,

г. Санкт-Петербург, Россия, Thebestman_leshka@mail.ru

Масалкин Александр Алексеевич,

г. Санкт-Петербург, Россия, Of.mas632@yandex.ru

Аннотация. В статье излагаются теоретические основы исследования таких центральных проблем структурного моделирования монотонных и немонотонных сложных объектов, как определение их структурной надежности и живучести. Традиционно при использовании многих структурных методов моделирования сложных объектов условие монотонности их функционирования считалось обязательным или рассматривалось по умолчанию. Как правило, это связано со свойством природной монотонности многих реально существующих сложных организационно-технических систем, которое заключается в отсутствии элементов системы, отказ или восстановление которых соответственно увеличивает или снижает надежность системы в целом. В последнее время возникло много новых направлений исследований, в которых становится важной проблема построения структурных моделей функционирования немонотонных сложных объектов. Так, например, исследование систем в целенаправленной, неизвестной среде требует включения в структурную модель элементов и подсистем, отражающих процессы разрушения, поражения, проникновения, противодействия противоположной стороны, наличия форс-мажорных обстоятельств. Согласно предложенной классификации все структуры сложных объектов делятся на монотонные 1-го, 2-го типа и немонотонные 1-го, 2-го типа. Для снятия ограничения на монотонность и обеспечения возможности построения логических условий функционирования элементов, как монотонных систем первого и второго типа, так и любых немонотонных сложных системных объектов был разработан общий логико-вероятностный метод. Его отличие от классических монотонных логико-вероятностных методов заключается в том, что ОЛВМ включает новые средства графического представления структур систем, включающие изобразительные средства функционально-полного набора логических операций "И", "ИЛИ" и "НЕ". В результате проведенных исследований для структур (монотонных и немонотонных сложных объектов), введено понятие прямого генома и двойственного генома структуры, который в концентрированном виде хранит целостный образ структуры объекта. Одна из центральных проблем структурного моделирования сложных объектов заключается в определении структурной живучести объектов. Особое внимание уделяется монотонным и немонотонным структурам второго типа на примере систем «не менее к из n» и «ровно k из n». Выявлены присущие им особенности.

Ключевые слова: монотонные и немонотонные структуры второго типа; структурная надежность; структурная живучесть; геном структуры; сложный объект.

Сведения об авторах: Павлов А.Н., д.т.н., доцент, профессор кафедры автоматизированных систем управления космических комплексов Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского;

Павлов Д.А., Павлов А.А., Слинько А.А., Масалкин А.А., адъюнкты Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского,

Введение

В настоящее время весьма актуальной становится разработка методологических и методических основ комплексной автоматизации процессов адаптивного развития сложных объектов (СЛО), базирующихся на результатах современной теории управляемой самоорганизации сложных организационно-технических систем, включающих в себя комбинированные модели, методы и алгоритмы анализа и управления структурной динамикой СЛО в условиях неполноты, неопределенности, неточности и противоречивости информации о складывающейся обстановке и при наличии неустраняемого порогового ограничения времени на цикл формирования и реализации решений по предотвращению возможных критических, чрезвычайных и аварийных ситуаций.

В общем случае задачи анализа структурной динамики СЛО включают в себя три основных под-класса задач:

- задачи структурного анализа СЛО;
- задачи исследования структурной динамики СЛО в условиях отсутствия входных воздействий (управляющих и возмущающих воздействий);
- задачи исследования структурной динамики СЛО при наличии входных воздействий.

Традиционно при использовании многих структурных методов моделирования СЛО условие монотонности их функционирования считалось обязательным или рассматривалось по умолчанию [1-2]. Как правило, это связано со свойством природной монотонности многих реально существующих сложных организационно-технических систем, которое заключается в отсутствии элементов системы, отказ или восстановление которых соответственно увеличивает или снижает надежность системы в целом.

Однако в последние годы возникло много новых направлений исследований [3,4,7], в которых становится важной проблема построения структурных моделей функционирования немонотонных СЛО. Так, например, исследование систем в целенаправленной, неизвестной среде требует включения в структурную модель элементов и подсистем, отражающих процессы разрушения, поражения, проникновения, противодействия противоположной стороны, наличия форс-мажорных обстоятельств.

В работе [5] была предложена классификации структур СЛО, представленная на рис. 1.

Согласно данной классификации все монотонные и немонотонные структуры СЛО разбиты на два типа. При описании моделей структур монотонных СЛО первого типа используют графы связности, двух или многотерминальные сети. В этих графах логические связи между элементами представляются двумя логическими операциями «И», «ИЛИ». Для обобщения взаимного влияния элементов СЛО друг на друга для монотонных систем первого типа введены нечеткие графы, т.е. графы с весовыми коэффициентами из отрезка [0,1]. К монотонным системам второго типа относятся такие, структуру взаимодействия элементов которых можно описать монотонными логическими функциями, но не представить графами связности.

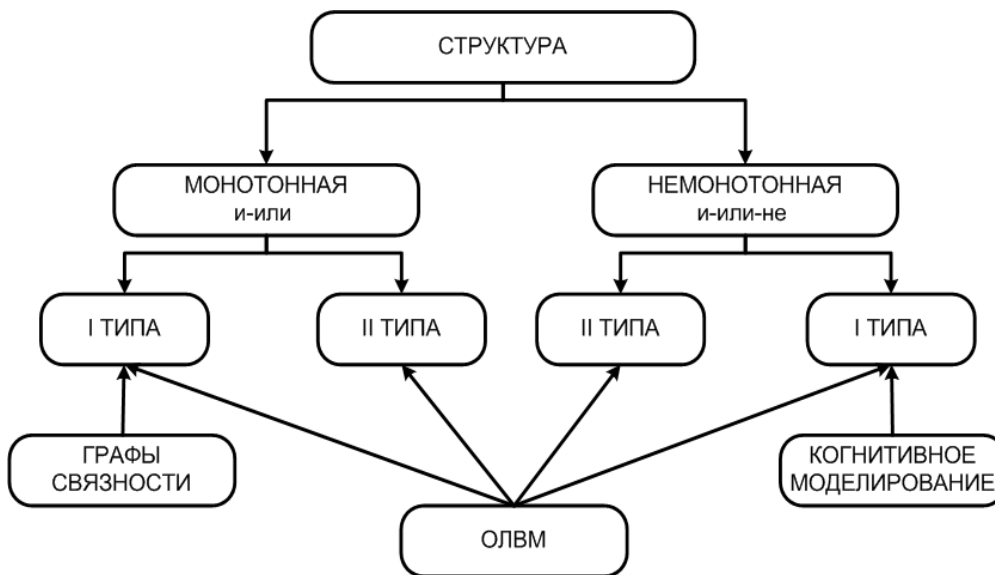


Рис.1. Классификация структур СЛО.

Для снятия ограничения на монотонность и обеспечения возможности построения логических условий функционирования элементов, как монотонных систем первого и второго типа, так и любых немонотонных сложных системных объектов был разработан общий логико-вероятностный метод (ОЛВМ) [6,7], являющийся развитием классических методов логико-вероятностного исчисления надежности, позволяющих исследовать монотонные системы первого типа [1,7,8].

Главная особенность и принципиальное отличие ОЛВМ от классических монотонных ЛВМ заключается в том, что ОЛВМ включает новые средства графического представления структур систем (схемы функциональной целостности - СФЦ), включающие изобразительные средства функционально-полного набора логических операций "И", "ИЛИ" и "НЕ".

Кроме того, разработан универсальный графоаналитический метод решения логических уравнений, который позволяет построить логико-вероятностную модель функционирования СЛО, учитывающую независимые, несовместные события, множественные состояния элементов, многофункциональные элементы и подсистемы.

Так же к одному из способов введения операцию «НЕ» в структурном моделировании можно отнести методы когнитивного моделирования, в котором наиболее распространенными классами моделей являются взвешенные (знаковые) орграфы, импульсные процессы и нечеткие когнитивные карты [9-12]. Нечеткая когнитивная карта представляет собой причинно-следственную сеть (или нечеткую положительно-отрицательную семантическую сеть), в которой веса связей лежат на отрезке [-1,1]. Положительно-отрицательные связи можно интерпретировать в терминах нечеткой логики. На когнитивной карте положительные связи типа «x влияет на y» в логической интерпретации можно рассматривать как импликацию $x \Rightarrow y$ или $\bar{x} \Rightarrow \bar{y}$. Отрицательные связи можно представлять как $\bar{x} \Rightarrow y$ или $x \Rightarrow \bar{y}$. Для реализации операции «НЕ» в работах [9-12] были введены отрицательные веса на дугах орграфа. Хотя в рассматриваемом подходе учитывается операция «НЕ», тем не менее, описать структурную модель функционирования любой немонотонной системы не представляется возможным. Структуры немонотонных СЛО, которые можно представить с помощью нечеткой когнитивной карты, относятся к немонотонным структурам первого типа. К немонотонным структурам второго типа относятся структуры, взаимодействия элементов которых можно описать немонотонными логическими функциями, но не удается представить нечеткими когнитивными картами.

Теоретические основы концепции генома структуры сложного объекта

В результате проведенных исследований [3-5] для структур (монотонных и немонотонных СЛО), введено понятие прямого генома и двойственного генома структуры, представляющих собой вектора $\vec{\chi} = (\chi_0, \chi_1, \chi_2, \dots, \chi_n)$ и $\vec{\eta} = (\eta_0, \eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n)$, компонентами которых являются коэффициенты соответственно полинома отказа $T(Q) = \chi_0 + \chi_1 Q + \chi_2 Q^2 + \dots + \chi_n Q^n$ и полинома надежности $R(P) = \eta_0 + \eta_1 P + \eta_2 P^2 + \dots + \eta_n P^n$ структуры СЛО, составленной из однородных элементов. Полученные результаты дают возможность утверждать, что **геном структуры** объекта в концентрированном виде **хранит целостный образ структуры СЛО**:

- топологические свойства монотонных структур 1 типа – параллельно-последовательных структур (П-структур), сложных «мостиковых» структур (Н-структур);
- свойства монотонности структуры;
- позволяет количественно оценивать структурную надежность, значимость и вклады элементов в структурную надежность однородных и неоднородных, монотонных и немонотонных структур СЛО как в случае вероятностного описания отказов (надежности) элементов структуры, так и при их нечетко-возможностной интерпретации;
- кроме того интегрированное представление показателей структурного отказа (или структурной надежности) для различных сценариев деградации СЛО позволяет вычислять значения показателя структурной живучести СЛО.

С некоторыми топологическими свойствами структуры, отраженными в геноме, познакомимся в следующем разделе.

Что касается свойства монотонности структуры, то

- если $\chi_0 = 0$ и сумма компонент вектора равна 1, то полином функции структурного отказа $T(Q) = \chi_0 + \chi_1 Q + \chi_2 Q^2 + \dots + \chi_n Q^n$ описывает монотонную структуру СЛО;

- если $\chi_0 = 0$ и сумма компонент вектора равна 0, то структура СЛО является немонотонной и полином функции структурного отказа не сохраняет «1» (т.е. $T(1) = 0$);
- если $\chi_0 = 1$ и сумма компонент вектора равна 1, то структура СЛО является немонотонной и полином функции структурного отказа не сохраняет «0» (т.е. $T(0) = 1$);
- если $\chi_0 = 1$ и сумма компонент вектора равна 0, то структура СЛО является немонотонной и полином функции структурного отказа не сохраняет «0» и «1» (т.е. $T(0) = 1, T(1) = 0$).

Для расчета значений показателя структурного отказа монотонных и немонотонных СЛО с учетом однородных ($F_{odnor}(\vec{\chi})$) или неоднородных ($F_{neodnor}(\vec{\chi})$) по отказу элементов, а также в случае нечетко-возможностной ($F_{vozm}(\vec{\chi})$) интерпретации отказов элементов можно воспользоваться следующими формулами [3-5]:

$$F_{odnor}(\vec{\chi}) = \vec{\chi} \cdot (1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \dots, \frac{1}{n+1})^T, \quad F_{neodnor}(\vec{\chi}) = \vec{\chi} \cdot (1, \frac{1}{2}, \frac{1}{2^2}, \dots, \frac{1}{2^n})^T,$$

$$F_{vozm}(\vec{\chi}) = \sup_{\mu \in \{0,1\}} \min\{\vec{\chi} \cdot (1, \mu, \mu^2, \dots, \mu^n)^T, g(\mu)\}.$$

Одна из центральных проблем структурного моделирования СЛО, особенно в условиях деструктивных воздействий, заключается в определении структурной живучести объектов. Предлагаемые способы оценивания структурной живучести [15], в основе которых лежат процедуры выявления минимальных сечений сетевых структур, применимы лишь для монотонных структур 1 типа и относятся к решению комбинаторных задач большой вычислительной сложности. Однако разработанный комбинированный метод случайного направленного поиска эволюционного типа [13,14] позволил осуществить построение сценариев (траекторий) структурной деградации СЛО в процессе отказов заданного или всего множества элементов структуры. Для построенных с использованием указанного метода оптимистического, пессимистического или произвольного сценариев структурных изменений как монотонных, так и немонотонных, как однородных, так и неоднородных СЛО введен показатель структурной живучести $J^k = S_0^k / S^k$ некоторого k -го сценария деградации, как отношения соответствующих площадей, представленных на рис. 2.

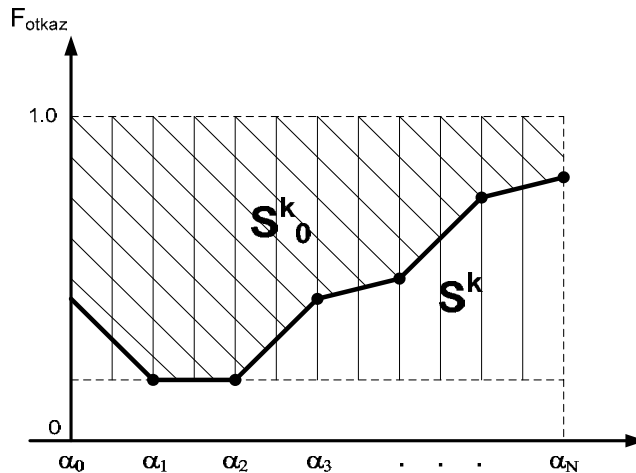


Рис.2. Графическая интерпретация структурной живучести k -го сценария деградации СЛО

На рис. 2 параметр $\alpha_j (j \in \{0,1,\dots,N\})$ является номером промежуточного структурного состояния СЛО на рассматриваемой траектории деградации. В качестве показателя структурного отказа $F_{отказ}(\vec{\chi}_{\alpha_j}) \in \{F_{odnor}(\vec{\chi}_{\alpha_j}), F_{neodnor}(\vec{\chi}_{\alpha_j}), F_{vozm}(\vec{\chi}_{\alpha_j})\}$ может использоваться какой-то один из трех показателей исходя из предположения, что структура СЛО состоит только из однородных по отказу элементов, только из неоднородных по отказу элементов, и, наконец, имеются возможностные отказы элементов.

Для каждого из этих трех случаев определяются нечеткие значения показателя живучести (a^i, α^i, β^i) , $(a^n, \alpha^n, \beta^n), (a^w, \alpha^w, \beta^w)$, где, скажем, $a^i - \alpha^i$ - пессимистическая оценка структурной живучести СЛО, составленного из однородных по отказу элементов, (пессимистический сценарий), $a^i + \beta^i$ - оптимисти-

ческая оценка структурной живучести (оптимистический сценарий), a^i - наиболее ожидаемая оценка структурной живучести (усредненная обработка случайным образом выбранных сценариев). Тогда в качестве интегрального значения показателя структурной живучести СлО J_{SG} будем полагать среднюю величину полученных результатов $J_{SG} = \frac{(a^i, \alpha^i, \beta^i) + (a^n, \alpha^n, \beta^n) + (a^w, \alpha^w, \beta^w)}{3}$.

Исследования монотонных и немонотонных структур 2 типа

Если монотонные структуры 1 типа, к которым относятся параллельно-последовательные (П-структуры) и сложные «мостиковые» (Н-структуры) структуры, да и немонотонные структуры 1 типа известны и часто используются при решении различных практических задач оценивания надежности, живучести, безопасности, риска структурно-сложных объектов, то монотонные и немонотонные структуры 2 типа не так часто встречаются. Поэтому может сложиться впечатление, что структур 2 типа не может быть вообще. Действительно, если взаимодействие элементов СлО можно описать монотонной логической функцией с использованием логических операций «И», «ИЛИ», то, по всей видимости, такая структура должна быть представлена графом. Оказывается это не так. Для подтверждения данного факта рассмотрим и проведем исследования СлО, в которых существуют подсистемы типа «не менее k из n » или «ровно k из n ».

Полином надежности структуры «ровно k из n » (структура состоит из n однородных элементов и она работоспособна, если работоспособны ровно k элементов) имеет вид $R_{=k,n}(P) = C_n^k P^k (1-P)^{n-k}$, где P вероятность безотказной работы элемента СлО.

Полином надежности структуры «не менее k из n » (структура состоит из n однородных элементов и она работоспособна, если работоспособны не менее k элементов) имеет вид $R_{\geq k,n}(P) = \sum_{i=k}^n C_n^i P^i (1-P)^{n-i}$.

Не теряя общности рассуждений, проведем структурный анализ указанных систем для случая, когда число элементов n равно 7. Двойственные геномы исследуемых структур приведены ниже, а графики их полиномов на рис. 3 а), 3 б).

Двойственные геномы структур «ровно k из n » для $n=7$ представляют собой вектора: $\vec{\eta}_{=1} = (0, 7, -42, 105, -140, 105, -42, 7)^T$, $\vec{\eta}_{=2} = (0, 0, 21, -105, 210, -210, 105, -21)^T$, $\vec{\eta}_{=3} = (0, 0, 0, 35, -140, 210, -140, 35)^T$, $\vec{\eta}_{=4} = (0, 0, 0, 0, 35, -105, 105, -35)^T$, $\vec{\eta}_{=5} = (0, 0, 0, 0, 0, 21, -42, 21)^T$, $\vec{\eta}_{=6} = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 7, -7)^T$.

Двойственные геномы структур «не менее k из n » для $n=7$ представляют собой вектора: $\vec{\eta}_{\geq 1} = (0, 7, -21, 35, -35, 21, -7, 1)^T$, $\vec{\eta}_{\geq 2} = (0, 0, 21, -70, 105, -84, 35, -6)^T$, $\vec{\eta}_{\geq 3} = (0, 0, 0, 35, -105, 126, -70, 15)^T$, $\vec{\eta}_{\geq 4} = (0, 0, 0, 0, 35, -84, 70, -20)^T$, $\vec{\eta}_{\geq 5} = (0, 0, 0, 0, 0, 21, -35, 15)^T$, $\vec{\eta}_{\geq 6} = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 7, -6)^T$.

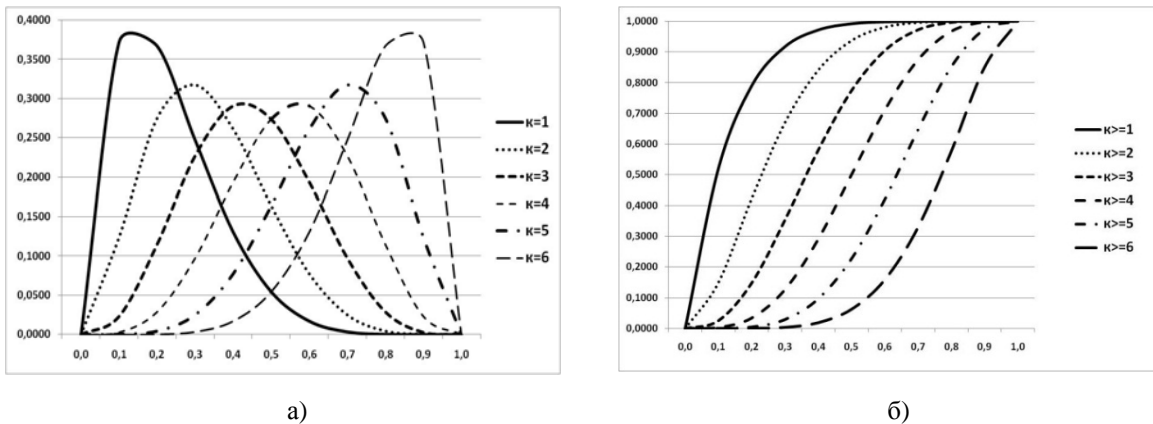


Рис.3. Графики полиномов надежности структур: а) – «ровно k из n », б) – «не менее k из n »

Полиномы надежности структур «ровно k из n » являются немонотонными, а структур «не менее k из n » - монотонными. Почему же данные структуры относятся ко 2 типу структур? В работе [16] доказано, что старшая компонента генома (двойственного генома) любых параллельно-последовательных структур равна $\eta_n = \pm 1$ и может быть по модулю больше 1 ($|\eta_n| > 1$) только для «мостиковых» структур. Однако структуры гомеоморфные «мостиковым» и состоящие из 7 элементов могут быть представлены в виде графов, представленных на рис. 4.

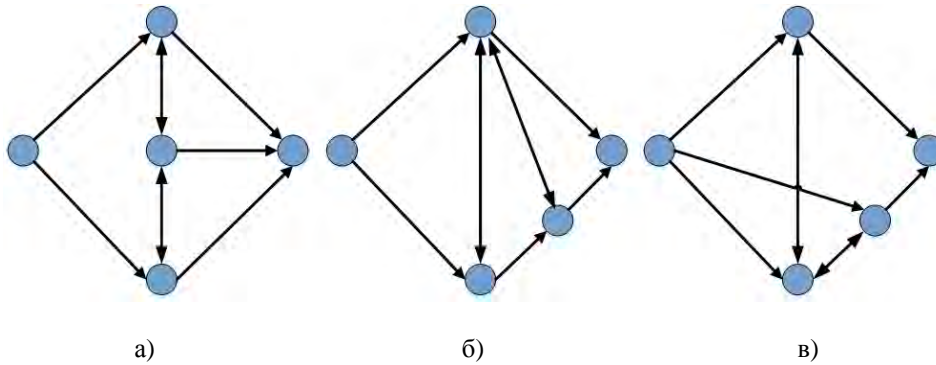


Рис.4. «Мостиковые» структуры из 7 элементов

Двойственные геномы структур на рис. 4 представляют собой вектора: $\vec{\eta}_a = (0, 0, 2, 2, -2, -7, 9, -3)^T$, $\vec{\eta}_б = (0, 0, 3, -2, 5, -13, 11, -3)^T$, $\vec{\eta}_в = (0, 0, 2, 1, 0, -9, 10, -3)^T$. Старшая компонента представленных геномов равна -3. Старшие компоненты двойственных геномов структур «ровно k из n » и «не менее k из n », кроме генома $\vec{\eta}_{\geq 1} = (0, 7, -21, 35, -35, 21, -7, 1)^T$, значительно отличаются от значения -3. Следовательно, эти структуры не могут относиться к структурам 1 типа. Однако следует отметить, что структура «не менее 1 из n », старшая компонента генома которой равна 1, может быть представлена графом, изображенным на рис. 5.

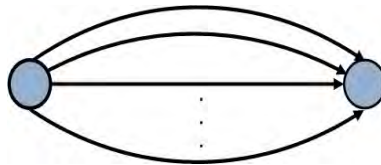


Рис.5. Структура типа «не менее 1 из n »

Результаты проведенных исследований структурной надежности и структурной живучести монотонных структур «не менее k из 7» с использованием оригинальной концепции генома структуры представлены на рис.6.

Анализируя представленные результаты, можно утверждать, что с ростом параметра k , структурная надежность и живучесть данных объектов монотонно убывает, при этом живучесть «однородных» структур выше чем «неоднородных». Это явно связано со свойством монотонности рассматриваемых систем. При этом следует указать на любопытное изменение структурной надежности для однородных и неоднородных объектов (рис. 6а). Так если для $k=1,2,3$ надежность «неоднородных» структур выше надежности «однородных», то при $k=5,6$ «однородная» оценка становится выше «неоднородной». Указанное свойство можно наблюдать для всех монотонных структур первого типа, что ранее было показано в работе [3]. Поэтому из представленных результатов выявить какие-то новые особенности, связанные с надежностью и живучестью монотонных структур 2 типа, не удается.

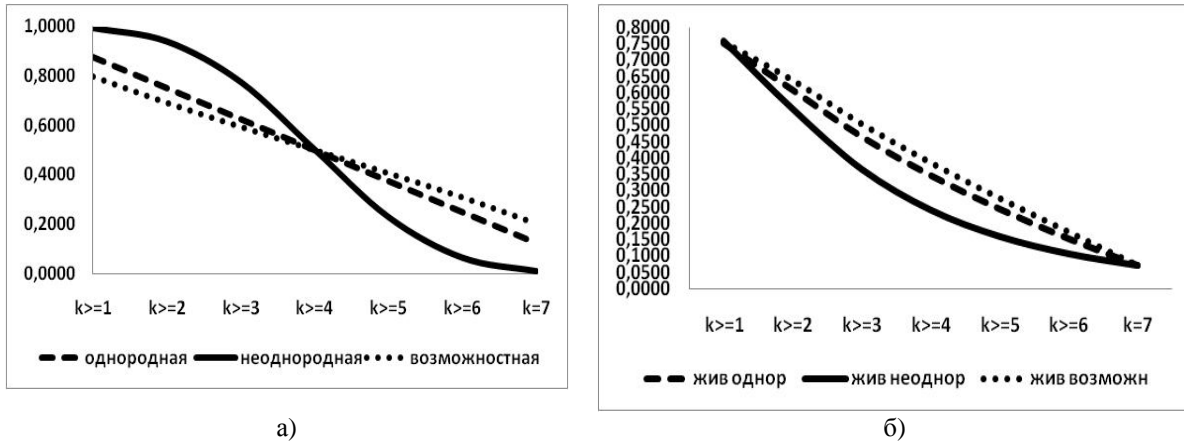


Рис.6. а) структурная надежность СлО типа «не менее k из 7»,
 б) структурная живучесть СлО типа «не менее k из 7»

Результаты проведенных исследований структурной надежности и структурной живучести немонотонных структур «ровно k из 7» представлены на рис. 7.

Проведя анализ представленных результатов, можно указать на некоторые особенности структур «ровно k из n », относящихся к немонотонным структурам 2 типа. Во-первых, структурная надежность СлО, составленных из однородных элементов, будь-то вероятностная или нечетко-возможностная интерпретация отказов (надежности) элементов, постоянная. При этом «возможностная» оценка надежности выше, чем «вероятностная». Во-вторых, для неоднородных структур «ровно k из n » функция структурной надежности имеет явно выраженный колоколообразный вид. Для рассматриваемых структур с параметрами $k=3$ и 4 (занимают среднее положение среди этих структур) надежность самая высокая, а крайние структуры обладают наименьшей структурной надежностью.

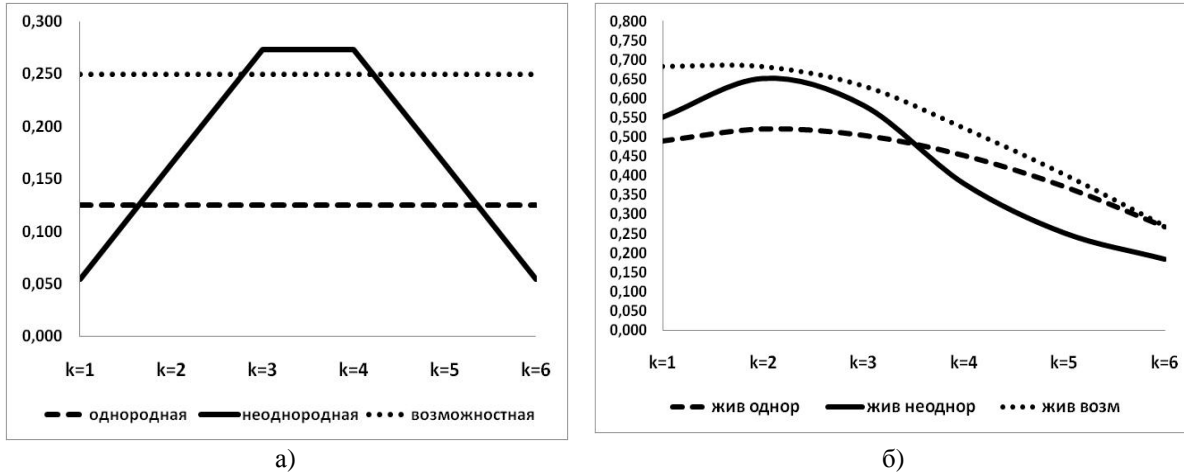


Рис.7. а) структурная надежность СлО типа «ровно k из 7»,
 б) структурная живучесть СлО типа «ровно k из 7»

Опираясь на такое поведение структурной надежности можно было бы ожидать, что структурная живучесть СлО типа «ровно k из n » для структур, занимающих среднее положение ($k=3$ и 4), будет также самой высокой. Впрочем, это не так. Наивысшей структурной живучестью среди объектов «ровно k из 7» обладает структура с параметром $k=2$ (рис. 7б). При этом живучесть структуры с параметром $k=1$ приблизительно равна живучести структуры с параметром $k=3$, и превосходит живучесть структуры, у которой параметр $k=4$. Наконец, следует указать на тот факт, что «возможностная» оценка структурной живучести всегда превосходит ее «однородную» и «неоднородную» оценки. И наблюдается опять же любопытное изменение структурной живучести для однородных и неоднородных объектов.

Заключение

Подводя итог проведенным исследованиям можно сделать следующий вывод. Монотонные и немонотонные структуры 2 типа, как и 1 типа, встречаются на пути практического применения структурного анализа СЛО. Особенно при построении немонотонных структурных моделей в таких опасных производственных отраслях, как авиаракетно-космическая отрасль, атомная энергетика, нефтегазовая промышленность и ряд других. Это обстоятельство требует внимательного рассмотрения таких основных свойств этих структур, как структурная надежность и живучесть. При этом следует учитывать при проведении исследований выявленные особенности монотонных и немонотонных структур 2 типа.

Литература

1. Рябинин И.А., Черкесов Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. М.: Радио и связь. 1981. 264 с.
2. Райншке К., Ушаков И.А. Оценка надежности систем с использованием графов. М.: Радио и связь. 1988. 208 с.
3. Павлов А.Н., Соколов Б.В. Структурный анализ катастрофоустойчивой информационной системы // Труды СПИИРАН, Выпуск № 8. СПб.: СПИИРАН. 2009. С. 128-151.
4. Осипенко С.А., Павлов А.Н. Исследование безопасности сложных технических объектов // Известия Вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53. №11. С. 27-31.
5. Павлов А.Н. Классификация монотонных и немонотонных информационных систем на основе генома структуры // Труды СПИИРАН, Выпуск № .2(21) СПб.: СПИИРАН. 2012. С. 238-248.
6. Можаяев А.С. Универсальный графоаналитический метод, алгоритм и программный модуль построения монотонных и немонотонных логических функций работоспособности систем. // Труды третьей Международной научной школы "Моделирование и Анализ Безопасности и Риска (МА БР - 2003)". СПб.: Август 20-23. 2003. 517 с.
7. Применение общего логико-вероятностного метода для анализа технических, военных организационно-функциональных систем и вооруженного противоборства // Монография, научное издание / В.И. Поленин, И.А. Рябинин, С.К. Свиринов, И.А. Гладкова. Под ред. А.С. Можаяева // Проект в рамках Концепции социально-политического проекта РАЕН «Актуальные проблемы безопасности социума» / Российская академия естественных наук. СПб: СПб-региональное отделение РАЕН. 2011. 416 с.
8. Рябинин И.А. Надежность и безопасность сложных систем. – СПб.: Политехника, 2000. 248 с.
9. Силнов В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. М.: ИНПРО-РЕС. 1995. 228 с.
10. Максимов В.И. Структурно-целевой анализ развития социально-экономических ситуаций // Проблемы управления. 2005. № 3. С. 30-38.
11. Kosko B. Fuzzy cognitive maps // Intern. Journal of Man-Machine Studies. 1986. Vol. 1. Pp. 65-75.
12. Кульба В.В., Миронов П.Б., Назаретов В.М. Анализ устойчивости социально-экономических систем с использованием знаковых орграфов // Автоматика и телемеханика. 1993. № 7. С. 130-137.
13. Павлов А.Н. Алгоритм управления реконfigurацией структуры сложного технического объекта // Управление развитием крупномасштабных систем: Материалы Пятой конференции (3-5 октября 2011г., Москва, Россия). М.: Учреждение Российской академии наук Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН. 2011. Т. 1. С. 374-377.
14. Павлов А.Н., Павлов Д.А. Подход к прогнозированию структурной устойчивости сложных объектов // Т-Comm - Телекоммуникации и транспорт. 2013. Выпуск № 6. С. 65-67.
15. Подлесный Н.И., Рассоха А.А., Левков С.П. Специальные методы идентификации, проектирования и живучесть систем управления / Н. И. Подлесный. К.: Выща школа. 1990. 446 с.
16. Павлов А.Н. Исследование генома двухполюсной сетевой структуры // Труды IX Международной научной школы МА БР-2009 «Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах», Санкт-Петербург, 7-11 июля 2009 г. СПб.: ГУАП. 2009. С. 429-434.

THEORETICAL BASIS OF RESEARCH MONOTONOUS AND NON-MONOTONOUS STRUCTURE OF COMPLEX OBJECTS

Pavlov Alexander Nikolaevich,

St. Petersburg, Russia, Pavlov62@list.ru

Pavlov Dmitry Alexandrovich,

St. Petersburg, Russia, Dpavlov239@mail.ru

Pavlov Alexey Alexandrovich,

St. Petersburg, Russia, Pavlovs2007@mail.ru

Slinko Alexey Alekseevich,

St. Petersburg, Russia, Thebestman_leshka@mail.ru

Masalkin Alexander Alekseevich,

St. Petersburg, Russia, Of.mas632@yandex.ru

Abstract. The article discusses the theoretical bases of research of central problems of structural modeling monotone and non-monotone complex objects such as determining their structural reliability and survivability. Traditionally, when using many structural methods of complex objects modeling monotonicity condition of their functioning was considered obligatory or considered by default. As a rule, this is due to the properties of natural monotony of many real-life complex organizational-technical systems, which means the absence of elements of the system, the failure or restoration of which, increases or decreases the reliability of the system as a whole respectively. Recently, there appeared a lot of new research directions in which the problem of constructing structural models of non-monotonic operation of complex objects becomes important. For example, the study of systems in a targeted, unknown environment requires the inclusion of components and subsystems in the structural model that reflect the processes of destruction, damage, penetration, enemy countermeasures, or force major conditions. According to the proposed classification of all the structures of complex objects are divided into monotonous 1st, 2nd type, and non-monotonic 1st, 2nd type. To remove restrictions on the monotony and allow the construction of logical elements operating conditions as monotonous systems of first and second type, as well as any non-monotonic complex system of objects by a common logical-probabilistic method was designed. It differs from the classic monotone of logical and probabilistic methods in the fact that OLVM includes new graphical representation of system structures, covering display of functionally complete set of logical operators "AND", "OR" and "NOT." The studies for the structures (monotonic and non-monotonic complex objects) introduced the concept of direct genome and the genome of the dual structure, which keeps a complete image of the object structure in concentrated form. One of the central problems of structural modeling of complex objects is to define the structural robustness of objects. Particular attention is paid to the monotonous and non-monotonous structures on the example of the second type systems "at least k of n" and «exactly k of n». Their inherent characteristics are as well revealed.

Keywords: monotonous and non-monotonous structure of the second type; structural reliability; structural survivability; genome of structure; complex object.

References

1. Ryabinin I.A., Cherkesov G.N. Logiko-veroyatnostnyemetodyissledovaniyanadeznostistrukturno-slozhnihsistem [Logical probabilistic methods of research of structural complex systems reliability]. M.: Radioisvjaz. 1981. 264 p. (InRussian).
2. Reinshke K., Ushakov I.A. Application of Graph Theory for Reliability Analysis. M.: Radio iSviaz. 1988. 208 p. (In Russian).
3. Pavlov A.N., Sokolov B.V. Structural analysis of disaster-tolerance information system // Trudy SPIIRAN. Issue №8. SPb.: SPIIRAN. 2009. Pp. 128-151.(InRussian).
4. Osipenko, S. A., Pavlov, A. N. Research of safety of complex technical objects // News of High Schools. Priborostroenie. Vol. 53. No 11. 2010. Pp. 27–32. (In Russian).
5. Pavlov A.N. The classification of monotonous and nonmonotonous information systems based on genome of structure // Trudy SPIIRAN, Issue №2(21). SPb.: SPIIRAN. 2012. Pp. 238-248.(InRussian).

6. Mozhaev A.S. Universal graphical-analytical method, algorithm and software module for constructing monotonic and nonmonotonic logic function performance systems. In: The Third International Scientific School "Modeling and Analysis of Safety and Risk (MASR - 2003)". RF. SPb.: August 20–23. 2003. (In Russian)
7. Polenin, V.I., Ryabinin, I.A., Svirin, S.C., Gladkov, I.P.: Application of the general logical-probabilistic method for analyzing the technical, military organizational and functional systems and armed confrontation. In: Mozhaev, A.S. (ed.), Monograph. SPb.: NIKA. 2011. 416 p.(InRussian).
8. Ryabinin I.A. Reliability and Safety of Structural Complex Systems. SPb.: Politechnika. 2000. 248 p. (In Russian).
9. Silov V.B.Strategic decision-making under fuzzy situation. M.: INPRO-RES. 1995. 228 p. (In Russian).
10. Maksimov V.I. Structural-targeted analysis of socio-economic conditions // Problems of Management. 2005. № 3. Pp. 30 - 38. (In Russian).
11. Kosov B. Fuzzy cognitive maps // Intern. Journal of Man-Machine Studies. 1986. Vol. 1. Pp. 65-75.
12. Kul'ba V.V., Mironov P.B., Nazaretov V.M., Stability analysis of socioeconomic systems with the aid of signed digraphs // Automation and Remote Control. 1993. № 7. Pp. 130–137. (InRussian).
13. Pavlov A.N. Algorithm configuration management structure of complex technical object // Managing the development of large-scale systems: Proceedings of the Fifth Conference (October 3-5, 2011, Moscow, Russia). Vol 1. M.: Institute of Control Sciences V. A. Trapeznikov of Russian Academy of Sciences. 2011. Pp. 374-377. (In Russian).
- 14.Pavlov A.N., Pavlov D.A. Approach for predicting the structural stability of complex objects // T-Comm - Telecommunications and Transportation. 2013. Issue. № 6. Pp. 65-67. (In Russian).
15. Podlesnyj N.I., Rassoha A.A., Levkov S.P. Specific methods of identification, design, and survivability of control systems. K.: Vyshcha School. 1990. 446 p. (In Russian).
16. Pavlov A.N. Genome research bipolar network structure. In: IX International Scientific School MA SR-2009" Modeling and analysis of safety and risk in complex systems". SPb.: 7–11 July. 2009. Pp. 429–434. (In Russian)

Information about authors:

Pavlov A.N. Dr.Sci., associate professor, professor of the Department automated control systems of space complex, Military Space Academy;
Pavlov D.A. post-graduate student, Military Space Academy;
Pavlov A.A. post-graduate student, Military Space Academy;
Slin'ko A.A. post-graduate student, Military Space Academy;
Masalkin A.A. post-graduate student, Military Space Academy.