

НЕГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ (ИНСТИТУТ)
«ВЫСШАЯ ШКОЛА БИЗНЕСА, БЕЗОПАСНОСТИ И УПРАВЛЕНИЯ»

УДК 681.51

Е.Н. Надеждин, П.В. Допира

**Алгоритм декомпозиции
сетевой инфраструктуры системы организационного управления**

Тула 2013 г.

Современный этап эволюции систем управления деятельностью предприятий и организаций характеризуется высокой степенью автоматизации процессов сбора и обработки данных, необходимых для принятия обоснованных управленческих решений. Используемые на практике автоматизированные системы организационного управления (АСУ) имеют, как правило, распределённую сетевую инфраструктуру и обеспечивают реализацию полного набора функций электронного сервиса [3, 7, 9]. Постановка и решение задач оценки проектной эффективности компонентов таких АСУ связаны с преодолением серьёзных математических трудностей, обусловленных, прежде всего, многофункциональностью и полирежимностью системы, высокой размерностью её модели и неопределённостью исходных данных [1, 5, 10].

Несмотря на многообразие существующих представлений, учитывающих различные комбинации и интерпретации свойств АСУ, можно выделить три основных подхода к её формальному описанию [6, 8]: 1) функциональное (Ф-представление); 2) морфологическое (М-представление); 3) процессное (П-представление). На их базе могут быть построены более сложные представления (модели) АСУ, использующие и конкретизирующие атрибуты основных представлений. Для отображения Ф-представления иерархической структуры системы как совокупности взаимодействующих элементов используются структурные математические модели, которые представляют собой графы.

Одним из проблемных вопросов, возникающих на этапе системно-технического проектирования автоматизированных систем, является декомпозиция объекта исследования. Традиционно задачи декомпозиции решаются в рамках методологии системного анализа [1, 4, 8]. Учитывая особенности сетевой инфраструктуры АСУ, перспективным представляется развитие методов и инструментальных средств декомпозиции, основанных на применении топологического подхода, получившего обоснование в работах Г. Крона [3].

Использование в качестве математического базиса организационных структур управления формализма теории графов существенно расширяет возможности осуществления обоснованной декомпозиции структуры АСУ на функциональном уровне [2, 6, 9]. Задача декомпозиции АСУ как объекта исследования заключается в анализе базовой математической модели, заданной в виде функционального графа $G(X,U)$, где X - множество вершин, U - множество дуг, и в выделении совокупности относительно независимых подсистем, связи между которыми могут быть условно разорваны (с последующим учётом) без ущерба для результата исследования.

Произвести декомпозицию сложной системы - это значит выделить в ней отдельные сильно связанные подсистемы, т. е. такие подсистемы, все остальные части которых благодаря обратным связям взаимно достижимы. Известно, что граф такой системы бисвязен. При декомпозиции АСУ выделяются также слабо связанные подсистемы, все составные части которых связаны неориентированным путем. Граф такой подсистемы связан. Рассмотрим формализацию решения задачи декомпозиции АСУ на основе сокращения размерности ориентированного функционального графа $G(X,U)$. Для упрощения распределённой инфраструктуры АСУ, представленной ориентированным графом, можно рекомендовать следующий алгоритм декомпозиции.

ШАГ 1. Составить матрицу смежности A графа $G(X,U)$.

ШАГ 2. Вычислить матрицу $R_1 = A + E$, где E - единичная матрица размера $(n \times n)$; $(+)$ - знак логического сложения; R_1 - матрица первой достижимости, i -я строка которой представляет все ориентированные пути по графу из i -й вершины до всех остальных вершин, если длина пути равна одному ребру.

ШАГ 3. Определить $R_2 = R_1^{*2}$, где знак «*» означает, что при вычислении $R_1 \times R_2$ применяется логическое умножение и суммирование соответствующих элементов матриц.

Аналогично определяются все матрицы вплоть до $R = R_n = R_1^{*n}$, где R - матрица достижимости графа $G(X,U)$, i -я строка которой представляет все ориентированные пути по графу длиной от одного до n ребер из i -й вершины ко всем остальным. Матрицы A и R имеют размерность $n \times n$.

При вычислении R не обязательно R_1 возводить в n -ю степень. Если $R_1^{*k} = R_1^{*(k-1)}$, то $R = R_1^{*k}$, где $k < n$.

ШАГ 4. Проанализировать матрицу R . Возможны два случая. Если $R = Q$, где $Q = [q_{ij}]$ - такая универсальная матрица, что для всех индексов i и j выполняется условие $q_{ij} = 1$, то граф бисвязен, и декомпозиция системы невозможна. При этом система состоит из одной сильно связанной подсистемы. Если $R \neq Q$, то необходимо перейти к следующему шагу. В тех случаях, когда априорно известно, что граф связан, следует перейти к шагу 8.

ШАГ 5. Определить матрицу достижимости неориентированного графа $G^0(X,U)$, соответствующего ориентированному графу $G(X,U)$ системы. Матрица $R^0 = (A + A^T + D)^{*n}$, где символ «Т» означает операцию транспонирования.

ШАГ 6. Определить связные подграфы ориентированного графа $G(X,U)$. Известно, что множество вершин связного подграфа, содержащего вершину i , определено единицами в i -й строке матрицы R^0 . Если $R^0 = Q$, то граф $G(X,U)$ состоит из одного связного подграфа. В этом случае необходимо перейти к шагу 8. Если же $R^0 \neq Q$, то надо перейти к следующему шагу.

ШАГ 7. Упорядочить вершины графа $G(X,U)$ (матрицы A) по связным подграфам.

ШАГ 8. Образовать матрицу связности $C = R + R^T$. Здесь операция сложения обычная (арифметическая).

ШАГ 9. Выделить из матрицы C бисвязные подграфы. Бисвязный подграф, содержащий вершину k , определен двойками в k -й строке матрицы C .

ШАГ 10. Упорядочить матрицу A так, чтобы бисвязные подграфы образовали квадратные подматрицы $E_\mu \subset A, \mu = \overline{1, p}$;

ШАГ 11. Образовать матрицу $R_+ = (A_+^0 + A_+^T + E_+)^{* \mu}$, где A_+ - матрица смежности подграфа с множеством вершин $H = W / \bigcup_{\mu=1}^w B_\mu$ и B_μ - подмножество составных частей μ -й сильно связанной подсистемы, а затем выполнить п. 6 и п. 7.

$A =$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
			1	1												1
																2
												1				3
					1											4
								1								5
						1										6
							1									7
								1			1					8
									1							9
						1										10
	1													1	1	11
												1				12
	1										1					13
													1			14
																15
														1		16

ШАГ 12. По упорядоченной матрице A' определить связи (ребра) между подсистемами, которые должны быть разорваны в результате декомпозиции.

Рассмотрим пример реализации изложенного алгоритма декомпозиции. Пусть известна АСУ, структура которой представлена графом, приведённым на рис.1. Составим матрицу смежности A этого графа. Далее последовательно получим матрицу достижимости R этого графа и матрицу связности C .

Изучая структуру матрицы R_+^0 , выделяем дополнительно три слабо связанные подсистемы $B_3 = \{1, 4, 5\}$, $B_4 = \{12, 14\}$ и $B_5 = \{2\}$.

$R =$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1															2
	1	1								1		1		1	1	3
	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4
	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5
	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6
	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7
	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8
	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
	1	1								1		1		1	1	11
	1	1								1	1	1	1	1	1	12
	1	1								1		1		1	1	13
	1	1								1		1	1	1	1	14
	1	1								1		1		1	1	15
	1	1								1		1		1	1	16

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
C=	2																1
		2															2
			2								2		2		2	2	3
				2													4
					2												5
						2	2	2	2	2							6
						2	2	2	2	2							7
						2	2	2	2	2							8
						2	2	2	2	2							9
						2	2	2	2	2							10
			2								2		2		2	2	11
												2					12
			2								2		2		2	2	13
														2			14
			2								2		2		2	2	15
			2								2		2		2	2	16

Анализируя структуру матрицы связности C , выявляем две сильно связанные подсистемы $V_1=(6, 7, 8, 9, 10)$ и $V_2=(3, 11, 13, 15, 16)$.

Из полученных результатов следует, что в упорядоченной матрице смежности A' функционального графа АСУ необходимо разорвать связи, выделенные на матрице звездочкой, а на рис. 1 крестиками.

После декомпозиции матрицу A' можно разрушить, сохранив лишь подматрицы смежности D_s и матрицу смежности сокращенного графа M , которые естественным образом получаются из A' .

	1	4	5	6	7	8	9	10	12	14	3	11	13	15	16	2	
		1	1														1
				1*													4
							1*										5
					1												6
						1											7
							1		1*								8
								1									9
$A' =$				1													10
										1							12
														1*		1	14
													1				3
											1			1	1		11
												1				1*	13
																	15
													1				16
																	2
	B_3			B_1				B_4		B_2				B_5			

Замкнутые контуры в подсистемах B_1 и B_2 устраняются на основе использования матриц смежности.

	6	7	8	9	10	
		1				6
$D_1 =$			1			7
				1		8
					1	9
	1					10

	<i>3</i>	<i>11</i>	<i>13</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	
$D_2=$			1			<i>3</i>
	1			1	1	<i>11</i>
		1				<i>13</i>
					1	<i>15</i>
			1			<i>16</i>

После декомпозиции и устранения замкнутых контуров можно представить АСУ сокращенным ориентированным графом $Z(V, E)$, где V - множество вершин (подсистем); E - множество ориентированных ребер (связей между подсистемами).

Полученный сокращенный граф является удобной моделью для решения динамических, информационных и диагностических задач при проектировании АСУ. Он обладает всеми основными топологическими свойствами исходной модели АСУ, поскольку система преобразовывалась таким образом, что топологическое пространство, представленное ориентированным графом $G(X, U)$, непрерывно отображалось в топологическое пространство, представленное графом $Z(V, E)$.

Для рассмотренного примера матрица смежности M сокращенного графа $Z(V, E)$ (рис. 2) имеет вид:

	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	
$M=$				1		B_1
					1	B_2
	1					B_2
		1				B_2
						B_2

Во всех матрицах рассмотренного примера, за исключением случая матрицы C , в свободных клетках подразумеваются нули; а в матрице C все свободные клетки заполнены единицами.

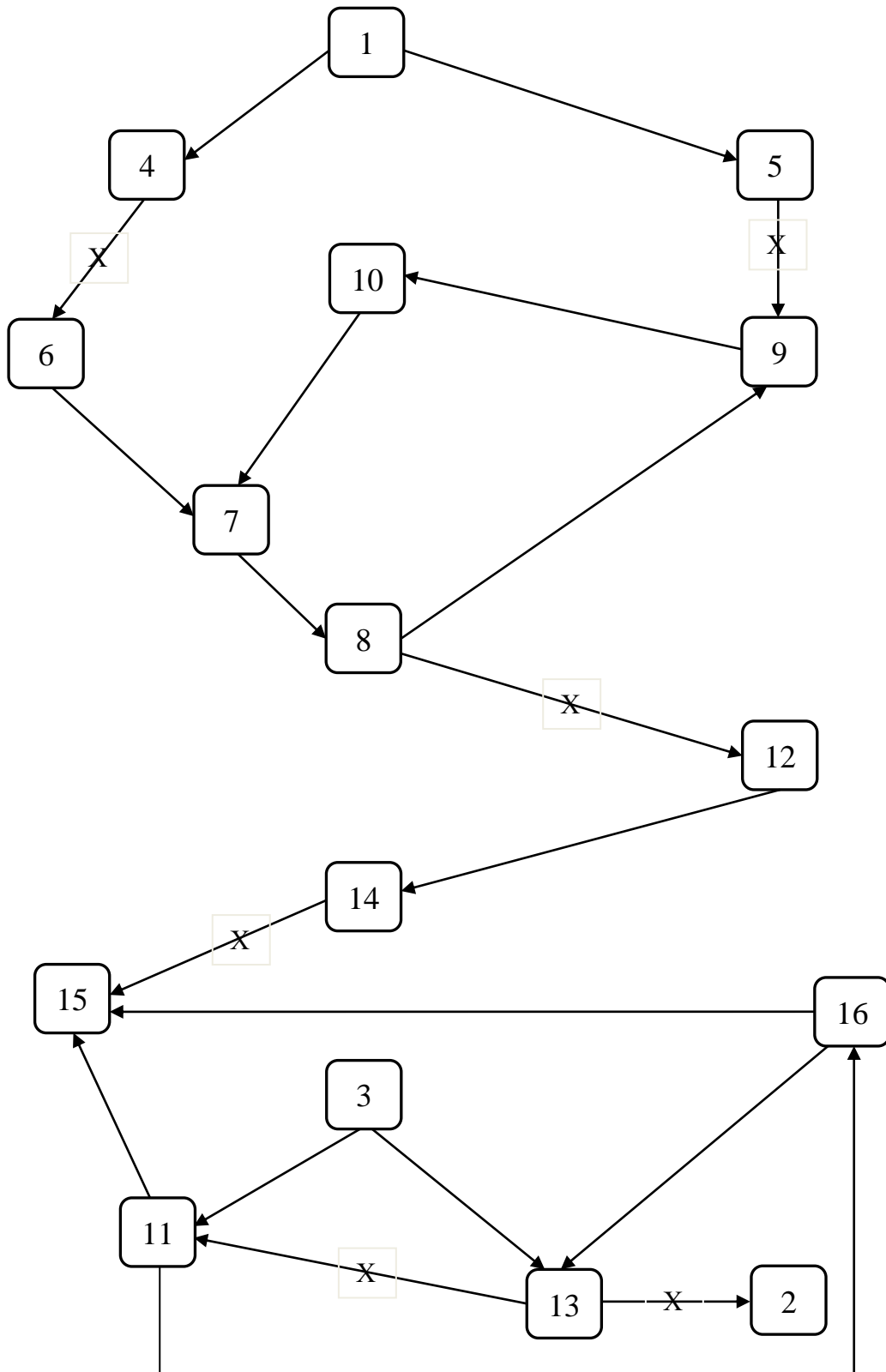


Рисунок 1 – Граф структурной схемы АСУ

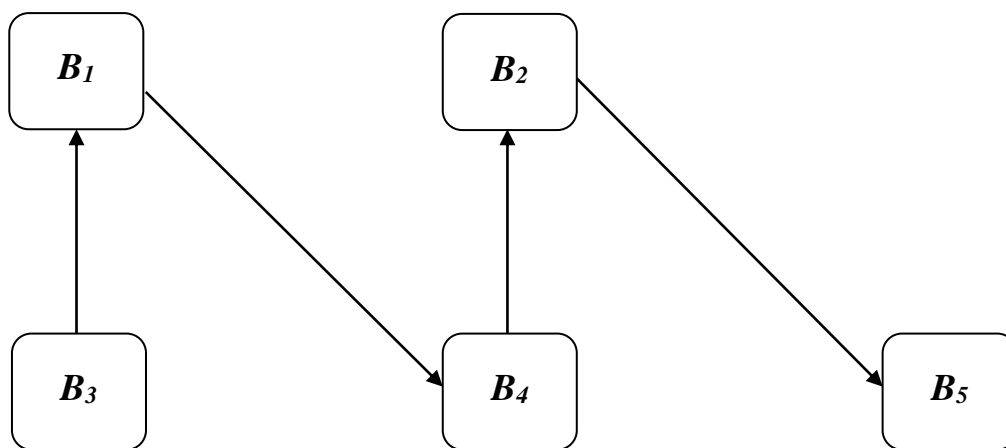


Рисунок 2 – Укрупненная схема АСУ после декомпозиции

Литература:

1. Бутко Г.И., Ивницкий В.А., Порывкин Ю.П. Оценка характеристик систем управления летательными аппаратами.- М.: Машиностроение.- 272 с.
2. Зайченко Ю.П., Гонта Ю.В. Структурная оптимизация сетей ЭВМ.- Киев: Техника, 1986.- 168 с.
3. Крон Г. Исследование сложных систем по частям – диакоптика.- М.: Наука, 1972.- 544 с.
4. Надеждин Е.Н. Математические основы проектирования роботизированных образцов ракетно-артиллерийского вооружения. Часть 1. Методы декомпозиции и принятия решений: учебное пособие.-Тула: Тульское высшее артиллерийское инженерное училище.- 1997.- 162 с.
5. Надеждин Е.Н. Методические подходы к решению задач проектирования автоматизированной системы управления образовательным учреждением // Педагогическая информатика.- 2011.- № 5.- С. 51-64.
6. Надеждин Е.Н., Бушуев В.Д. Методы моделирования в задачах исследования систем организационного управления: монография.- Тула: АНО ВПО «Институт экономики и управления», 2011.- 280 с.

7. Надеждин Е.Н., Допира П.В. Принципы автоматизации процессов организационного управления учебным заведением // Инновации в науке, экономике, образовании: Международная научно-практическая конференция.- Тула: АНО ВПО «Институт экономики и управления».- 2012. -С. 62-68.

8. Николаев В.И. Системотехника: Методы и приложения / В.И. Николаев, В.М. Брук.-Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985.-199 с.

9. Новиков Д.А. Сетевые структуры и организационные системы. М.: ИПУ РАН (научное издание), 2003. – 102 с.

10. Петров А.В., Яковлев А.А. Анализ и синтез радиотехнических комплексов. Под ред. В.Е. Дулевича.- М.: Радио и связь, 1984.- 248 с.