

УДК 551.501

**Ю.В. Доронина, канд. техн. наук, доцент***Севастопольский национальный технический университет,**ул. Университетская-33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua***УРОВНИ АБСТРАГИРОВАНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ОТРАСЛЕВЫХ СИСТЕМ**

*Рассматриваются аспекты проектирования и моделирования крупных производственных автоматизированных систем. Предлагается подход, связанный с классификацией абстрактных моделей таких систем. Исследования проводились на примере гидрометеорологической отрасли.*

**Ключевые слова:** *автоматизированная отраслевая система, фазовое укрупнение, абстрактная модель, уровень обобщения, классификация моделей.*

При исследовании и моделировании крупных отраслевых систем приходится сталкиваться с проблемой абстрагирования, которая заключается в выборе степени укрупнения системы для анализа или синтеза с одновременным соответствием ее реальным параметрам [1]. В общем случае можно получить множество таких укрупненных моделей:  $M_{AM} = \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$ , где  $M_i$  — очередная модель из множества абстрактных моделей  $M_{AM}$ .

Целью статьи является анализ множества построенных автором моделей сложной системы в области гидрометеорологии и выявить классификационные признаки с целью обобщения выводов для любых классов моделей отраслевых систем.

При проектировании отраслевой гидрометеорологической системы было получено множество различных вариантов схем и моделей, начиная от обобщенных структур до укрупненных схем, например, полумарковской модели (рисунок 1, а), марковских инвариантов (рисунок 1, б, в). При этом было замечено, что существуют некоторые особенности указанных моделей, а также возможность их классификации.

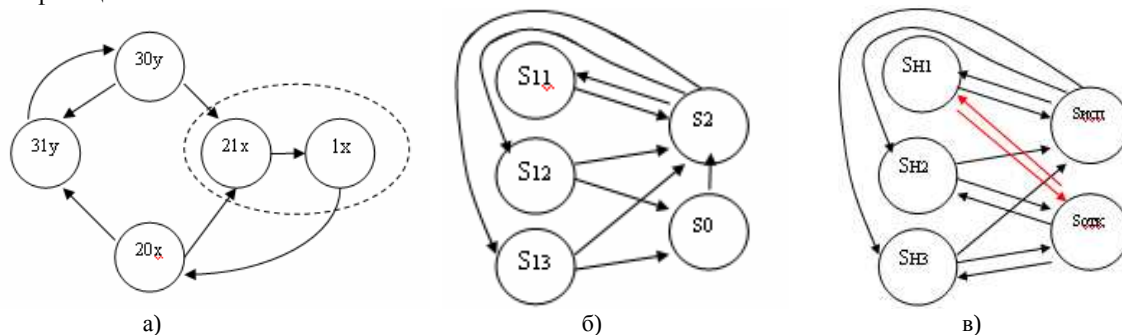


Рисунок 1 – Модели отраслевой гидрометеорологической системы:  
а) полумарковская, б), в) марковские модели вариантов схемы

Уровни абстрагирования в системе могут быть разделены на два типа: 1 — уровень обобщения схем  $U_o$  и 2 — уровень укрупнения схем  $U_u$ .

Уровень обобщения представляет собой структуру, в которой объединены в подгруппы (подсистемы, кластеры) единообразные действия по достижению заданной цели (результата). Уровень обобщения в общем случае стирает грани между предметными областями. Так, например, абстрактный цикл гидрометеорологических данных (ЦГМД) отражает не только особенности контроля данных гидрометеорологической отрасли, но и в целом любой системы, занимающейся сбором, обработкой, хранением и контролем данных (рисунок 2) [2].

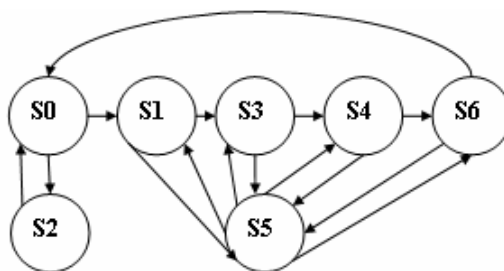


Рисунок 2 — Цикл гидрометеорологических данных

На рисунке 2 показаны следующие состояния:  $S_0$  – начальное состояние системы, сбор данных;  $S_1$  – данные получены;  $S_2$  – состояние отказа (данные с устройств сбора не получены);  $S_3$  – обработка данных;  $S_4$  – хранение данных;  $S_5$  – контроль данных;  $S_6$  – использование (востребование данных).

Уровень укрупнения связан с понятием фазового пространства состояний. Фазовое пространство состояний реальной системы ЦГМД представимо в виде

$$X = \bigcup_{k=1}^N X_k \cup X_0 \cup X_v, \quad (1)$$

где  $X_v$  – состояние отказа реальной системы,  $X_0$  – начальное состояние реальной системы  $X_k$  – класс эргодических состояний опорной вложенной цепи Маркова (ВЦМ) (рисунок 3).

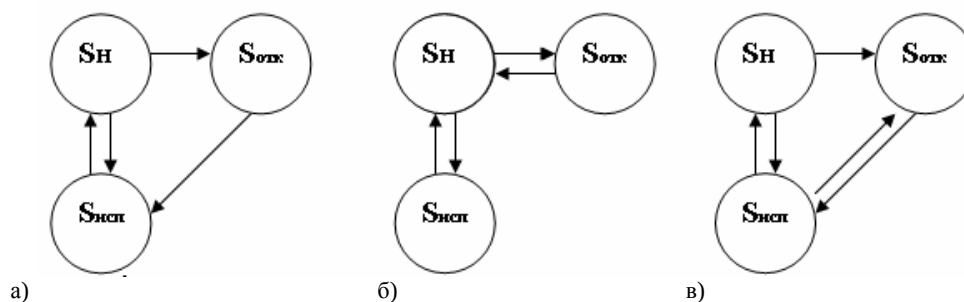


Рисунок 3 — Фазовое укрупнение схем вариантов системы: а)  $w_1$ , б)  $w_2 - w_5$ , в)  $w_6$ , где  $i$  – номер варианта схемы

Уровень укрупнения опирается на конкретную предметную область, учитывая особенности каждой из них. Например, эти особенности особенно заметны на вариантах схем отраслевой гидрометеорологической структуры: есть некоторые дополнительные переходы, с чем и было связано различие в схемах укрупненных систем  $w_i$ ,  $i=1,6$ . Именно эти отличия позволили получить утверждения и замечания, касающиеся инвариантности классов укрупненных схем относительно состояний исходных систем. На рисунке 4 показан фрагмент одной их полных вариантов схем.

Пусть  $G(V, E)$  – граф (фазово-укрупненной системы) 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:

$$G_{\text{СФУ ЦГМД}}(V_{\text{СФУ ЦГМД}}, E_{\text{СФУ ЦГМД}}), \quad V_{\text{СФУ ЦГМД}} = \{v_{S_n}, v_{S_0}, v_{S_u}\}, \quad (2)$$

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.

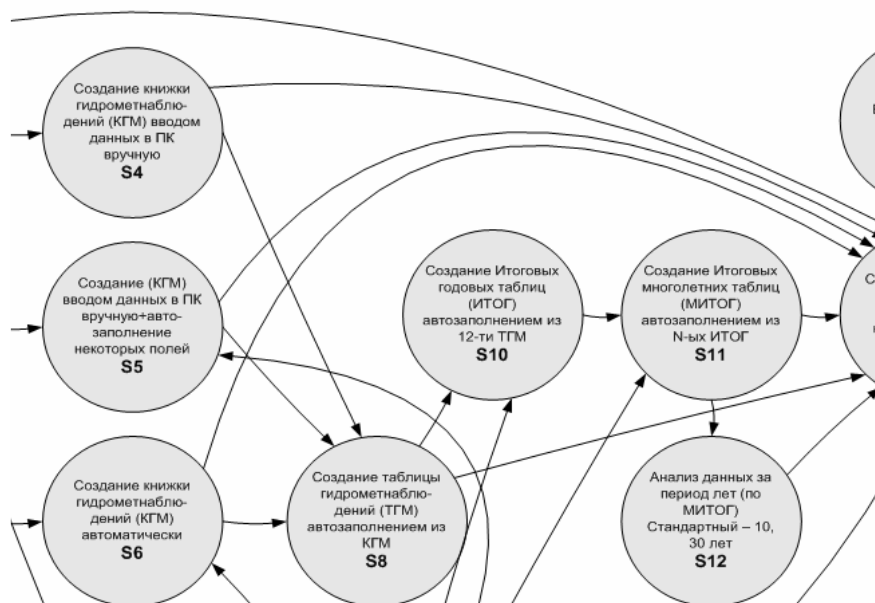


Рисунок 4 — Фрагмент реальной системы по варианту схемы  $w_5$  (вариант с автоматизированным архивированием)

Пусть  $Eb, Ec, Ea, Ed$  – ребра графа, где индексами  $a, b, c, d$  обозначены интенсивности перехода в соответствующие состояния системы.

$$\begin{aligned} e_b &= \langle v_{S_b}, v_{S_o} \rangle; & e_c &= \langle v_{S_o}, v_{S_u} \rangle; \\ e_a &= \langle v_{S_h}, v_{S_u} \rangle; & e_c &= \langle v_{S_u}, v_{S_h} \rangle, \end{aligned} \quad (2)$$

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

Опишем граф полной структуры ЦГМД:

$$G_{\text{ЦГМД}}(V_{\text{ЦГМД}}, E_{\text{ЦГМД}}); \quad V_{\text{ЦГМД}} = \{v_{S_1}, v_{S_2}, v_{S_3}, v_{S_4}, v_{S_5}, v_{S_6}\}, \quad (3)$$

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

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

$$\begin{aligned} e_{a01} &= \langle v_{S_0}, v_{S_1} \rangle; e_{02} = \langle v_{S_0}, v_{S_2} \rangle; e_{a20} = \langle v_{S_2}, v_{S_0} \rangle; e_{a13} = \langle v_{S_1}, v_{S_3} \rangle; \\ e_{a15} &= \langle v_{S_1}, v_{S_5} \rangle; e_{a51} = \langle v_{S_5}, v_{S_1} \rangle; e_{a35} = \langle v_{S_3}, v_{S_5} \rangle; e_{a53} = \langle v_{S_5}, v_{S_3} \rangle; \\ e_{a34} &= \langle v_{S_3}, v_{S_4} \rangle; e_{a45} = \langle v_{S_4}, v_{S_5} \rangle; e_{a54} = \langle v_{S_5}, v_{S_4} \rangle; e_{a46} = \langle v_{S_4}, v_{S_6} \rangle; \\ e_{a60} &= \langle v_{S_6}, v_{S_0} \rangle. \end{aligned} \quad (4)$$

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

Пусть  $Gwi(Vwi, Ewi)$ ,  $i = 1...5$  — граф СФУ вариантов  $w1-w5$ , причем  $V \neq \emptyset$ . Тогда  $Gw1(Vw1, Ew1)$  — граф СФУ  $w1$ ,  $V \neq \emptyset$ , где  $V_{w1} = \{v_{S_{h1}}, v_{S_{h2}}, v_{S_{h3}}, v_{S_0}, v_{S_u}\}$  — множество вершин графа СФУ  $W1$  и  $V_{w1}$  — множество инвариантно относительно  $w1-w5$ .

Тогда для графа СФУ  $w1$  с учетом значений интенсивностей полного графа справедливо описание ребер, инцидентных вершинам множества  $V_{w1}$

$$\begin{aligned} e_a &= e_{a14} = \langle v_{S_{h1}}, v_{S_u} \rangle; e_b = e_{a14'1} = \langle v_{S_u}, v_{S_{h1}} \rangle; \\ e_c &= e_{a25} = \langle v_{S_{h2}}, v_{S_u} \rangle; e_d = e_{a27} = \langle v_{S_{h2}}, v_{S_0} \rangle; \\ e_e &= e_{a15'2} = \langle v_{S_u}, v_{S_{h2}} \rangle; e_f = e_{a36} = \langle v_{S_{h3}}, v_{S_u} \rangle; \\ e_g &= e_{a37} = \langle v_{S_{h3}}, v_{S_0} \rangle; e_h = e_{a15'3} = \langle v_{S_u}, v_{S_{h3}} \rangle; \\ e_i &= e_{a7'15} = \langle v_{S_0}, v_{S_u} \rangle; e_j = e_{a14'15} = \langle v_{S_u}, v_{S_u} \rangle; \\ e_k &= e_{a14'13} = \langle v_{S_u}, v_{S_u} \rangle. \end{aligned} \quad (5)$$

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. Таким образом, переходы в графе  $Gwi$  описаны девятью ребрами.

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

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

$$\begin{aligned} e_a &= e_{a14} = \langle v_{S_{h1}}, v_{S_u} \rangle; e_{b1} = e_{a16'1} = \langle v_{S_u}, v_{S_{h1}} \rangle; \\ e_c &= e_{a25} = \langle v_{S_{h2}}, v_{S_u} \rangle; e_d = e_{a27} = \langle v_{S_{h2}}, v_{S_0} \rangle; \\ e_{e1} &= e_{a16'2} = \langle v_{S_u}, v_{S_{h2}} \rangle; e_f = e_{a36} = \langle v_{S_{h3}}, v_{S_u} \rangle; \\ e_x &= e_{a72} = \langle v_{S_0}, v_{S_{h2}} \rangle; e_{h1} = e_{a16'3} = \langle v_{S_u}, v_{S_{h3}} \rangle; \\ e_y &= e_{a73} = \langle v_{S_0}, v_{S_{h3}} \rangle; e_g = e_{a37} = \langle v_{S_{h3}}, v_{S_0} \rangle. \end{aligned} \quad (6)$$

Для вариантов графа СФУ  $w_2$ - $w_5$  наблюдается инвариантность относительно структуры графа СФУ.

#### Утверждение 1

Для множества вариантов структур отраслевой гидрометеорологической системы граф СФУ имеет две формы:  $Gw_1(Vw_1, Ew_1)$  — граф СФУ  $w_1$ ,  $V \neq \emptyset$  при наличии состояния управления датчиками и  $Gwm(Vwm, Ewm)$ ,  $m = 2 \dots z$  — граф СФУ  $w_z$ ,  $V \neq \emptyset$  инвариантных относительно  $Z$  при условии наличия единственного состояния отказа, связанного с отсутствием данных.

#### Замечание 1

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.

#### Доказательство утверждения 1

Построим некоторый  $Z$ -ый вариант схемы автоматизированной гидрометеорологической системы, например, содержащий состояние  $S_{20}$  — автоматизированное создание таблиц Государственного водного кадастра (ГВК). Фрагмент варианта системы показан на рисунке 5. Для СФУ представленного варианта схемы введенное состояние  $S_{20}$  является устойчивым, то есть  $S_i \rightarrow S_i$ . Таким образом, любые введенные состояния в графе варианта схемы, не связанные с состоянием отказа (отсутствие данных), будут устойчивыми, и, следовательно, не изменят вид графа СФУ.

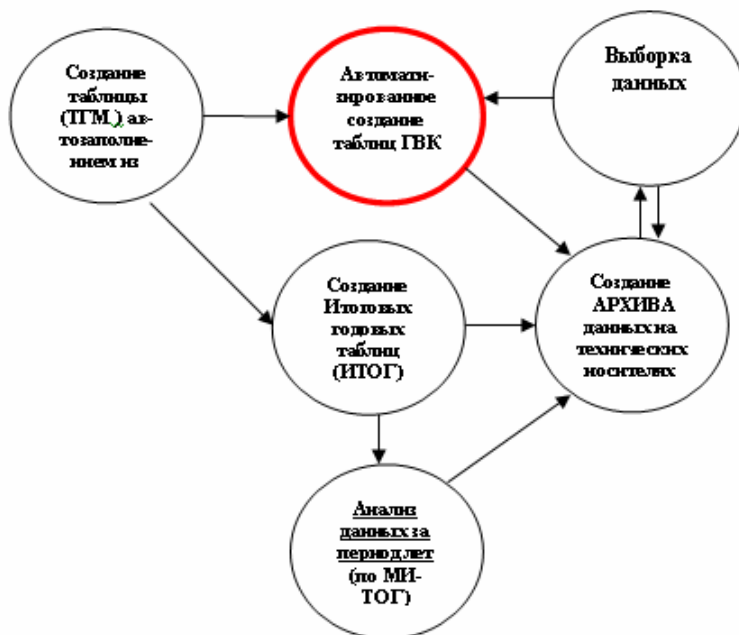


Рисунок 5 — Фрагмент варианта схемы отраслевой гидрометеорологической системы с введенным состоянием  $S_{20}$

#### Утверждение 2

Для графа СФУ  $Gwm(Vwm, Ewm)$ ,  $m = z + 1$  варианта структуры  $w_{z+1}$ ,  $V \neq \emptyset$  возможно ввести второе и только одно состояние отказа, связанное с данными, описываемое ребрами на графе СФУ  $Gwm(Vwm, Ewm)$ ,  $m = 2 \dots z$  следующего вида:

$$e_{aE1} = \langle v_{S_0}, v_{S_{n1}} \rangle; e_{a1F} = \langle v_{S_{n1}}, v_{S_0} \rangle, \quad (7)$$

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  $w_{z+1}$ .

#### Доказательство утверждения 2

На рисунке 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 1, б).

Вновь введенное состояние отказа  $S_F$  «уравновешивает» граф СФУ —  $G_{wm}(V_{wm}, E_{wm})$ ,  $m = 2 \dots z$ ,  $V \neq \emptyset$ , дополняя отсутствующую связь между состояниями  $S_0$  и  $S_{n1}$ . Если граф  $\bar{G}_{wm}(V_{wm}, \bar{E}_{wm})$ ,  $m = z + 1$ , множество вершин которого совпадает с множеством вершин графа  $G_{wm}(V_{wm}, E_{wm})$ ,  $m = 2 \dots z$ , а множеством ребер является множество  $\bar{E}_{wm} = \{e \in V_{wm} \times V_{wm} : e \notin E_{wm}\}$ , то этот граф — дополнение графа  $G_{wm}(V_{wm}, E_{wm})$ . Переход из состояния  $S_0$  в  $S_u$  невозможен согласно замечанию 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.

Таким образом, для группы Марковских моделей состояние отказа связано с отсутствием данных. Тогда как для полумарковской модели состоянием отказа является состояние неработающего оборудования обработки данных. При этом состояние отказа устройства обработки гидрометеорологических данных (УОГМД) является устойчивым для Марковской модели, в связи с чем игнорировалось, исходя из особенностей построения соответствующих моделей: Марковских и полумарковских. Вероятностно-аналитические исследования схем вариантов структуры отраслевой автоматизированной гидрометеорологической системы позволили сопоставить значения коэффициентов готовности на различных уровнях абстрагирования (таблица 1).

Таблица 1 — Численное моделирование характеристик надежности сложной системы на различных уровнях абстрагирования

| Тип уровня абстрагирования                   | Наименование модели | Коэффициент готовности, $K_2$ | Среднее значение $K_2$ по уровню абстрагирования |       |
|----------------------------------------------|---------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------|-------|
| <i>Уровень обобщения</i>                     | СФУ ЦГМД            | 0,71                          | 0,78                                             |       |
|                                              | ЦГМД                | 0,86                          |                                                  |       |
| <i>Уровень укрупнения</i>                    | V1                  | 0,8                           | 0,81                                             | 0,815 |
|                                              | V2-V5               | 0,81                          |                                                  |       |
|                                              | V6                  | 0,81                          | 0,83                                             |       |
|                                              | V7                  | 0,85                          |                                                  |       |
| <i>Исходные граф-схемы вариантов системы</i> | V1                  | 0,85                          | 0,87                                             |       |
|                                              | V2                  | 0,87                          |                                                  |       |
|                                              | V3                  | 0,86                          |                                                  |       |
|                                              | V4                  | 0,88                          |                                                  |       |
|                                              | V5                  | 0,89                          |                                                  |       |

Из таблицы 1 видно, что средние значения по уровням обобщения и укрупнения в целом близки, приближаясь к средним значениям коэффициентов готовности исходных схем. При этом дисперсия несколько уменьшается на уровне укрупнения, а на уровне без укрупнения уменьшается на порядок. Следует отметить, что укрупнение модели системы дает более близкий средний коэффициент готовности (0,81) к среднему исходных граф-схем без укрупнения (0,87), чем средний коэффициент готовности уровня обобщения (0,78). Таким образом, классическая схема фазового укрупнения с тремя основными состояниями (начальное, исправное, состояние отказа) уровня обобщения оказывается менее адекватной моделью по сравнению с предложенным классификационным уровнем укрупнения с пятью состояниями (начальное 1, начальное 2, начальное 3, исправное, состояние отказа).

Для моделей ГЛОС выделение различных начальных состояний может быть оправдано различными способами ввода данных, что довольно характерно для ГЛОС переходного периода от ручных операций к автоматическим (в моделях гидрометеорологической ГЛОС — ввод данных вручную, ввод данных полуавтоматически, ввод данных с датчиков в автоматическом режиме).

Таким образом, рассмотрена классификация абстрактных моделей глобальных отраслевых систем, показаны их свойства и особенности на моделях надежности таких систем. В процессе анализа моделей отраслевой гидрометеорологической системы, сделано заключение о наличии двух уровней абстрагирования, причем это распространяется и на модели любых сложных систем.

В статье рассмотрена классификация абстрактных моделей глобальных отраслевых систем, показаны их свойства и особенности на моделях надежности таких систем. В процессе анализа всего спектра моделей отраслевой гидрометеорологической системы, сделано заключение о наличии двух уровней абстрагирования, причем это распространяется и на модели любых сложных систем.

Дальнейшее развитие представленных идей планируется провести при разработке обобщенного проекта отраслевой гидрометеорологической системы.

**Библиографический список использованной литературы**

1. Еремеев В.Н. Концепция национальной системы сбора, передачи, хранения, анализа и обеспечения пользователей океанологической информацией / В.Н. Еремеев, А.М. Суворов // Океанологические информационные системы базы и банки данных и знаний: сб. науч. тр. — Севастополь: МГИ НАНУ, 1993. — С. 6–68.

2. Доронина Ю.В. Автоматизация цикла гидрометеорологических данных / Ю.В. Доронина // Сб. научн. тр. УкрНИГМИ. — Киев, 1999. — С. 250–254.

*Поступила в редакцию 25.11.2010 г.*

**Дороніна Ю.В. Рівні абстрагування при моделюванні галузевих систем**

Розглядаються аспекти проектування і моделювання великих виробничих автоматизованих систем. Пропонується підхід, який пов'язаний з класифікацією абстрактних моделей таких систем. Дослідження проводилися на прикладі гідрометеорологічної галузі.

**Ключові слова:** автоматизована галузева система, фазове збільшення, абстрактна модель, рівень узагальнення, класифікація моделей.

**Doronina Yu.V. Levels of abstracting at design of particular industrial systems**

The aspects of planning and design of the large productions automated systems are examined. An approach related to the classification of abstract models of such systems is offered. Research of the example of the hydrometeorological industry is conducted.

**Keywords:** automated of a particular branch system, phase enlargement, abstract model, level of generalization, classification of models.