

УДК 551.501 + 556.043

Ю.В. Доронина

**ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ОТРАСЛЕВОЙ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ****1. Постановка задачи**

Главным объектом деятельности гидрометеорологической службы являются гидрометеорологическая информация и гидрометеорологические данные. Функционирующие в гидрометеорологической отрасли Украины базы и банки данных разрозненны, не отражают целей комплексного подхода к построению единой отраслевой автоматизированной системы. На сегодняшний день не существует единого подхода к проектированию подобных глобальных отраслевых систем, разобщенных как пространственно (сеть гидрометеорологических наблюдений), так и информационно (наличие различных форматов хранения данных)[1]. Таким образом, целью работы является совершенствование методики проектирования глобальных отраслевых информационных систем на примере гидрометеорологической отрасли Украины.

**2. Вероятностный анализ**

Анализ отраслевых потребностей и функционирующих автоматизированных систем технологии АССОКА [2], предназначенных для практической реализации цикла гидрометеорологических данных (ЦГМД)[3], позволил выбрать пять вариантов схем структуры отраслевой автоматизированной гидрометеорологической системы. Первый вариант структуры характеризуется наличием подсистемы управления датчиками на этапе сбора гидрометеорологических данных. Второй вариант – наличие блока визуального критического контроля. Третий вариант – с ручным вводом данных в ТГМ, четвертый – с автоматической фильтрацией данных, и, наконец, пятый вариант – с возможностью выбора подсистемы хранения данных.

Пусть в момент времени  $t$  некоторый вариант системы находится в состоянии  $i$ . Положим, что вероятность  $P_{ij}(t, \tau)$  перехода системы за время  $\tau$  из состояния  $i$  в состояние  $j$  не зависит от

поведения системы до момента времени  $t$ , то имеет место марковский процесс. Все варианты схем структуры имеют конечное множество возможных состояний и характеризуется непрерывным функционированием. Следовательно, система является дискретной в пространстве и непрерывной во времени, а значит, описывается неоднородной марковской цепью с непрерывным временем. Неоднородность проявляется в том, что  $\alpha_{ij}(t) \neq const$  для любых  $i, j = \overline{1, n}$ . Для оценки надежности и производительности составим систему дифференциальных уравнений Колмогорова. Система уравнений Колмогорова для вариантов схем системы очень громоздка, вследствие большого числа состояний, что затрудняет дальнейший анализ. Применим метод фазового укрупнения системы (СФУ) и рассмотрим следующие СФУ: СФУ графа состояний ЦГМД и СФУ вариантов структур гидрометеорологической отраслевой системы. Для цикла гидрометеорологических данных (ЦГМД) граф состояний имеет вид:

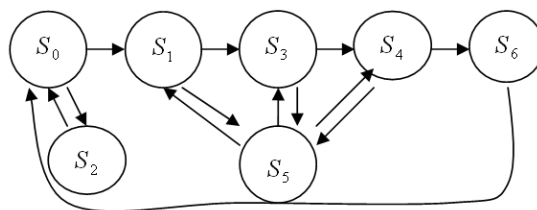


Рисунок 1 – Граф состояний ЦГМД

На рисунке 1 показаны следующие состояния:  $S_0$  – начальное состояние системы, сбор данных;  $S_1$  – данные получены;  $S_2$  – состояние отказа (данные не получены);  $S_3$  – обработка данных;  $S_4$  – хранение данных;  $S_5$  – контроль данных;  $S_6$  – использование (востребование данных).

### 3. Модели надежности фазово - укрупненной системы (СФУ) вариантов

Сложность структуры отраслевой автоматизированной гидрометеорологической системы обусловила необходимость оперировать с укрупненной моделью этой системы. Граф переходов фазово-укрупненной системы для вариантов  $w_1$  и  $w_2$ - $w_5$  приведены на рисунке 2.

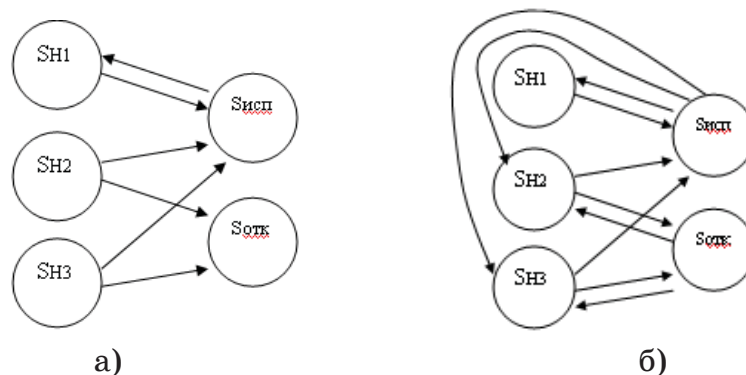


Рисунок 2 – а) граф переходов фазово-укрупненной системы для варианта w1; б) граф переходов фазово-укрупненной системы для вариантов w2-w5

#### 4 Описание графов вариантов ЦГМД и варианта w1

Пусть  $G(V, E)$  – граф СФУ ЦГМД,  $V \neq \emptyset$ ,  $E \subset V \times V$ , где  $V = \{v_1, \dots, v_n\}$  – множество вершин графа. Тогда для графа СФУ ЦГМД справедлива запись:

$$G_{\text{СФУ ЦГМД}}(V_{\text{СФУ ЦГМД}}, E_{\text{СФУ ЦГМД}}), \quad V_{\text{СФУ ЦГМД}} = \{v_{S_n}, v_{S_0}, v_{S_u}\}, \quad (4)$$

где  $v_{S_n}$  – вершина графа, соответствующая начальным состояниям системы,  $v_{S_0}$  – вершина графа, соответствующая состоянию отказа системы,  $v_{S_u}$  – вершина графа, соответствующая исправному состоянию системы.

Пусть  $E_b, E_c, E_a, E_d$  – ребра графа, где индексами  $a, b, c, d$  обозначены интенсивности перехода в соответствующие состояния системы.

$$e_b = \langle v_{S_n}, v_{S_0} \rangle, e_c = \langle v_{S_0}, v_{S_u} \rangle, e_a = \langle v_{S_n}, v_{S_u} \rangle, e_d = \langle v_{S_u}, v_{S_n} \rangle, \quad (5)$$

где  $e_i$  – ребра, соединяющие вершины графа СФУ ЦГМД.

Опишем граф полной структуры ЦГМД.

$$G_{\text{ЦГМД}}(V_{\text{ЦГМД}}, E_{\text{ЦГМД}}), \quad V_{\text{ЦГМД}} = \{v_{S_1}, v_{S_2}, v_{S_3}, v_{S_4}, v_{S_5}, v_{S_6}\}, \quad (6)$$

где  $v_{S_i}$  – вершины, соответствующие состояниям системы ЦГМД.

Ребра, инцидентные этим вершинам, можно представить в виде следующего множества пар:

$$\begin{aligned}
 e_{a01} &= \langle \nu_{S_0}, \nu_{S_1} \rangle, e_{02} = \langle \nu_{S_0}, \nu_{S_2} \rangle, e_{a20} = \langle \nu_{S_2}, \nu_{S_0} \rangle, e_{a13} = \langle \nu_{S_1}, \nu_{S_3} \rangle, \\
 e_{a15} &= \langle \nu_{S_1}, \nu_{S_5} \rangle, e_{a51} = \langle \nu_{S_5}, \nu_{S_1} \rangle, e_{a35} = \langle \nu_{S_3}, \nu_{S_5} \rangle, e_{a53} = \langle \nu_{S_5}, \nu_{S_3} \rangle, \\
 e_{a34} &= \langle \nu_{S_3}, \nu_{S_4} \rangle, e_{a45} = \langle \nu_{S_4}, \nu_{S_5} \rangle, e_{a54} = \langle \nu_{S_5}, \nu_{S_4} \rangle, e_{a46} = \langle \nu_{S_4}, \nu_{S_6} \rangle, \\
 e_{a60} &= \langle \nu_{S_6}, \nu_{S_0} \rangle.
 \end{aligned} \tag{7}$$

Причем,  $\nu_{S_u} = \nu_{S_0}$  - начальное состояние системы,  $\nu_{S_0} = \nu_{S_2}$  - состояние отказа вследствие неполучения гидрометеорологических данных,  $\nu_{S_u} = \{\nu_{S_1}, \nu_{S_3}, \nu_{S_4}, \nu_{S_5}, \nu_{S_6}\}$  - исправные состояния.

Если  $Gwi$  ( $Vwi, E wi$ ),  $i=1..5$  - граф СФУ вариантов  $w1-w5$ , причем  $V \neq \emptyset$ . Тогда  $Gw1(Vw1, E w1)$  - граф СФУ  $w1$ ,  $V \neq \emptyset$ ,

где  $V_{w1} = \{\nu_{S_{n1}}, \nu_{S_{n2}}, \nu_{S_{n3}}, \nu_{S_0}, \nu_{S_u}\}$  - множество вершин графа СФУ  $w1$  и  $V_{w1}$  - множество инвариантно относительно  $w1-w5$  (рисунок 3.14).

Тогда для графа СФУ  $w1$  с учетом значений интенсивностей полного графа справедливо описание ребер, инцидентных вершинам множества  $V_{w1}$ . Ребра  $e_j$  и  $e_k$  представляют собой устойчивые состояния графа  $Gwi$ , то есть описывают переход системы вида  $Su \rightarrow Su$ , поэтому могут быть исключены из дальнейшего анализа.

### 5 Описание графов СФУ W2-W5

Пусть  $Gwm(Vwm, E wm)$ ,  $m=2..5$  - граф СФУ вариантов схем автоматизированной гидрометеорологической системы  $w2-w5$ ,  $V \neq \emptyset$ .

Тогда для графа СФУ  $w2-w5$  с учетом значений интенсивностей полного справедливо описание ребер, инцидентных вершинам множества  $V_{wi}$

$$\begin{aligned}
 e_a &= e_{a14} = \langle \nu_{S_{n1}}, \nu_{S_u} \rangle, e_{b1} = e_{a16'1} = \langle \nu_{S_u}, \nu_{S_{n1}} \rangle, e_x = e_{a72} = \langle \nu_{S_0}, \nu_{S_{n2}} \rangle, \\
 e_c &= e_{a25} = \langle \nu_{S_{n2}}, \nu_{S_u} \rangle, e_d = e_{a27} = \langle \nu_{S_{n2}}, \nu_{S_0} \rangle, e_{h1} = e_{a16'3} = \langle \nu_{S_u}, \nu_{S_{n3}} \rangle, \\
 e_{e1} &= e_{a16'2} = \langle \nu_{S_u}, \nu_{S_{n2}} \rangle, e_f = e_{a36} = \langle \nu_{S_{n3}}, \nu_{S_u} \rangle, e_y = e_{a73} = \langle \nu_{S_0}, \nu_{S_{n3}} \rangle, \\
 e_g &= e_{a37} = \langle \nu_{S_{n3}}, \nu_{S_0} \rangle.
 \end{aligned} \tag{8}$$

Для вариантов графа СФУ  $w2-w5$  наблюдается инвариантность относительно структуры графа СФУ.

**Замечание1** Важнейшим критерием построения модели надежности отраслевой гидрометеорологической системы является

наличие данных, следовательно, важнейшим нерабочим (состоянием отказа) в надежности системы является отсутствие данных. Причем, это состояние связано с состоянием управления данными на этапе их сбора.

**Утверждение 1** Для множества вариантов структур отраслевой гидрометеорологической системы граф СФУ имеет две формы:  $Gw1(Vw1, E w1)$  – граф СФУ  $w1$ ,  $V \neq \emptyset$  при наличии состояния управления датчиками и  $Gwm(Vwm, E wm)$ ,  $m=2..z$  – граф СФУ  $wZ$ -,  $V \neq \emptyset$  инвариантных относительно  $Z$  при условии наличия единственного состояния отказа, связанного с отсутствием данных.

**Замечание 2** Инвариантность справедлива для наиболее вероятного множества вариантов схем  $wZ$ , где  $Z$  – натуральное, целое число.

**Доказательство утверждения 1** Построим некоторый  $Z$ -ый вариант схемы автоматизированной гидрометеорологической системы, например, содержащий состояние  $S20$  – автоматизированное создание таблиц Государственного водного кадастра (ГВК). Для СФУ представленного варианта схемы введенное состояние  $S20$  является устойчивым, то есть  $Su \rightarrow Su$ . Таким образом, любые введенные состояния в графе варианта схемы, не связанные с состоянием отказа (отсутствие данных), будут устойчивыми, а значит, не изменят вид графа СФУ.

**Утверждение 2** Для графа СФУ  $Gwm(Vwm, E wm)$ ,  $m=z+1$  варианта структуры  $wZ+1$ ,  $V \neq \emptyset$  возможно ввести второе и только одно состояние отказа, связанное с данными, описываемое ребрами на графе СФУ  $Gwm(Vwm, E wm)$ ,  $m=2..z$  следующего вида:

$$e_{aE1} = \langle v_{S_0}, v_{S_{n1}} \rangle, e_{a1F} = \langle v_{S_{n1}}, v_{S_0} \rangle, \quad (9)$$

где  $F$ -индекс второго состояния отказа, связанного с наличием данных;  $e_{a1F}, e_{aF1}$  – ребра, связывающие состояния отказа с состоянием ручного сбора гидрометеорологических данных;  $\{v_{S_{n1}}, v_{S_{n2}}, v_{S_{n3}}, v_{S_0}, v_{S_u}\}$  – множество вершин графа СФУ  $Wz+1$ .

**Доказательство утверждения 2** На рисунке 3 показан граф СФУ с дополнительным состоянием отказа, например, связанного с невозможностью передачи данных по каналу связи или утерей данных при пересылке на станцию, где производится ручной ввод данных в ТГМ.

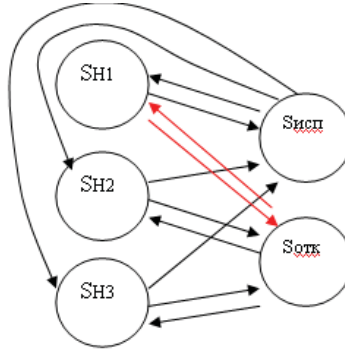


Рисунок 3 - Граф переходов фазово-укрупненной системы для варианта вторым состоянием отказа

Вновь введенное состояние отказа SF «уравновешивает» граф СФУ -  $G_{wm}(V_{wm}, E_{wm})$ ,  $m=2..z$ ,  $V \neq \emptyset$ , дополняя отсутствующую связь между состояниями  $S_0$  и  $SH1$ . Таким образом, граф  $\overline{G}_{w_m}(V_{w_m}, \overline{E}_{w_m})$ ,  $m=z+1$ , множество вершин которого совпадает с множеством вершин графа  $G_{wm}(V_{wm}, E_{wm})$ ,  $m=2..z$ , а множеством ребер является множество  $\overline{E}_{w_m} = \{e \in V_{w_m} \times V_{w_m} : e \notin E_{w_m}\}$  то этот граф - дополнение графа  $G_{wm}(V_{wm}, E_{wm})$ . Переход из состояния  $S_0$  в  $S_u$  невозможен, исходя из Замечания 1.

Моделирование ситуации, описанной в Утверждении 2, показало, что вероятность перехода (интенсивности переходов) на ребрах графа СФУ  $\rightarrow 0$ , а значит этой ситуацией при проектировании можно пренебречь.

### Выводы

Вероятностно-аналитические исследования схем вариантов структуры отраслевой автоматизированной гидрометеорологической системы позволили построить модели этой системы на различных уровнях: на уровне функционального укрупнения – цикла гидрометеорологических данных (ЦГМД), рассмотрев при этом и фазово-укрупненную модель (СФУ ЦГМД), а также фазово-укрупненные модели вариантов структур указанной системы. Построены модели Маркова указанных систем, проведено численное моделирование, рассчитаны стационарные характеристики надежности. Так, во всех моделях коэффициент готовности принимает следующие значения:  $K_g=0.88$  (W2-W5),  $K_g=0.81$  (модель ЦГМД), вариант W1 -  $K_g=0.76$ , вариант W6 -  $K_g=0.72$ . Таким образом, исключая функционально укрупненную модель ЦГМД с высоким

коэффициентом надежности, можно сделать заключение о преимуществе с точки зрения надежности варианта схемы  $W1$ . Исходя из того, что в Утверждении 1 доказана инвариантность относительно вида схемы при условии наличия единственного состояния отказа, связанного с отсутствием данных, следовательно необходимо продолжить рассмотрение вариантов  $W2-W5$  для их качественного сравнения[4]. В связи с низким коэффициентом готовности системы с двумя типами состояния отказа из дальнейшего анализа она исключается.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированная система сбора, хранения, обработки и доведения до пользователей океанологической информации (ГАСОИ Физическая океанография).- Обнинск: ВНИГМИ-МЦД,1992.-186 с.
2. Доронина Ю.В. Автоматизированная система сбора, обработки, контроля и анализа данных морских прибрежных гидрометеорологических наблюдений/Ю.В. Доронина// Оптимизация производств. процессов: Сб.науч.тр.Вып.7. Севастоп. нац. техн. ун-т; Редкол.:В.Я.Копп (отв.ред.) и др.- Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2004.-200 с.:ил, С.73-77.
3. Доронина Ю.В. Автоматизация цикла гидрометеорологических данных / Ю. В. Доронина // Сб. научн. тр. УкрНИГМИ, Киев, 1999.с 250-254.
4. Доронина Ю.В, Валентюк М.Р. Вариантный структурный подход к проектированию отраслевых автоматизированных систем / М.Р. Валентюк, Ю.В. Доронина // Материалы X международной научно-практической конференции «Системный анализ и информационные технологии», 20 – 24 мая 2008, г. Киев. – К.: НТУУ "КПИ", 2008. – С. 83.

Получено 22.01.2009г.