

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ISSN 0135-1710

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ  
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И  
ПРИБОРЫ АВТОМАТИКИ**

**Всеукраинский межведомственный  
научно-технический сборник**

**Основан в 1965 г.**

**Выпуск 170**

Харьков  
2015

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ЗАЙЧЕНКО С. А., ЛЕШТАЕВ П.В., ГУРЕЕВ Б.Н., ШЛЯХТУН М. М.</b> КЛЮЧЕВЫЕ ПРАВИЛА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ ТАКТОВЫХ ДОМЕНОВ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ НА КРИСТАЛЛАХ.....	4
<b>ОКСАНИЧ И.Г., РЫЛОВА Н.В.</b> РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ СИТУАЦИИ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	14
<b>ШВЕЦЬ Є.Я., ЗУБКО Є.І.</b> ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕКСПРЕСНОЇ МЕТОДИКИ І АПАРАТУРИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВЕЛИКОЇ ПЛОЩІ.....	21
<b>ХАХАНОВ В.І., ЧУМАЧЕНКО С.В., ЛИТВИНОВА Є.І.</b> ПЕРСОНАЛЬНИЙ ВІРТУАЛЬНИЙ КІБЕРКОМП'ЮТЕР ТА ІНФРАСТРУКТУРА АНАЛІЗУ КІБЕРПРОСТОРУ.....	32
<b>ЛЕВЕНЕЦЬ В.В.</b> УНІВЕРСАЛЬНА СИСТЕМА ЧИСЛЕННЯ (ЦИФРОВА АБЕТКА).....	41
<b>БАРАННИК В.В., РЯБУХА Ю.Н., КРАСНОРУЦКИЙ А.А., ЯЩЕНОК В.Ж.</b> МЕТОДОЛОГИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ В КРИЗИСНЫХ СИТУАЦИЯХ .....	45
<b>РЕФЕРАТИ.....</b>	52
<b>ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ ДЛЯ АВТОРОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СБОРНИКА.....</b>	55

## КЛЮЧЕВЫЕ ПРАВИЛА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ ТАКТОВЫХ ДОМЕНОВ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ НА КРИСТАЛЛАХ

Рассматривается проблема обеспечения надежности функционирования пересечений независимых тактовых доменов в моделях цифровых систем на кристаллах. Предлагается подход к организации процесса верификации, ориентированный на автоматизацию статической проверки правил на топологии, обнаруживающих типовые ошибки проектирования.

### 1. Введение

Число тактовых сигналов, одновременно используемых в современных системах на кристаллах, содержащих разнообразные виды основных и периферийных компонентов, может достигать десятков и даже сотен. Все эти компоненты взаимодействуют друг с другом, интенсивно передавая данные для обработки и управляющую информацию. Переходы, соединяющие подобные взаимодействующие компоненты, управляемые несвязанными тактовыми сигналами, называют пересечениями тактовых доменов (CDC – Clock Domain Crossing). Проектирование и верификация CDC-пересечений относятся к наиболее критичным проблемам в современном цикле проектирования SoC [1].

Ключевую проблему, проявляющуюся при переходе сигналов через CDC-пересечения, составляет эффект метастабильного состояния сигналов [2]. Суть этого вероятностного эффекта состоит в проявляющемся в неожиданные моменты времени неопределенном результирующем уровне передаваемого сигнала на выходах первых по цепочке элементов, расположенных за CDC-пересечением. Фактически уровень сигнала колеблется между стандартными уровнями напряжения для значений 0 или 1 недетерминированным способом в течение непредсказуемого периода времени. В результате принимающая логика может зафиксировать любое из значений вместо фактического, искажая переданные данные и команды. Это приводит к случайным функциональным нарушениям, которые не выявляет обычное моделирование в симуляторе.

При проектировании схем синхронизации их эффективность измеряют по показателю MTBF (Mean Time Between Failures) – среднее время между сбоями на одном CDC-пересечении, который может быть подсчитан по следующей формуле [3]:

$$MTBF = \frac{t_{MET}}{e^{A_2} \times f_{C_1} \times f_{C_2}}, \quad (1)$$

где  $f_{C_1}$  и  $f_{C_2}$  – частоты взаимодействующих тактовых сигналов;  $A_1$  и  $A_2$  – константы, зависящие от технологического процесса производства триггеров, а  $t_{MET}$  – допустимое время стабилизации метастабильного сигнала у известного логического уровня напряжения до момента его считывания на следующем фронте на принимающей стороне (“окно стабилизации”).

Избежать явления метастабильного состояния полностью не представляется возможным. Однако имеется возможность воздействовать на соответствующие показатели, в первую очередь, на окно стабилизации, влияющие на соотношение (1) по экспоненциальному закону. Минимально приемлемым значением показателя MTBF для некритических систем считается период в 1000 лет [2,3].

На окно стабилизации влияет любая задержка, которая теоретически может возникнуть при транспортировании сигнала через пересечение. В связи с этим во многих литературных источниках делается значительный акцент на соблюдении ключевых правил проектирования в зоне пересечения тактовых доменов, в частности [4,5]:

- на пересечении тактовых доменов не должно быть схождения нескольких сигналов;
- пересечение тактовых доменов не должно разветвляться;
- на пересечении тактовых доменов не должно размещаться комбинационной логики.

Учитывая сверхбольшие размеры современных систем на кристалле, а также применение в них десятков и сотен тактовых сигналов, столь серьезные правила нуждаются в полностью автоматическом выявлении нарушений. Такая задача востребована для программных инструментов статического анализа моделей цифровых систем (системы линтинга) и специализированных инструментов по CDC-верификации [6,7].

Рассматриваемая предметная область анализа пересечений тактовых доменов достаточно сложна, поэтому автоматизации проверки правил должно предшествовать математическое моделирование и формальная постановка задачи.

*Цель работы* – повышение надежности цифровых систем на кристаллах, использующих взаимодействие компонентов, управляемых независимыми тактовыми сигналами, путем автоматизации проверки ключевых правил проектирования, применяемых к пересечениям между тактовыми доменами.

*Задачи исследования:*

- 1) Формулировка математической модели, описывающей внутреннюю структуру тактовых доменов, которые входят в их состав тактовых сигналов и отношений между ними.
- 2) Разработка процедуры, определенной на предложенной модели тактовых доменов, обнаруживающих исходное множество их пересечений.
- 3) Разработка процедур, проверяющих ключевые правила проектирования о схождении, расхождении и комбинационной логике в зоне пересечения тактовых доменов.

## 2. Тактовые домены

*Тактовый домен* (clock domain)  $D$  представляет собой совокупность входящих в его состав множества тактовых сигналов  $C^D$ , имеющих связанные характеристики фазы и частоты, и множества всех тактируемых этими сигналами элементов  $E^D$ :

$$D = \{C^D, E^D\}. \quad (2)$$

Любая нетривиальная цифровая система содержит как минимум один тактовый домен либо несколько таких доменов. Когда в системе имеется только один тактовый домен, задача анализа пересечений не имеет смысла. В данном исследовании рассматриваются случаи, когда система содержит хотя бы два тактовых домена  $D_1$  и  $D_2$ . На практике, схемы с одним тактовым доменом встречаются, чаще всего, лишь на уровне отдельных функциональных блоков.

К *тактируемым элементам* (clocked element)  $E^D$  выбранного домена относятся любые примитивы иерархии проекта, к точкам которых подключен хотя бы один из тактовых сигналов  $C^D$  того же домена. Сами элементы состоят из набора точек  $p^E$  и связанных с элементами тактовых сигналов  $C^E$ :

$$E = \{p^E, C^E\}. \quad (3)$$

Очевидно, множества тактовых сигналов самого домена и тактируемого элемента выбранного домена пересекаются:

$$C^{E \in D} \cap C^D \neq \emptyset. \quad (4)$$

*Точки*  $p$  представляют собой элементарную единицу в модели и соответствуют набору входных и выходных контактов любых задействуемых в цифровой системе технологических примитивов (вентилей, макросов), экземпляров IP-блоков, а также набору входных и выходных внешних портов. Каждой индивидуальной точке соответствует конкретное местоположение в иерархии проекта, уникально идентифицируемое при помощи строки вложенных имен с иерархическими разделителями (например, “top/CPU/IR/Q[0]”). Каждой точке может быть присуща некоторая функциональная роль (тактовый вход, вход асинхронного либо синхронного сброса, вход данных, вход разрешения, вход управления, выход), определяемая элементом, в состав которого она входит.

Подключение тактовых сигналов допускается не к любым точкам элементов, а лишь к предназначенным для данной цели, т.е. имеющим функциональную роль тактового входа. Неожиданные подключения к точкам, не интерпретируемым примитивами в качестве тактовых входов в нормальной ситуации, являются грубой ошибкой проектирования, требующей незамедлительного устранения. Исключения составляют входы различных схем преобразования тактовых сигналов, которые следует рассматривать только целиком как единый составной объект.

Чаще всего множество тактовых сигналов тактируемого элемента состоит только из одного объекта. Наиболее простым и распространенным тактируемым элементом является триггер, на тактовый вход которого подключен единственный интересующий тактовый сигнал. В общем случае, один элемент может тактироваться несколькими тактовыми сигналами, независимо от их вхождения в тактовые домены. Примером с двумя тактовыми сигналами являются примитивы двухпортовой памяти, распространенные в FPGA-устройствах. Более сложные примитивы производителей кристаллов либо поставщиков IP-блоков могут содержать несколько независимых тактовых входов, которые следует учитывать при анализе.

Тактовый домен содержит один или несколько *тактовых сигналов*  $C$ . С точки зрения анализа рассматриваемого в данной работе тактового сигнала необходимо знать такие характеристики: набор точек-источников  $S^C$  в иерархии проекта, частоту  $f^C$  (МГц) и смещение  $\varphi^C$  фазы (радианы) относительно условного момента времени, принимаемого за 0:

$$\begin{aligned} C &= \{S^C, f^C, \varphi^C\}, \\ S^C &= \{p_1, \dots, p_N\}. \end{aligned} \quad (5)$$

Период тактового сигнала, очевидно, можно получить обращением частоты. Более низкоуровневыми характеристиками, такими как коэффициент заполнения (duty cycle) и скважность, в данном исследовании можно пренебречь, как невливающими на конечный результат.

Чаще всего тактовый сигнал содержит только один источник. Однако допустимы случаи и с несколькими идентичными источниками. Эта ситуация может соответствовать различным низкоуровневым приемам размещения дерева тактовых сигналов в цифровом устройстве (например, репликация источника в идентичных экземплярах подсистем, дополнительные буферы для уменьшения энергозатрат на распространение тактового сигнала через длинные цепи). Характеристики фазы и частоты каждого из источников одного и того же тактового сигнала должны быть идентичны. Хотя на физическом уровне наличие двух различных источников неизбежно будет связано с некоторым смещением фазы относительно друг друга, можно принять, что смещение между различными источниками одного и того же тактового сигнала стремится к 0.

Лишь в простейших случаях тактовый домен состоит только из одного тактового сигнала. В зависимости от потребностей, в первую очередь, для оптимизации быстродействия основной тактовый сигнал может подвергаться различным преобразованиям, таким как инверсия:

$$C_1 = \overline{C_2} \Rightarrow \begin{cases} f^{C_1} = f^{C_2}, \\ \varphi^{C_1} - \varphi^{C_2} = \pi. \end{cases} \quad (6)$$

Деление либо умножение частоты на константный положительный действительный коэффициент  $\lambda$ :

$$\begin{cases} f^{C_1} = \lambda \times f^{C_2}, \lambda > 0, \lambda \in \mathbb{R}, \\ \varphi^{C_1} = \varphi^{C_2}. \end{cases} \quad (7)$$

Допустимы и более сложные преобразования с использованием специализированных технологических примитивов.

Одним тактовым доменом можно признать только такую совокупность тактовых сигналов, частоты которых отличаются друг от друга на степень двойки, а разница фазовых смещений равна 0 либо  $\pi$ :

$$(C_1, C_2) \in D \Rightarrow \begin{cases} f^{C_1} = 2^k \times f^{C_2}, k \in \mathbb{N}; \\ \left| \varphi^{C_1} - \varphi^{C_2} \right| = \begin{bmatrix} 0 \\ \pi \end{bmatrix}. \end{cases} \quad (8)$$

При обмене данными между элементами, синхронизируемыми такими тактовыми сигналами, вероятность возникновения эффекта метастабильности стремится к 0. Утверждать о полном отсутствии такой вероятности можно только теоретически, поскольку любая схема распространения разветвленных сигналов вносит некоторые незначительные фазовые смещения.

Построение модели тактовых доменов, включая выявление всех тактовых сигналов, отношений частоты и фазы между ними, а также набора элементов, тактируемых данными тактовыми сигналами, является хорошо изученной задачей. Если проект цифровой системы использует типовые схемы преобразования тактовых сигналов, не содержит сложных переключаемых режимов, а функциональные роли точек всех технологических примитивов известны, многие средства автоматизированного проектирования в состоянии построить модель тактовых доменов полностью автоматически по исходному коду описания RTL-уровня. Более сложные схемы тактирования могут потребовать ручного вмешательства пользователя для разъяснения соотношений. Такую информацию проектировщик цифровой системы может указать в виде описания ограничений в распространенном формате SDC (Synopsys Design Constraints). Данный формат популярен в различных САПР как для ASIC-проектов, так и для FPGA.

### 3. Временные пути и пересечения между тактовыми доменами

*Временным путем* (timing path) на схеме считается путь распространения сигнала от его стартовой точки, источника события, до конечной точки, в которой требуется синхронизация с другими сигналами, в частности, с тактовым. При прохождении вдоль временного пути сигнал лишь накапливает транспортную задержку на линиях и на логических элементах, но не ждет каких-либо других событий.

Временные пути могут исходить из внешних входных портов, выходов триггеров, элементов памяти, а также синхронизированных выходов “черных ящиков”. В качестве конечных точек временных путей могут выступать внешние выходные порты, синхронизированные с тактовым сигналом входы триггеров и элементов памяти, аналогично, синхронизированные с тактовым контактом входы “черных ящиков”.

Не все входы триггеров являются завершениями временных путей; в частности, при подаче импульса на входы асинхронного сброса и установки сигнал проходит на выходы триггера, не дожидаясь тактового фронта. Подобные асинхронные пути могут существовать от входов к выходам “черных ящиков”, включая различные технологические примитивы от FPGA-производителей и различные Hard-IP в мире ASIC-проектов. Чтобы различать синхронные и асинхронные пути через блоки, реализация которых неизвестна, необходимы соответствующие мета-описания для инструментов. Подобные описания выходят за рамки стандарта SDC, и каждый инструмент определяет подобную информацию в собственном проприетарном формате.

Из одной стартовой точки может исходить большое количество временных путей, поскольку сигнал может разветвиться (divergence) при транспортировании. Аналогично, одна конечная точка может быть завершением большого количества временных путей от других источников при схождении (convergence). Также между конкретной парой стартовой и конечной точки может существовать более одного пути. Такая ситуация называется сходящимся разветвлением (reconvergence). Данный случай весьма интересен при статическом временном анализе, поскольку для определения задержек должен использоваться наиболее длинный путь. Однако с точки зрения анализа пересечений тактовых доменов множественность путей между парой точек не играет никакой роли, а такой набор соединений можно условно принимать аналогично единственному пути, поскольку интересует только сам факт наличия хотя бы одного пути.

Пусть  $\Pi$  – бинарный предикат, обозначающий наличие комбинационного пути между точками  $p_1$  и  $p_2$ . Если временной путь между данной парой точек существует, предикат выдает единицу:

$$\Pi(p_1, p_2) = 1. \quad (9)$$

Если предикат (9) равен единице для  $p_1$  и  $p_2$ , из этого не следует, но и не исключается, что предикат будет справедлив для обратного порядка аргументов. Если выполняется соотношение:

$$\Pi(p_1, p_2) = \Pi(p_2, p_1) = 1, \quad (10)$$

это означает, что речь идет о двух различных временных путях, один из которых является обратной связью по отношению к противоположному.

Пересечение между тактовыми доменами (CDC – Clock Domain Crossing) – это пара точек в модели, относящихся к тактируемым элементам разных доменов, связанная временным путем:

$$\forall p_i \in P, p_k \in P, i \neq k, D_1 \neq D_2, \\ (p_i, p_k) \in \Psi_{D_1 \rightarrow D_2} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \Pi(p_i, p_k) = 1 \\ p_i \in E^{D_1}, p_k \in E^{D_2} \end{array} \right\}, \quad (11)$$

где  $P$  – множество всех интересующих точек проекта;  $D_1$  и  $D_2$  – два различных тактовых домена;  $\Psi_{D_1 \rightarrow D_2}$  – множество пересечений между данными доменами в направлении от  $D_1$  к  $D_2$ .

Направление пересечения играет важную роль. Хотя одни точки первого домена могут передавать сигналы в другой домен, а затем данные могут возвращаться обратно в первый домен, речь всегда будет идти абсолютно о других наборах временных путей, пересекающих границы двух доменов в противоположных направлениях:

$$\Psi_{D_1 \rightarrow D_2} \cap \Psi_{D_2 \rightarrow D_1} = \emptyset. \quad (12)$$

Для всех выявленных пересечений тактовых доменов необходимо производить проверку важных топологических правил, а также осуществлять поиск синхронизирующих структур.

Для упрощения изложения дальнейших процедур также необходимо ввести понятие входов и выходов тактового домена. *Входы* тактового домена – множество конечных точек временных путей, входящих в состав пар точек во всех множествах CDC-пересечений данного домена:

$$p_i \in P_I^{D_T} \Rightarrow \exists D_X, p_j \in E^{D_X}, (p_j, p_i) \in \Psi_{D_X \rightarrow D_T}, \quad (13)$$

где  $D_T$  – интересующий целевой тактовый домен;  $P_I^{D_T}$  – множество входов данного тактового домена;  $p_i$  – конкретная точка, являющаяся одним из входов данного тактового домена;  $D_X$  – другой тактовый домен, имеющий точку  $p_j$ , такую что между ней и  $p_i$  имеется CDC-переход, принадлежащий известному к данному моменту множеству  $\Psi_{D_X \rightarrow D_T}$ .

Аналогично, выходы тактового домена – множество начальных точек временных путей, входящих в состав пар точек во всех множествах CDC-пересечений данного домена:

$$p_i \in P_O^{D_S} \Rightarrow \exists D_X, p_j \in E^{D_X}, (p_i, p_j) \in \Psi_{D_S \rightarrow D_X}, \quad (14)$$

здесь  $D_S$  – интересующий тактовый домен-источник;  $P_O^{D_S}$  – множество выходов данного тактового домена;  $p_i$  – конкретная точка, являющаяся одним из выходов данного тактового домена;  $D_X$  – другой тактовый домен, имеющий точку  $p_j$ , такую что между  $p_i$  и ней

имеется CDC-переход, принадлежащий известному к данному моменту множеству  $\Psi_{D_S \rightarrow D_X}$ .

Наличие подготовленных множеств входов и выходов каждого из тактовых доменов значительно упрощает дальнейшие процедуры обработки.

#### 4. Схождение и расхождение временных путей в зоне пересечения тактовых доменов

Крайне неблагоприятной является ситуация, при которой к одной точке в целевом тактовом домене сходятся два и более временных путей, исходящих от точек в других тактовых доменах (convergence on crossover path). Во-первых, в момент переключения сигналов на схождении возможны кратковременные всплески (glitch), к чему очень чувствительны пересечения тактовых доменов. Во-вторых, схождение через комбинационную логику повышает вероятность сбоя на пересечении тактовых доменов, поскольку задержка на логическом вентиле отнимает время из ограниченного бюджета для стабилизации. В-третьих, большинство средств статического анализа воспринимает временные пути, уходящие в другие тактовые домены, как незначимые, что означает отсутствие стимулов для системы логического синтеза по оптимизации данного временного пути. Последняя причина может значительно усугубить вторую проблему.

В приведенном на рис. 1 примере выходы двух триггеров, находящиеся в домене с тактовым сигналом CLK\_TX, объединяются при помощи логического вентиля И, выход которого направляется к входу триггера в домене с тактовым сигналом CLK\_RX.

Подобные ситуации необходимо обнаруживать и устранять на ранних этапах проектирования. Чтобы идентифицировать вход тактового домена, на котором нарушается данное правило, необходима следующая вычислительная процедура. Если находится вход  $p$  тактового домена  $D$ , на котором сумма

$$\forall p \in P_I^D, \sum_{j,k} \left\{ \begin{matrix} 1, \exists p_j \in P_O^{D_k}, (p_j, p) \in \Psi_{D_k \rightarrow D} \\ 0 \end{matrix} \right\} > 1 \quad (15)$$

принимает значение больше 1, это означает, что на данном входе имеется нежелательное схождение. В (15)  $p_j$  – потенциально существующий выход другого домена  $D_k$ , от которого исходит пересечение с интересующей точкой  $p$  тактового домена  $D$ .

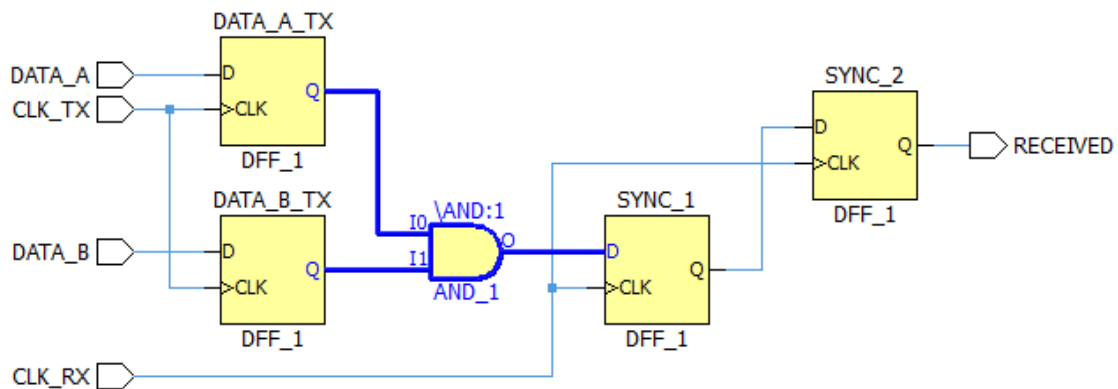


Рис. 1. Схождение временных путей на пересечении тактовых доменов

Правильный подход для устранения проблемы схождения на пересечении тактовых доменов состоит в выносе самого схождения до триггера, с выхода которого пересечение исходит (рис. 2) – такой подход более чем приемлем, поскольку на пересечении не будет происходить всплесков, а задержка на комбинационном элементе будет отнесена в зону путей в рамках одного тактового домена, что никак не повлияет на надежность последующей асинхронной передачи.

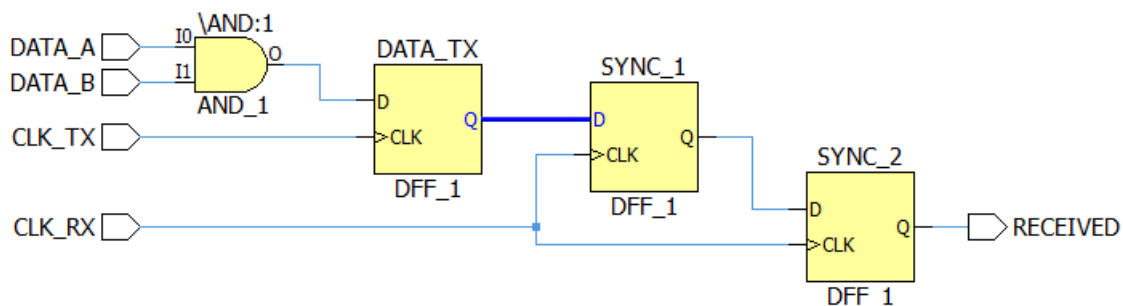


Рис. 2. Схождение временных путей до пересечения тактовых доменов

Подобную задачу составляет поиск расхождений на пересечениях тактовых доменов (divergence on crossover path). Между разошедшимися ветвями может отличаться задержка распространения сигнала и, как следствие, время стабилизации метастабильного состояния. Поскольку вероятность сбоя на пересечении тактовых доменов зависит от имеющегося окна стабилизации по экспоненциальному закону, даже малейшее расхождение задержек копий может привести к значительному ухудшению надежности одной из ветвей. В дальнейшем одна из ветвей может считать неправильное логическое значение передаваемого сигнала, что может привести к серьезным функциональным ошибкам. Дополнительно, разветвление сигнала увеличивает его емкость, что влияет на задержку распространения. В обычной ситуации такое изменение задержки ничтожно мало, но учитывая экспоненциальную зависимость (1), влияние данного фактора также заметно.

На рис. 3 показан пример описанной выше проблемной ситуации. Здесь выход триггера, находящегося в домене с тактовым сигналом CLK\_TX, расходится и достигает двух триггеров, расположенных в домене с тактовым сигналом CLK\_RX. Наличие комбинационной логики (инвертор) не является принципиальным для рассматриваемого правила проектирования, однако без такого размещенного вентиля, при отсутствии иерархических границ в схеме, большинство средств логического синтеза автоматически объединит разошедшиеся ветви как эквивалентные.

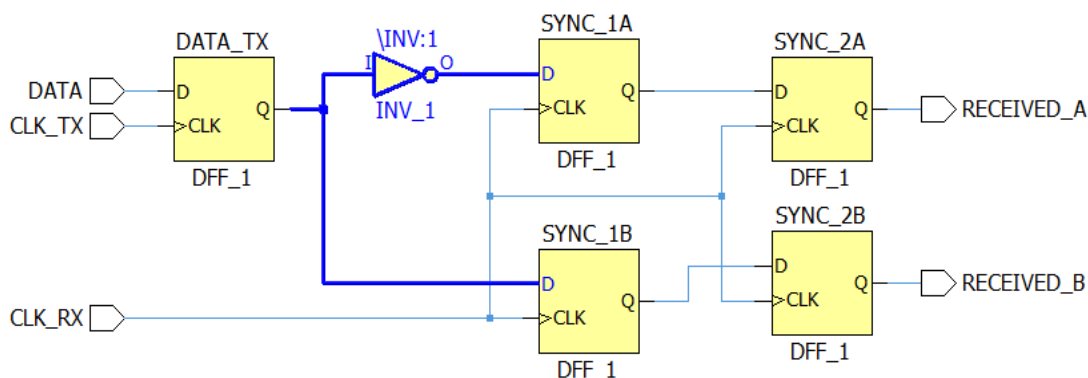


Рис. 3. Расхождение временных путей на пересечении тактовых доменов

Для обнаружения ситуации необходим подход, зеркально противоположный процедуре (15). Если находится выход  $p$  тактового домена  $D$ , на котором сумма (16) принимает значение больше 1, это означает, что за данным выходом имеется нежелательное расхождение:

$$\forall p \in P_O^D, \sum_{j,k} \left\{ 1, \exists p_j \in P_I^{D_k}, (p, p_j) \in \Psi_{D \rightarrow D_k} \right\} > 1, \quad (16)$$

где  $p_j$  – потенциально существующий вход другого домена  $D_k$ , к которому приходит пересечение с интересующей точкой  $p$  от тактового домена  $D$ .

При обнаружении таких выходов тактовых доменов расхождение следует поместить по завершению синхронизации пересечения (рис. 4).

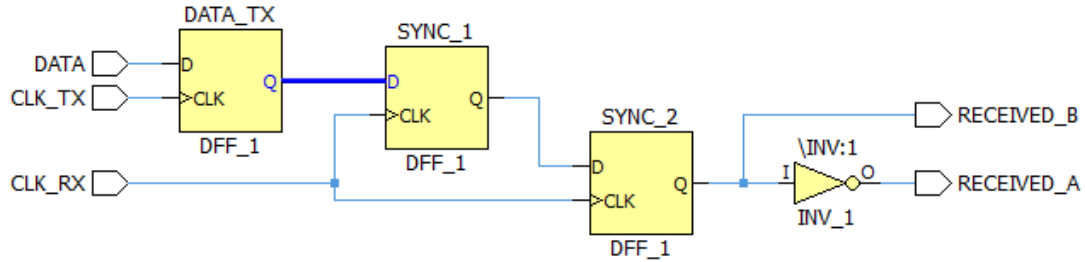


Рис. 4. Расхождение путей после синхронизации пересечения тактовых доменов

В таком случае упомянутое выше расхождение задержки между ветвями не окажет критического влияния на функциональные ошибки, поскольку от данной задержки более не будет зависеть окно стабилизации на переходе.

### 5. Логические элементы на пересечении тактовых доменов

Согласно (1), вероятность сбоя на CDC-пересечении растет при уменьшении окна стабилизации по экспоненциальному закону. Соответственно, величина окна стабилизации является доминирующим фактором, влияющим на надежность. Поскольку большинство средств статического временного анализа не рассматривают пути, уходящие в другие тактовые домены, ответственность за получение минимальной задержки распространения сигнала через пересечение тактовых доменов полностью лежит на проектировщике.

В связи с этим категорически запрещается размещение на пересечении тактовых доменов любой комбинационной логики, как значительного источника задержек, даже если речь идет всего лишь об инверторе (рис. 5):

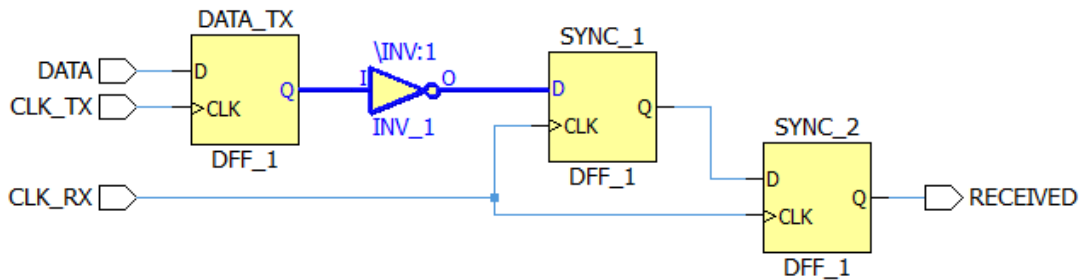


Рис. 5. Комбинационный элемент на пересечении тактовых доменов

Чтобы упростить обнаружение подобных топологических нарушений, необходимо ввести функцию фактической длины временного пути  $L(p_1, p_2)$ . Пусть фактическая длина временного пути представляет собой количество точек модели, входящих в его состав, исключая внутренние иерархические границы (входы и выходы дочерних блоков системы и их внутренние порты). Такую величину не представляет труда подсчитать при формировании данных о временных путях, достаточно лишь продвигать по пути распространения сигнала текущее значение длины, увеличивая ее на количество значащих точек, посещаемых при прохождении. Минимальной фактической длиной существующего временного

пути будет значение 2, что включает исходную и конечную точку, между которыми имеется прямое иерархическое соединение без какой-либо логики. Если же путь проходит через какой-либо логический вентиль, его фактическая длина увеличится еще на 2, что будет соответствовать точкам входа и выхода вентиля. Интересно, что при таком определении функция фактической длины временного пути будет всегда выдавать исключительно четные значения.

Имея в распоряжении функцию фактической длины временного пути, предикат (9) представляется возможным выразить через данную функцию:

$$P(p_1, p_2) = \begin{cases} 1, & L(p_1, p_2) \geq 2, \\ 0 & \end{cases} \quad (17)$$

Чтобы обнаружить топологические нарушения, пример которых показан на рис. 5, необходимо проанализировать каждое пересечение тактовых доменов и выявить те из них, которые содержат дополнительные логические элементы, используя введенное понятие фактической длины временного пути:

$$((p_i, p_j) \in \Psi_{D_x \rightarrow D_y}) \wedge (L(p_i, p_j) > 2), \quad (18)$$

где  $D_x$  и  $D_y$  – два взаимодействующих тактовых домена;  $(p_i, p_j)$  – временные пути на пересечении между данными тактовыми доменами.

Корректным исправлением является помещение логических элементов до или после пересечения, как показано на рис. 6, где он не будет влиять на величину окна стабилизации.

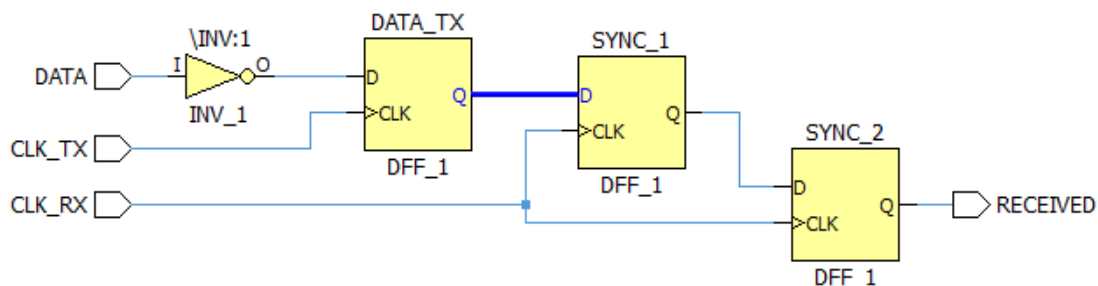


Рис. 6. Комбинационный элемент, вынесенный за пределы пересечения тактовых доменов

Комбинационная логика также не должна встречаться между первым и вторым триггером после пересечения тактовых доменов. По сути, помещение логики в эту часть схемы препятствует созданию классического синхронизатора из двух близко расположенных друг к другу триггеров (рис. 7).

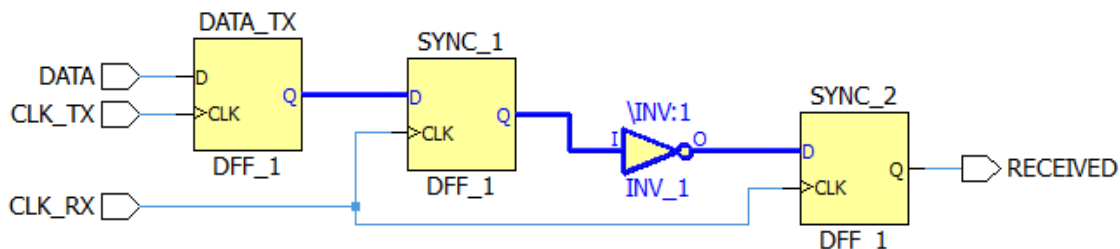


Рис. 7. Комбинационный элемент, нарушающий классический 2DFF-синхронизатор

Такая проверка требует правильной выборки первого и второго триггера, а затем проверки функции фактической длины временного пути, по аналогии с (18). Первый триггер после пересечения есть не что иное, как вход тактового домена (13). Для выбора вторых триггеров во всех цепочках после пересечения потребуется такое выражение:

$$\forall p_i \in P_I^D, \exists p_j \in E^D, \Pi(\bar{p}_i, p_j) = 1, \quad (19)$$

где  $\bar{p}_i$  – точка выхода первого триггера, которая определяется простейшей текстовой подстановкой, имея путь к входу первого триггера  $p_i$ . Для подстановки достаточно сменить в местоположении название входного контакта D на название выходного Q.

Далее, нарушение о комбинационном элементе между первым и вторым триггером выявляется путем проверки функции фактической длины временного пути между точкой выхода первого и точкой входа второго триггера:

$$L(\bar{p}_i, p_j) > 2. \quad (20)$$

Перемещение логики за выход второго триггера решает проблему уменьшения вероятности стабилизации метастабильного сигнала.

## 6. Выводы

В ходе исследования были решены ключевые поставленные задачи:

1) Сформулирована базовая математическая модель, описывающая внутреннюю структуру тактовых доменов, входящих в их состав тактовых сигналов и частотно-фазовых отношений между ними.

2) Разработана процедура, определенная на предложенной модели тактовых доменов, обнаруживающая исходное множество их пересечений путем эффективной выборки данных из множества временных путей.

3) Разработаны процедуры, осуществляющие проверку ключевых правил проектирования о схождении, расхождении и комбинационной логике в зоне пересечений тактовых доменов.

Главный *научный результат* исследования состоит в формулировке математической базы для методов верификации и различных процедур анализа внутренней структуры и взаимоотношений независимых тактовых доменов в моделях цифровых систем на кристаллах.

Ключевым *практическим результатом* исследования является повышение надежности цифровых систем на кристаллах путем детальной формализации комплекса необходимых вычислительных процедур на модели тактовых доменов, направленных на автоматизацию проверок ключевых правил проектирования, применяемых к CDC-пересечениям.

Риск возникновения сложных функциональных ошибок, проявляющихся из-за эффекта метастабильного состояния при некорректном взаимодействии между компонентами систем на кристалле, управляемых различными тактовыми доменами, может быть существенно снижен. Хотя полностью исключить явление метастабильности не представляется возможным, систематическое применение автоматизированных ключевых правил проектирования, обнаруживающих наиболее часто возникающие ошибки, способно удерживать среднее время между сбоями на пересечениях тактовых доменов в приемлемых рамках (более 1000 лет).

Перспективной возможностью видится внедрение предложенной модели и процедур в состав программного комплекса по CDC-верификации.

**Список литературы:** 1. *Vimjam V. C., Joseph A.* Challenges in Verification of Clock Domain Crossings // Real Intent Inc., Design Automation Conference (DAC'47). 2010. 2. *Haseloff E.* Metastable Response in 5-V Logic Circuits // Texas Instruments Application Note SDYA006. 1997. 3. *Veendrick H. J. M.* The Behavior of Flip-Flops Used as Synchronizers and Prediction of Their Failure Rate // IEEE Journal of Solid-State Circuits. 1980. Vol. 15. P. 169-176. 4. *Sarwary S., Verma S.* Critical clock-domain crossing bugs // Atrenta Inc. 2013. 5. *Ginosar R.* Fourteen Ways to Fool Your Synchronizer // Proc. Ninth IEEE International Symposium on Asynchronous Circuits and Systems (ASYNC). 2003. P. 89. 6. *Chaturvedi S.* Static analysis of asynchronous clock domain crossings // Proceeding DATE '12 Proceedings of the Conference on Design, Automation and Test in Europe. 2012. P. 1122-1125. 7. *Cummings C.* Clock Domain Crossing (CDC) Design & Verification Techniques Using SystemVerilog // Synopsys User Group Conference (SNUG). 2008.

Поступила в редколлегию 11.02.2015

**Зайченко Сергей Александрович**, канд. техн. наук, директор ООО “Алдек-КТС” (г. Харьков), доцент кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: автоматизированное проектирование и верификация цифровых систем. Адрес: Украина, 61045, Харьков, ул. Космическая, 23а, тел. (057)-760-47-25.

**Лештаев Павел Викторович**, ведущий инженер ООО “Алдек-КТС” (г. Харьков). Научные интересы: автоматизированное проектирование и верификация цифровых систем. Адрес: Украина, 61045, Харьков, ул. Космическая, 23а, тел. (057)-760-47-25.

**Гурев Богдан Николаевич**, магистрант факультета КИУ ХНУРЭ, инженер-программист ООО “Алдек-КТС” (г. Харьков). Научные интересы: автоматизированное проектирование и верификация цифровых систем. Адрес: Украина, 61045, Харьков, ул. Космическая, 23а, тел. (057)-760-47-25.

**Шляхтун Максим Михайлович**, магистрант факультета КИУ ХНУРЭ, инженер-программист ООО “Алдек-КТС” (г. Харьков). Научные интересы: автоматизированное проектирование и верификация цифровых систем. Адрес: Украина, 61045, Харьков, ул. Космическая, 23а, тел. (057)-760-47-25.

---

УДК 519.876.2

*И.Г. ОКСАНИЧ, Н.В. РЫЛОВА*

## **РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ СИТУАЦИИ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

---

Рассматривается модель оценки производственной ситуации в системе поддержки принятия оперативных решений. Приводится описание этапов подготовительной процедуры и разработка нечеткой модели оценки производственной ситуации для определения оптимальной альтернативы реагирования на возникшие отклонения от хода производства. Созданная база знаний и механизм вывода решений на базе нечеткой логики являются основой автоматизированной системы оперативного управления.

### **1. Введение**

Изменчивость производственного процесса и среды функционирования предприятия требуют от информационных систем управления способности обеспечивать решение функциональных задач в ограниченное время, а в некоторых случаях и в режиме реального времени. Кроме того, значение элемента мобильности в управлении предприятием неразрывно связано с эффективным использованием выделенных в распоряжение производства материальных, трудовых и финансовых ресурсов. Это в полной мере относится и к оперативному управлению, роль которого заключается в непрерывном учете текущей информации о фактическом ходе работ по выполнению установленного графика производства; выявлении и анализе причин отклонений от установленных плановых заданий и календарных графиков производства; принятии оперативных решений по координации текущей работы взаимосвязанных звеньев производства в целях обеспечения ритмичного хода работы по установленному графику [1].

Для оперативного управления производством монокристаллов полупроводников характерно принятие решений в условиях существенной неопределенности, связанной с неопределенностью свойств объекта управления и влияния внешней среды. В то же время получение рациональных управленческих решений с использованием классических аналитических моделей является невозможным в силу сложности и неопределенности некоторых свойств объекта управления. Отсюда вытекает актуальность задач разработки моделей и алгоритмов, которые обеспечивают синтез рациональных управленческих решений и оценку возможных последствий принятия этих решений.

### **2. Описание этапов подготовительной процедуры для дальнейшей разработки нечеткой модели оценки производственной ситуации**

Как правило, модель распознавания ситуаций и принятия оперативных решений строится на основе матрицы знаний или эквивалентной ей системе логических высказываний, позво-

**Зайченко Сергей Александрович**, канд. техн. наук, директор ООО “Алдек-КТС” (г. Харьков), доцент кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: автоматизированное проектирование и верификация цифровых систем. Адрес: Украина, 61045, Харьков, ул. Космическая, 23а, тел. (057)-760-47-25.

**Лештаев Павел Викторович**, ведущий инженер ООО “Алдек-КТС” (г. Харьков). Научные интересы: автоматизированное проектирование и верификация цифровых систем. Адрес: Украина, 61045, Харьков, ул. Космическая, 23а, тел. (057)-760-47-25.

**Гуреев Богдан Николаевич**, магистрант факультета КИУ ХНУРЭ, инженер-программист ООО “Алдек-КТС” (г. Харьков). Научные интересы: автоматизированное проектирование и верификация цифровых систем. Адрес: Украина, 61045, Харьков, ул. Космическая, 23а, тел. (057)-760-47-25.

**Шляхтун Максим Михайлович**, магистрант факультета КИУ ХНУРЭ, инженер-программист ООО “Алдек-КТС” (г. Харьков). Научные интересы: автоматизированное проектирование и верификация цифровых систем. Адрес: Украина, 61045, Харьков, ул. Космическая, 23а, тел. (057)-760-47-25.

---

УДК 519.876.2

*И.Г. ОКСАНИЧ, Н.В. РЫЛОВА*

## **РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ СИТУАЦИИ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

---

Рассматривается модель оценки производственной ситуации в системе поддержки принятия оперативных решений. Приводится описание этапов подготовительной процедуры и разработка нечеткой модели оценки производственной ситуации для определения оптимальной альтернативы реагирования на возникшие отклонения от хода производства. Созданная база знаний и механизм вывода решений на базе нечеткой логики являются основой автоматизированной системы оперативного управления.

### **1. Введение**

Изменчивость производственного процесса и среды функционирования предприятия требуют от информационных систем управления способности обеспечивать решение функциональных задач в ограниченное время, а в некоторых случаях и в режиме реального времени. Кроме того, значение элемента мобильности в управлении предприятием неразрывно связано с эффективным использованием выделенных в распоряжение производства материальных, трудовых и финансовых ресурсов. Это в полной мере относится и к оперативному управлению, роль которого заключается в непрерывном учете текущей информации о фактическом ходе работ по выполнению установленного графика производства; выявлении и анализе причин отклонений от установленных плановых заданий и календарных графиков производства; принятии оперативных решений по координации текущей работы взаимосвязанных звеньев производства в целях обеспечения ритмичного хода работы по установленному графику [1].

Для оперативного управления производством монокристаллов полупроводников характерно принятие решений в условиях существенной неопределенности, связанной с неопределенностью свойств объекта управления и влияния внешней среды. В то же время получение рациональных управленческих решений с использованием классических аналитических моделей является невозможным в силу сложности и неопределенности некоторых свойств объекта управления. Отсюда вытекает актуальность задач разработки моделей и алгоритмов, которые обеспечивают синтез рациональных управленческих решений и оценку возможных последствий принятия этих решений.

### **2. Описание этапов подготовительной процедуры для дальнейшей разработки нечеткой модели оценки производственной ситуации**

Как правило, модель распознавания ситуаций и принятия оперативных решений строится на основе матрицы знаний или эквивалентной ей системе логических высказываний, позво-

ляющих вычислять значения функций принадлежности выходной переменной при фиксированных значениях входных переменных. Данная модель позволяет выбирать управляющее воздействие согласно текущей производственной ситуации в условиях нечетко заданной исходной информации.

Нечеткую модель оценки производственной ситуации представим в следующем виде:

$$M_{\text{ПРР}} = \langle X, T, F, B, S \rangle, \quad (1)$$

где  $X$  – множество признаков, значениями которых характеризуются состояния объекта управления  $X = \{x_i\}, i = \overline{1, n}$ ;  $T$  – терм-множество всех лингвистических переменных, соответствующих признакам входных ситуаций  $T = \{T_i^1, T_i^2, \dots, T_i^{m_i}\}$ ,  $m_i$  – количество значений  $i$ -го признака;  $F$  – множество функций принадлежности, соответствующих терм-множествам;  $F = \{\mu^{T_i}(x_i^*)\}, x_i^*$  – фиксированные значения параметра признака ситуации;  $B$  – база знаний;  $S$  – выходная переменная – оценка производственной ситуации  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_j, \dots, s_l\}, j = \overline{1, l}$ .

Задача оценки ситуации состоит в том, чтобы на основе информации о векторе входов  $X^*$  – фиксированных значений признаков текущей ситуации определить выход  $S^* \in S$  – адекватную оценку ситуации для принятия оптимального решения по устранению отклонений от хода производственного процесса:

$$X^* = \langle x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^* \rangle \rightarrow S^*. \quad (2)$$

Рассмотрим подготовительную процедуру, состоящую из следующих этапов:

Этап 1. Выбор признаков ситуаций. По мнению опрошенных экспертов-аналитиков формируется набор признаков ситуаций  $x_i$ , часто возникающих на производственном участке. При оперативном управлении производством полупроводниковых материалов согласно мнению опрошенных экспертов можно ограничиться следующими признаками:  $x_1$  – степень выполнения плана;  $x_2$  – степень загрузки участка в целом;  $x_3$  – оценка перспективы длительности простоя единицы основного оборудования;  $x_4$  – относительный размер задела по исходным компонентам.

Этап 2. Определение универсальных множеств входных переменных. Поскольку переменные  $x_1, \dots, x_4$  имеют различный диапазон и различные форматы числовых значений, введем универсальную шкалу для всех четких числовых переменных, которую можно получить следующим образом: опрос экспертов по поводу вероятного максимального значения каждой переменной; нормирование переменной путем деления на максимальное значение.

В результате получим универсальную числовую шкалу с диапазоном  $[0, 1]$ .

Этап 3. Определение лингвистических переменных. В ходе исследования все показатели были приведены к единой универсальной шкале, полученной путем опроса экспертов и нормированием переменной путем деления на максимальное значение. В результате получена шкала лингвистических переменных (табл. 1).

Таблица 1

Признаки ситуаций	Значение признака, соответствующего терму		
	«Малая»	«Средняя»	«Достаточная»
$x_1$ – степень выполнения плана	0 – 0,5	0,4 – 0,7	0,6 – 1,0
$x_2$ – степень загрузки участка в целом	«Незначительная» 0 – 0,45	«Значительная» 0,35 – 0,75	«Большая» 0,7 – 1,0
$x_3$ – оценка перспективы длительности простоя единицы основного оборудования	«Малая» 0 – 0,35	«Средняя» 0,25 – 0,7	«Большая» 0,6 – 1,0
$x_4$ – относительный размер задела по исходным компонентам	«Малый» 0 – 0,4	«Средний» 0,3 – 0,75	«В избытке» 0,6 – 1,0

Этап 4. Построение функций принадлежности. Эксперт определяет степени принадлежности исследуемых параметров заданному нечеткому подмножеству. На рис. 1-4 представлены трапецевидные функции принадлежности нечетких термов для контрольных параметров  $x_i, i = \overline{1, n}$ , полученные в результате проведенных расчетов.

Трапецевидные функции принадлежности нечетких термов представлены в виде аналитических выражений [2]:

$$\mu(x_i, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x_i \leq a; \\ \frac{x_i - a}{c - a}, & a < x_i < c; \\ 1, & c \leq x_i \leq d; \\ \frac{b - x_i}{b - d}, & d < x_i < b; \\ 0, & x_i \geq b, \end{cases} \quad (3)$$

где  $a, b, c, d$  – контрольные точки заданного нечеткого подмножества;  $x_i$  – нечетко заданная входная переменная, значение которой получено путем анализа текущей ситуации на производственном участке.

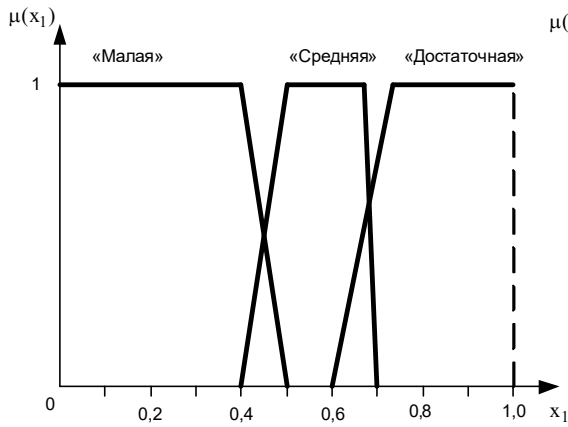


Рис. 1. Модель функции принадлежности для нечеткой переменной  $x_1$  – степень выполнения плана

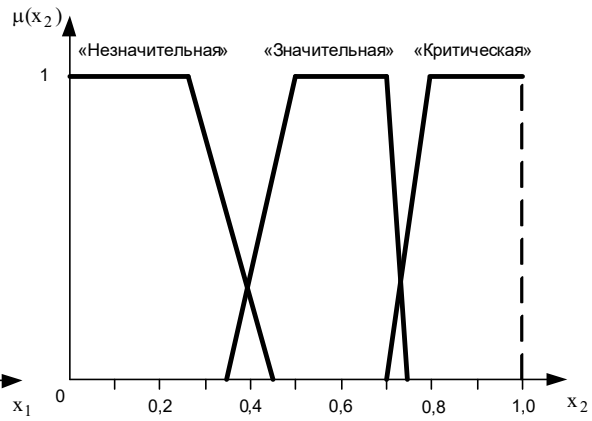


Рис. 2. Модель функции принадлежности для нечеткой переменной  $x_2$  – степень загрузки участка в целом

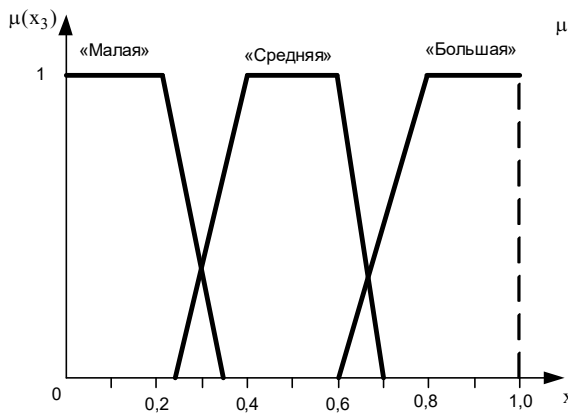


Рис. 3. Модель функции принадлежности для нечеткой переменной  $x_3$  – оценка перспектив длительности простоя единицы основного оборудования

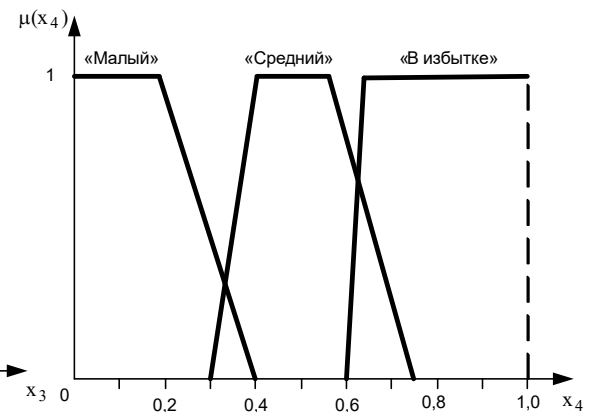


Рис. 4. Модель функции принадлежности для нечеткой переменной  $x_4$  – относительный размер задела по исходным компонентам

### 3. Разработка нечеткой модели оценки производственной ситуации для определения оптимальной альтернативы реагирования на возникшие отклонения от хода производства

Результаты расчетов, сделанных на предыдущих этапах, вносятся во вспомогательную матрицу значений функций принадлежности. Интерпретируя произвольный терм  $T_i^j$  как нечеткую оценку ситуации на производственном участке по данному параметру (например, простой единицы оборудования), можно формировать комплексную оценку верхнего уровня при помощи известного алгоритма Мамдани [3]:  $S^* = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ , которая соответствует вектору фиксированных значений входных переменных  $X^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*)$ . Оценка осуществляется в такой последовательности:

1. Фиксация вектора значений входных переменных  $X^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*)$ .

2. Фаззификация: определение значений функций принадлежности для заданных значений входных переменных на соответствующих лингвистических шкалах и заполнение рабочих массивов функций принадлежности  $\mu_{T_i^j}(x_i)$  – входной переменной  $x_i \in [a_i, b_i]$  терму  $T_i^j$ .

3. Вычисление функции принадлежности  $\mu_{S_j}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$  вектора  $X^*$  для всех значений  $S_j, j = 1 \dots l$  выходной переменной  $S$  с помощью продукций, хранящихся в базе знаний:

$$\mu_{S_j}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) = \bigcup_{p=1}^{k_j} w_p \left[ \bigcap_{i=1}^n \mu_i^{j,p} \right] \rightarrow S, \quad (4)$$

здесь  $w_p$  – весовые коэффициенты правил, значения которых изменяются в зависимости от состояния и приоритета различных заказов на производство полупроводниковых материалов. Для оценивания значимости правил использовался метод парных сравнений. Полученные таким образом значения весовых коэффициентов являются оценками в шкале отношений и соответствуют так называемым жёстким оценкам.

4. Определение управляющего воздействия. Вычислим значение  $S_j^*$ , функция принадлежности которого максимальна:

$$\mu_S(x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*) = \max_{j=1, l} (\mu_{S_j}(x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*)). \quad (5)$$

Необходимым этапом построения системы принятия решений по оперативному управлению производством является реализация механизма нечеткого логического вывода, на основании которого применяется управляющее воздействие. Поэтому ситуации для принятия управляющих воздействий выбраны экспертами – мастерами-технологами цеха полупроводниковых материалов. Эксперты использовали характерные ( типовые ) ситуации, возникающие в процессе производства.

Запишем сформулированные экспертами лингвистические правила:

ЕСЛИ ( $x_1$  ="достаточная") И ( $x_2$  ="значительная") И ( $x_3$  ="малая") И ( $x_4$  ="в избытке")

ИЛИ ( $x_1$  ="достаточная") И ( $x_2$  ="большая") И ( $x_3$  ="малая") И ( $x_4$  ="в избытке")

ТО ( $s_1$  ="Управляющее воздействие не применяется")

ИНАЧЕ

ЕСЛИ ( $x_1$ ="достаточная") И ( $x_2$ ="значительная") И ( $x_3$ ="малая") И ( $x_4$ ="в избытке")

ИЛИ ( $x_1$ ="достаточная") И ( $x_2$ ="значительная") И ( $x_3$ ="средняя") И ( $x_4$ ="средний")

ИЛИ ( $x_1$ ="достаточная") И ( $x_2$ ="большая") И ( $x_3$ ="средняя") И ( $x_4$ ="средний")

ИЛИ ( $x_1$ ="достаточная") И ( $x_2$ ="большая") И ( $x_3$ ="малая") И ( $x_4$ ="в избытке")

ИЛИ( $x_1$ ="средняя") И ( $x_2$ ="большая") И ( $x_3$ ="малая") И( $x_4$ ="в избытке")

ИЛИ ( $x_1$ ="средняя") И ( $x_2$ ="большая") И ( $x_3$ ="средняя") И ( $x_4$ ="в избытке")

ИЛИ ( $x_1$ ="средняя") И ( $x_2$ ="значительная") И ( $x_3$ ="средняя") И( $x_4$ ="в избытке")

ИЛИ ( $x_1$ ="средняя") И ( $x_2$ ="значительная") И ( $x_3$ ="малая") И ( $x_4$ ="в избытке")

ТО ( $s_2$ ="Работать в установленном режиме до окончания ремонта единицы оборудования")

ИНАЧЕ

ЕСЛИ ( $x_1$ ="малая") И ( $x_2$ ="незначительная") И ( $x_3$ ="малая") И ( $x_4$ ="средний")

ИЛИ ( $x_1$ ="малая") И ( $x_2$ ="незначительная") И ( $x_3$ ="малая") И ( $x_4$ ="в избытке")

ИЛИ ( $x_1$ ="средняя") И ( $x_2$ ="незначительная") И ( $x_3$ ="малая") И ( $x_4$ ="средний")

ИЛИ ( $x_1$ ="средняя") И ( $x_2$ ="незначительная") И ( $x_3$ ="малая") И ( $x_4$ ="в избытке")

ИЛИ ( $x_1$ ="малая") И( $x_2$ ="незначительная") И( $x_3$ ="средняя") И ( $x_4$ ="в избытке")

ТО ( $s_3$ ="Запустить в производство следующий по приоритетности заказ")

ИНАЧЕ

ЕСЛИ ( $x_1$ ="малая") И ( $x_2$ ="значительная") И ( $x_3$ ="малая") И ( $x_4$ ="средний")

ИЛИ ( $x_1$ ="малая")И ( $x_2$ ="значительная") И ( $x_3$ ="средняя") И ( $x_4$ ="средний")

ИЛИ ( $x_1$ ="малая") И ( $x_2$ ="значительная") И ( $x_3$ ="малая") И( $x_4$ ="в избытке")

ИЛИ ( $x_1$ ="малая") И ( $x_2$ ="значительная") И ( $x_3$ ="средняя") И( $x_4$ ="в избытке")

ИЛИ ( $x_1$ ="средняя") И ( $x_2$ ="значительная") И ( $x_3$ ="малая") И( $x_4$ ="средний")

ИЛИ ( $x_1$ ="средняя") И ( $x_2$ ="значительная") И ( $x_3$ ="малая") И( $x_4$ ="в избытке")

ТО ( $s_4$ ="Задействовать дополнительные мощности")

ИНАЧЕ

ЕСЛИ ( $x_1$ ="малая") И ( $x_2$ ="значительная") И ( $x_3$ ="малая") И( $x_4$ ="малый")

ИЛИ ( $x_1$ ="малая") И ( $x_2$ ="незначительная") И ( $x_3$ ="средняя") И( $x_4$ ="малый")

ИЛИ ( $x_1$ ="средняя") И ( $x_2$ ="незначительная") И ( $x_3$ ="малая") И( $x_4$ ="малый")

ИЛИ ( $x_1$ ="средняя") И ( $x_2$ ="значительная") И ( $x_3$ ="малая") И( $x_4$ ="малый")

ИЛИ ( $x_1$ ="средняя") И ( $x_2$ ="значительная") И ( $x_3$ ="средняя") И( $x_4$ ="малый")

ТО ( $s_5$ ="Изыскать дополнительные исходные материалы")

Построим структуру базы знаний. Пусть количество признаков ситуаций  $k$ , а число ситуаций  $n$ . В табл. 2 в общем виде представлена база нечетких знаний. Элемент  $V_i^{jp}$ , находящийся на пересечении  $i$ -го столбца  $j_p$ -й строки, соответствует лингвистической оценке параметра  $x_i$  в строке матрицы знаний с номером  $j_p$ . Лингвистическую оценку  $V_i^{jp}$

выбираем из терм-множеств, которые соответствуют переменной  $x_i$ , описывающей состояние производственного процесса, т.е.  $B_i^{jp} \in T_i, i = \overline{1, k}, j = \overline{1, n}, p = \overline{1, m_j}$ .

Таблица 2

№ п/п	Входные переменные					Выходная переменная
	$x_1$	$x_2$	... $x_i$ ...	$x_k$	$w_{ij}$	
$l_1$	$B_1^{l_1 1}$	$B_2^{l_1 1}$	$B_i^{l_1 1}$	$B_k^{l_1 1}$	$w_{l_1 1}$	$s_1$
$l_2$	$B_1^{l_2 2}$	$B_2^{l_2 2}$	$B_i^{l_2 2}$	$B_k^{l_2 2}$	$w_{l_2 2}$	
...	...	...	...	...	...	
$l_{m_l}$	$B_1^{l_{m_l} 1}$	$B_2^{l_{m_l} 1}$	$B_i^{l_{m_l} 1}$	$B_k^{l_{m_l} 1}$	$w_{l_{m_l} 1}$	
...	...	...	...	...	...	...
$j_1$	$B_1^{j_1 1}$	$B_2^{j_1 2}$	$B_i^{j_1 1}$	$B_k^{j_1 1}$	$w_{j_1 1}$	$s_j$
$j_2$	$B_1^{j_2 2}$	$B_2^{j_2 2}$	$B_i^{j_2 2}$	$B_k^{j_2 2}$	$w_{j_2 2}$	
...	...	...	...	...	...	
$j_{m_j}$	$B_1^{j_{m_j} p}$	$B_2^{j_{m_j} p}$	$B_i^{j_{m_j} p}$	$B_k^{j_{m_j} p}$	$w_{j_{m_j} p}$	
...	...	...	...	...	...	...
$n_1$	$B_1^{n_1 1}$	$B_2^{n_1 1}$	$B_i^{n_1 1}$	$B_k^{n_1 1}$	$w_{n_1 1}$	$s_n$
...	...	...	...	...	...	
$n_{m_n}$	$B_1^{n_{m_n} r}$	$B_2^{n_{m_n} r}$	$B_i^{n_{m_n} r}$	$B_k^{n_{m_n} r}$	$w_{n_{m_n} r}$	

Для проверки модели разработано программное обеспечение по поддержке принятия решений для коррекции хода производственного процесса. Для тестирования модели использовались примеры, полученные на основе производственных ситуаций, составленных четырьмя экспертами.

На рис. 5 представлена сравнительная характеристика процента выполнения сменного задания до и после принятия управленческих решений.

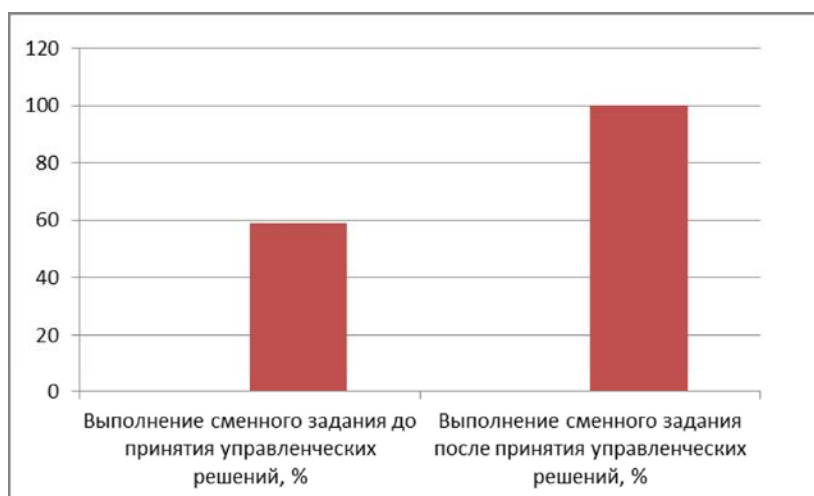


Рис. 5. Сравнительная характеристика выполнения сменного задания

#### 4. Выводы

Разработанная модель оценки производственной ситуации позволяет лицу, принимающему решение, используя набор признаков текущей ситуации, принять адекватное управляющее воздействие, которое устранит отклонение от хода производственного процесса. Созданная база знаний и механизм вывода решений на базе нечеткой логики являются основой системы оперативного управления, с помощью которой в практических условиях производства полупроводниковых материалов можно снизить время на незапланированные простои оборудования и повысить процент выполнения плана производства.

**Список литературы:** 1. *Рылова Н.В.*. Разработка нечеткой адаптивной модели оценки производственной ситуации в процессе производства монокристаллов // XII Міжнародна науково-технічна конференція “Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об’єктів”. 2013. С. 188–189. 2. *Орлов А.И.* Задачи оптимизации и нечеткие переменные. М.: Знание, 1980. 264 с. 3. *Борисов В.А.* Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. М.: Радио и связь, 1989. 304 с.

*Поступила в редколлегию 12.03.2015*

**Оксанич Ирина Григорьевна**, канд. техн. наук, доцент кафедры информационно-управляющих систем Кременчугского национального университета им. М. Остроградского. Научные интересы: информационные технологии в оперативном управлении производством. Адрес: Украина, Кременчуг, ул. Первомайская, 20, тел. кафедры (05366) 3-01-57, тел. (099)448-45-56.

**Рылова Наталья Викторовна**, старший преподаватель кафедры информационно-управляющих систем Кременчугского национального университета им. М. Остроградского. Научные интересы: управление в технических системах. Адрес: Украина, Кременчуг, ул. Воинов-Интернационалистов, д. 4, кв. 22, контактные телефоны: (05366)4-18-70, (068)-439-12-05.

## ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕКСПРЕСНОЇ МЕТОДИКИ І АПАРАТУРИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВЕЛИКОЇ ПЛОЩІ

Розвивається методика розв'язання задачі автоматизованого експресного формування масиву даних електричних параметрів сонячних елементів великої площі на ідеалізованих структурах  $\text{Al/n - Si/p - Si/p}^+ \text{ - Si/ITO}$ ,  $\text{Al/por - Si/n - Si/p - Si/p}^+ \text{ - Si/ITO}$ ,  $\text{Al/PcAl/por - Si/n - Si/p - Si/p}^+ \text{ - Si/ITO}$ ,  $\text{Cu/PcCu/por - Si/n - Si/p - Si/p}^+ \text{ - Si/ITO}$ ,  $\text{Cu/n - Si/p - Si/p}^+ \text{ - Si/ITO}$ ,  $\text{Cu/por - Si/n - Si/p - Si/p}^+ \text{ - Si/ITO}$ . Розробляється прямий аналітичний метод визначення електричних характеристик структур, за яким підвищення фотоструму ( $I_{ph}$ ) на 14 - 17 %, якості приладу ( $n$ ) на 2 %, фактора заповнення ( $ff$ ) на 3 % та зниження послідовного опору ( $R_s$ ) на 14 - 34 %, шунтуючого опору ( $R_{sh}$ ) на 8 - 16 % за умов формування антивідбиттєвого покриття на основі пористого кремнію на сонячному елементі.

### 1. Вступ

Контроль готових приладів сонячних елементів (СЕ) ставить перед собою ряд вимог щодо надійності та стабільності їх роботи, тобто швидкого визначення їх основних параметрів і відбраковки пристроїв, що не відповідають стандартам виробництва. Отже, розробка доцільних методик автоматизованого експресного формування масиву даних електричних характеристик СЕ великої площі надасть можливість гнучкого управління і контролю вихідних та діодних характеристик електричних параметрів СЕ. Зокрема, дозволить здійснювати незалежний контроль відповідності продукції встановленим вимогам і гарантує цю відповідність споживачу. А така функція відіграє важливу роль в технологічних основах виробництва приладів. Це стосується не тільки фотоелектричних перетворювачів, а і генераторів струму (ГС), батарей великої площі, фотоелектричних модулів при освітленні їх ксеноновими імпульсними випромінювачами на виробничому заводі або на експлуатуючих підприємствах [1].

Зазвичай для визначення вихідних і діодних характеристик СЕ треба провести вимірювання світлових і темнових ВАХ структур світлопоглинаючою стороною приладу за умов змінювання світлових характеристик при кожному вимірі інтенсивності світла імпульсною лампою. При цьому також потрібно контролювати температуру, інтенсивність освітлення, змінювати блок зразкових резисторів. Також слід звернути увагу на те, що перед початком роботи зі схемою треба проюстувати прилад з еталонним зразком. Усі ці операції потребують автоматизації процесу і застосування принципів мікроконтролерного керування, що у свою чергу потребує формування інформаційних зв'язків передачі вхідних і вихідних даних – аналогових і цифрових сигналів.

Деякі методи розрахунків електричних параметрів нескладні в застосуванні на портативних приладах, але вони обмежені в розрахунках кількома параметрами визначення, можуть розраховувати тільки СЕ малих розмірів і мають досить великі похибки вимірів від 2 до 10 % за всією поверхнею СЕ [2]. Це пов'язано із неоднорідністю характеристик по пластині внаслідок дії навколишнього середовища. Тому при інтерпретації результатів отримують неточні дані, що неприпустимо застосовувати у виробничих умовах, де якість приладу повинна бути постійною при всьому гарантійному терміні використання СЕ. Таким чином, визначення послідовного і шунтуючого опорів ( $R_s$  і  $R_{sh}$ ), фактора заповнення ( $ff$ ), струму навантаження ( $I_0$ ), струму короткого замикання ( $I_{sc}$ ), напруги холостого ходу ( $U_{oc}$ ) і

максимальної потужності ( $P_m$ ) потребує більшої точності розрахунків для отримання достовірної інформації.

Як відомо, якість приладу визначається втратами потужності у реальному сонячному елементі, які у свою чергу утворюються внаслідок підвищення послідовного і зниження шунтуючих опорів ( $R_s$  і  $R_{sh}$ ), оскільки поряд із фіксованими параметрами (щільність струму насичення  $J_s$ , фотострум  $I_{ph}$ , струм навантаження  $I_0$ ), що згідно з однодіодною моделлю СЕ входять у формулу розрахунку світлової ВАХ СЕ, послідовний і шунтуючий опори значно впливають на форму ВАХ і ефективність перетворення сонячного випромінювання. Послідовний опір  $R_s$  складається з перехідних опорів метал – напівпровідник, об'ємних опорів кожної з p- і n-областей СЕ, послідовно включених опорів контактних шарів, а шунтуючий опір  $R_{sh}$  – зі струмів витоку через неідеальний p-n перехід і домішок в області переходу. При цьому велике значення  $R_s$  зменшує  $I_{sc}$ , тоді як мала величина  $R_{sh}$  зменшує  $U_{oc}$ . Так, для зменшення до 3 % долі втрат СЕ  $R_s$  квадратного сантиметра площі не повинен перевищувати 0,5 Ом за умов  $I_{sc} = 40 \text{ mA/cm}^2$  і  $U_{oc} = 0,6 \text{ В}$ , а  $R_{sh}$  повинен бути більшим за 500 Ом за тими ж умовами [3]. Таким чином, важливість розробки методу розрахунку послідовного опору  $R_s$  і шунтуючого опору  $R_{sh}$  є суттєвою для структур СЕ та реєстрації експресними методиками.

В літературних джерелах для аналізу послідовного опору існує два основних напрямки:

1. Подання пристрою у вигляді електричного ланцюга, що складається з послідовно з'єднаних елементів – резистивної частини (розподіленого еквівалента резистивних втрат) і генеруючої частини з фотовольтаїчних p-n переходів.

2. Моделювання еквівалентної схеми, що має багато ланок (чарунок) або їх комбінацію.

Для розрахунку даних параметрів застосовують різні моделі розподіленого опору, який здійснюють аналітичними та чисельними методами, хоча рішення задач в аналітичному вигляді є більш корисними для одномірних випадків і потребують розвитку. До них відносяться визначення послідовного опору з використанням: похідної від напруги по струму, трьох навантажувальних опорів, коефіцієнта заповнення, кутів нахилу його ВАХ до осей координат, максимуму залежності ефективності від кратності концентрації сонячного випромінювання, а також отримання параметрів СЕ з використанням: площ під ВАХ і графіком потужності СЕ, розкладання рівняння в ряд Тейлора [4,5]. Постає питання про точність похибок даних методів розрахунку.

Враховуючи сказане, виникає нагальна потреба в ефективному автоматизованому вимірювальному комплексі з виводом даних через USB в зв'язку з середовищем програмування LabVIEW.

## 2. Постановка задачі

*Мета роботи.* Розробка методики розв'язання задачі автоматизованого експресного формування масиву даних прямим аналітичним методом визначення електричних характеристик сонячних елементів великої площі і розрахунок на ідеалізованих структурах:

$$\text{Al/n - Si/p - Si/p}^+ \text{ - Si/ITO}, \text{ Al/por - Si/n - Si/p - Si/p}^+ \text{ - Si/ITO},$$

$$\text{Al/PcAl/por - Si/n - Si/p - Si/p}^+ \text{ - Si/ITO}, \text{ Cu/PcCu/por - Si/n - Si/p - Si/p}^+ \text{ - Si/ITO},$$

$$\text{Cu/n - Si/p - Si/p}^+ \text{ - Si/ITO}, \text{ Cu/por - Si/n - Si/p - Si/p}^+ \text{ - Si/ITO}.$$

**Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:**

– вдосконалити методи визначення електричних параметрів: шунтуючого і послідовного опорів ( $R_s$ ,  $R_{sh}$ ), щільності струму насичення  $J_s$  і фактора якості  $n$  кремнієвого СЕ;

– створити методику, на базі якої розробити структурну схему автоматизованого вимірювального пристрою визначення світлових і електричних характеристик СЕ великої площі;

– оцінити похибку розрахунку між існуючими методиками визначення параметрів СЕ і удосконаленими;

– розрахувати і провести аналіз параметрів ідеалізованих структур:

$$\begin{aligned} & \text{Al/n-Si/p-Si/p}^+ \text{-Si/ITO}, \text{ Al/por-Si/n-Si/p-Si/p}^+ \text{-Si/ITO}, \\ & \text{Al/PcAl/por-Si/n-Si/p-Si/p}^+ \text{-Si/ITO}, \text{ Cu/PcCu/por-Si/n-Si/p-Si/p}^+ \text{-Si/ITO}, \\ & \text{Cu/n-Si/p-Si/p}^+ \text{-Si/ITO}, \text{ Cu/por-Si/n-Si/p-Si/p}^+ \text{-Si/ITO}. \end{aligned}$$

### 3. Вдосконалення прямого аналітичного методу визначення електричних параметрів: шунтуючого і послідовного опорів ( $R_s$ , $R_{sh}$ ), щільності струму насичення $J_s$ і фактора якості $n$ кремнієвого СЕ.

Світлова ВАХ сонячного елемента, згідно з однодіодною моделлю сонячного елемента (рис. 1), описується за допомогою виразу:

$$I = I_{ph} - I_s \left[ \exp\left(\frac{U + IR_s}{n\phi_T}\right) - 1 \right] - \frac{U + IR_s}{R_{sh}}, \quad (1)$$

де  $I_0$  – струм, що тече скрізь навантаження;  $I_{ph}$  – величина генерованого фотоструму;  $\phi_T = \frac{kT}{e}$  – термічний потенціал;  $T$  – термодинамічна температура;  $e$  – модуль заряду електрона;  $k$  – постійна Больцмана;  $U$  – падіння напруги на навантаженні;  $I_s$  – величина струму насичення діода;  $R_s$  – послідовний опір;  $R_{sh}$  – паралельний (шунтуючий) опір.

На рис. 2 зображено загальний вигляд ВАХ сонячного елемента для ідеалізованого випадку.

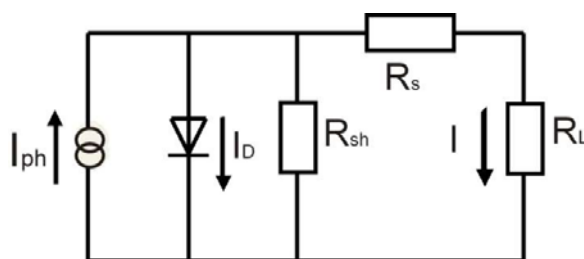


Рис. 1. Еквівалентна електрична схема СЕ

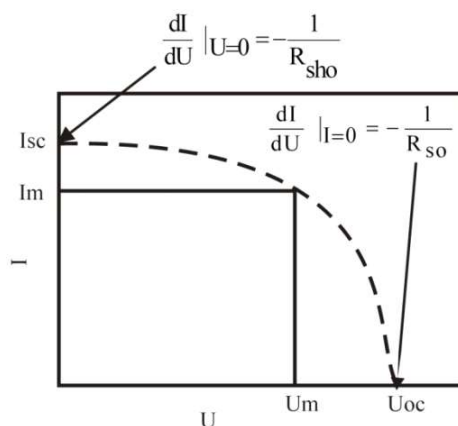


Рис. 2. ВАХ сонячного елемента

Встановлення зазначених вище параметрів ( $R_s$ ,  $R_{sh}$ ,  $J_s$ ) базується на точному визначенні місцеположень трьох точок експериментальної ВАХ, а саме: струму короткого замикання ( $I_{sc}$ ), напруги холостого ходу ( $U_{oc}$ ), максимальної потужності ( $P_m$ ) (див. рис. 2).

Знання інформації про розташування цих трьох точок на кривій дає можливість розрахувати динамічний опір в точці струму короткого замикання:

$$R_{sh0} = - \left( \frac{dU}{dI} \right)_{I=I_{SC}}, \quad (2)$$

динамічний опір в точці напруги холостого ходу:

$$R_{s0} = - \left( \frac{dU}{dI} \right)_{U=U_{C0}}, \quad (3)$$

максимальний струм ( $I_m$ ), максимальну напругу ( $U_m$ ), максимальну потужність:

$$P_m = I_m \cdot U_m, \quad (4)$$

коефіцієнт заповнення ВАХ:

$$ff = \frac{I_m U_m}{I_{sc} U_{oc}}. \quad (5)$$

Параметри, які описують ВАХ СЕ, можуть бути отримані за допомогою таких п'яти нелінійних рівнянь [6]:

$$I_s \exp \left[ \left( \frac{U_{oc}}{n\varphi_T} \right) - 1 \right] - I_s \exp \left[ \left( \frac{I_{sc} R_s}{n\varphi_T} \right) - 1 \right] - I_{sc} \left( \frac{R_{sh} + R_s}{R_{sh}} \right) + \frac{U_{oc}}{R_{sh}} = 0, \quad (6)$$

$$(R_{s0} - R_s) \left[ \frac{1}{R_{sh}} + I_s \frac{1}{n\varphi_T} \exp \left( \frac{U_{oc}}{n\varphi_T} \right) \right] - 1 = 0, \quad (7)$$

$$(R_{sh0} - R_s) \left[ \frac{1}{R_{sh}} + I_s \frac{1}{n\varphi_T} \exp \left( \frac{I_{sc} R_s}{n\varphi_T} \right) \right] - 1 = 0, \quad (8)$$

$$I_{sc} \left( \frac{R_{sh} + R_s}{R_{sh}} \right) - I_s \left[ \exp \left( \frac{U_{oc}}{n\varphi_T} \right) - \exp \left( \frac{I_{sc} R_s}{n\varphi_T} \right) \right] - \frac{U_{oc}}{R_{sh}} = 0, \quad (9)$$

$$I_{sc} \exp \left( \frac{U_{oc}}{n\varphi_T} \right) + \frac{U_{oc} - U_m}{R_{sh}} - I_{sc} \left( \frac{U_m + I_m R_s}{n\varphi_T} \right) - I_m \left( \frac{R_{sh} + R_s}{R_{sh}} \right) = 0. \quad (10)$$

Для зручності у записах скористаємось відповідними замінами:

$$\exp \left( \frac{U_{oc}}{n\varphi_T} \right) = a, \quad n\varphi_T = b, \quad \exp \left( \frac{I_{sc} R_s}{n\varphi_T} \right) = c, \quad \exp \left( \frac{U_m + I_m R_s}{n\varphi_T} \right) = d.$$

Вираз (8) після заміन набуде такого вигляду, відносно  $R_{sh}$ :

$$R_{sh} = \frac{b(R_{sh0} - R_s)}{b - cI_s(R_{sh0} - R_s)}. \quad (11)$$

У виразі (11) невідомим параметром є  $I_s$ , вираз для якого отримаємо з рівняння (7):

$$I_s = \frac{b}{a} \cdot \frac{R_{sh} - R_{s0} + R_s}{R_{sh}(R_{s0} - R_s)}. \quad (12)$$

Підставимо вираз (11) у вираз (12), звідки будемо мати:

$$I_s = \frac{\frac{b(R_{sh0} - R_s)}{b - cI_s(R_{sh0} - R_s)} - R_{s0} + R_s}{\frac{b(R_{sh0} - R_s)}{b - cI_s(R_{sh0} - R_s)} \cdot (R_{s0} - R_s)} \cdot \frac{b}{a} = \frac{b(R_{sh0} - R_s) - R_{s0}[b - cI_s(R_{sh0} - R_s)] + R_s[b - cI_s(R_{sh0} - R_s)]}{b(R_{sh0} - R_s)(R_{s0} - R_s)} \cdot \frac{b}{a}. \quad (13)$$

Після розкриття дужок та перекомпонування чисельника впливає:

$$I_s = \frac{\frac{c}{a} \cdot I_s (R_{sh0} - R_s)(R_{s0} - R_s) + \frac{b}{a} \cdot (R_{sh0} - R_{s0})}{(R_{sh0} - R_s)(R_{s0} - R_s)}. \quad (14)$$

Остаточно після заміни  $a, b, c$  рівняння (14) набуває такого вигляду:

$$I_s = 10^{-10} \cdot n\varphi_T \cdot \frac{(R_{sh0} - R_{s0})}{(R_{sh0} - R_s)(R_{s0} - R_s)} \cdot \frac{\exp\left(-\frac{U_{oc}}{n\varphi_T}\right)}{1 - \exp\left(\frac{I_{sc}R_s - U_{oc}}{n\varphi_T}\right)}. \quad (15)$$

У рівнянні (15) розрахунку підлягають  $n$  та  $R_s$ . Вираз для параметра  $n$  було одержано у роботі [7]:

$$n = \frac{U_m + R_{s0}I_m - U_{oc}}{\varphi_T \left[ \ln\left(I_{sc} - \frac{U_m - I_m}{R_{sh0}}\right) - \ln\left(I_{sc} - \frac{U_{oc}}{R_{sh}}\right) + \frac{I_m}{\left(I_{sc} - \frac{U_{oc}}{R_{sh0}}\right)} \right]}, \quad (16)$$

у якому розрахунку підлягає  $R_{sh}$ . Для цього використаємо вираз (11), який після підстановки рівняння (15) набуває такого вигляду:

$$R_{sh} = 50 \cdot \left[ 1 - \exp\left(\frac{I_{sc}R_s - U_{oc}}{n\varphi_T}\right) \right] \cdot \frac{(R_{sh0} - R_s)(R_{s0} - R_s)}{\exp\left(\frac{I_{sc}R_s - U_{oc}}{n\varphi_T}\right)(R_s - R_{sh0}) + (R_{s0} - R_s)}. \quad (17)$$

Де  $k_1 = 50$ .

Параметр  $R_s$  може бути визначений за допомогою рівняння (9), яке за допомогою використання (17) записується як

$$R_s = 0,01 \cdot \frac{R_{s0}(I_{sc}R_{sh0} - U_{oc}) + n\varphi_T(R_{sh0} - R_{s0})}{(I_{sc}R_{sh0} - U_{oc})}, \quad (18)$$

тут  $k_2 = 0,01$ .

Визначення фотоструму виконували згідно з формулою (19), що має вид

$$I - I_{ph} + I_s \left[ \exp\left(\frac{U + IR_s}{n\varphi_T}\right) - 1 \right] + \frac{U + IR_s}{R_{sh}} = \phi(I, U) = 0, \quad (19)$$

$$E_{ff} = 100 \cdot \frac{W_p}{(S \cdot E)}, \quad (20)$$

$S$  - площа сонячного елемента,  $m^2$ ;  $E_{ff}$  - ККД, %;  $W_p$  - пікова потужність елемента при  $25^\circ C$ , Вт.

#### 4. Побудова оптимального керування за умов контролю параметрів монокристалічних кремнієвих сонячних елементів

Для здійснення контролю за параметрами сонячних елементів із урахуванням зазначених вище розрахунків було розроблено експресну методику визначення параметрів СЕ, за якою визначені основні етапи її проведення:

1. *Вимірювання світлових характеристик (енергетичної освітленості і рівня освітленості) і температури навколишнього середовища.* За допомогою програми LabVIEW подається команда мікроконтролеру на вмикання блоку живлення БЖДС (блок живлення джерела струму). Даний прилад потрібний для роботи імпульсної лампи на еталонний і робочий світлоприймачі через LC-фільтр нижніх частот. Його використовують як розряд-

ний ланцюг джерела постійного струму при роботі з блоком зразкових резисторів. Також при плавній зміні значень реостату регулюються характеристики енергетичної освітленості лампи від 1,0 до 2000 Вт/м<sup>2</sup> і рівня освітленості, що вимірюються радіометром та люксометром відповідно. Вони підключені до відповідних входів пристрою збору баз даних (ПЗБД). Далі сигнал від мікроконтролера подається у вікно програми ПК.

Крім визначення освітленості і його рівня, в камері встановлений датчик температури. Прилад контролює температуру навколишнього середовища і заносить відповідні значення до ПЗБД. До вимог проведення експерименту при температурах, нижчих від температури повітря, для зменшення конденсації вологи на активних поверхнях еталонного і контрольованого елементів майже всю автоматизовану установку, крім електронної частини, поміщають у вакуумну камеру або камеру потоку сухого азота. Це дуже зручно, тому що її можливо використовувати при легуванні додаткових контактних систем з РсСu, що передбачається при створенні модернізованих СЕ.

2. *Підготовка зразків СЕ.* Зразок СЕ або фотоелектричний модуль закріплено на термостатичний столик, який забезпечує гарний тепловий контакт із поверхнею та опромінюється імпульсною лампою (ІЛ), яка розташована на такій довжині, на якій забезпечується інтенсивність опромінення ФЕП один АМО. По поверхні зразка вільно пересуваються еталонний і робочий світлоприймачі.

3. *Вимірювання ВАХ СЕ.* З програми персонального комп'ютера через мікроконтролер і навантажувальний електронний блок (НЕБ) виконується команда на встановлення мінімальних опорів навантаження через блок зразкових резисторів (БЗР) і при подальшому підвищенні опору навантаження від мінімальних до максимальних значень в ПЗБД через аналогові і цифрові вводи-виводи вносяться показання вольтметра (напруга на навантаженні  $U$ ) і амперметра (струм навантаження  $I$ ). При цьому зміна опорів навантаження  $R$  виникає таким чином, щоб напруга змінювалась в межах  $1 \pm 0,1V$ .

4. *Розрахунок параметрів СЕ в програмному середовищі LabVIEW.* Управління роботою ЦАП і АЦП здійснюється за допомогою мікроконтролера, який формує сигнал управління на навантажувальний електронний блок і LC-фільтр нижніх частот. Також зв'язок між мікроконтролером і персональним комп'ютером здійснюється через інтерфейс USB. При цьому персональний комп'ютер призначений для обчислення таких характеристик СЕ і занесення в масив даних вікна розрахунків методики розв'язання задачі автоматизованого експресного формування даних:

- шунтуючого опору  $R_{sh}$  за формулою (17);
- послідовного опору  $R_s$  за формулою (18);
- фактора заповнення  $ff$  за формулою (5);
- щільності струму насичення  $J_s$  за формулою (15);
- фактора якості  $n$  за формулою (16);
- фотоструму  $I_{ph}$  за формулою (19);
- ККД СЕ за формулою (20).

Програмою визначені потужності  $P$ , що віддає СЕ в навантаження. Побудовані вольтамперні і навантажувальні характеристики СЕ і знайдено струм максимальної потужності (з графіка вольтамперної характеристики) і напруга максимальної потужності (з графіка навантажувальної характеристики).

Структурна схема автоматизованого пристрою зображена на рис. 3, на якому імпульсна лампа розміщена в закритому контейнері, а на задній стінці перед лампою встановлені відбивачі світла з дзеркал. На передній стінці сформовано прямокутне світлове вікно, крізь яке перпендикулярно до поверхні ФЕП направлено світловий пучок.

Пристрій збору баз даних є вимірювальним блоком, який включає синхронізовані канали аналогового і цифрового вводу-виводу сигналів (AI, AO, DIO). Вони спрягаються з одним або групою досліджуваних об'єктів (еталонного і зразкового елементів) та ПЕОМ. Також містять цифроаналогові перетворювачі (ЦАП), вихід яких через аналогову шину даних підключений до робочого і еталонного світлоприймача, комутатора блоку зразкових резисторів. Аналогово – цифровий перетворювач (АЦП) перетворює в цифровий код значення температурного датчика, радіометра, люксометра.

До відповідних входів ПЗБД підключені вихід ФЕП, датчика температури, люксметра, радіометра, блоку зразкових резисторів, еталонного і робочого світлоприймачів. Дані прилади вільно переміщуються по площі поверхні ФЕП, що забезпечує надійність вимірювань фотоелектричних модулів і батарей та СЕ великої площі. Вихід ПЗБД з'єднаний із входами контролера LC-фільтра, персональним комп'ютером, навантажувальним електронним блоком.

Крім LC-фільтра нижніх частот не менше п'ятнадцятого порядку як розрядний ланцюг джерела постійного струму можна використовувати накопичувальне зарядно-розрядне джерело постійного струму.

Перевагами даної схеми серед відомих слід назвати спрощення управління процесу вимірювання, зменшення часу та похибок вимірювання значень напруги і струму, підвищення рівномірності опромінення площі ФЕП. Розглядаючи дані переваги більш детально, треба зауважити, що під спрощенням процесу управління мається на увазі вимірювання значень струму і напруги за час імпульсу горіння лампи 3 мс, включаючи визначення струму короткого замикання і напруги холостого ходу. Також до позитивних сторін відноситься зменшення похибок вимірювання струмів ФЕП. Це пов'язано з коригуванням результатів вимірювань, згідно зі значеннями інтенсивності опромінення і температурою в кожній точці світлового імпульсу. Також підвищується рівномірність опромінення контрольного ФЕП за рахунок оптимізації світлового концентратора, що пояснюється установкою відбивачів, матеріалом яких є дзеркальна поверхня в закритому контейнері із імпульсною лампою.

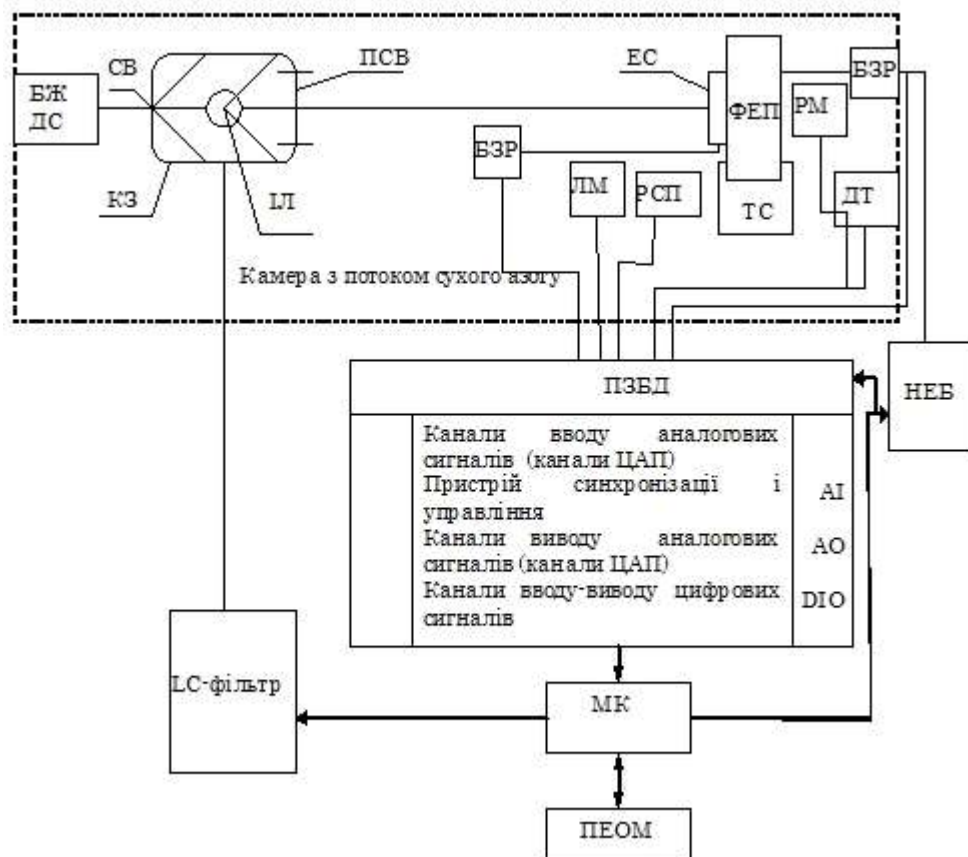


Рис. 3. Структурна схема автоматизованого пристрою для вимірювання параметрів ФЕП: СВ – світловідбивачі; КЗ – контейнер, що закривається; ЛЛ – імпульсна лампа; ПСВ – прямокутне світлове вікно; ЕС – еталонний світлоприймач; ПЗБД – пристрій збору баз даних; НЕБ – навантажувальний електронний блок; РСР – робочий світлоприймач; ПЕОМ – персональна електронна обчислювальна машина; МК – мікроконтроллер; БЖДС – блок живлення джерела світла; ЛМ – люксметр; РМ – радіометр; ТС – термостатуючий столик; БЗР – блок зразкових резисторів

### 5. Розрахунок вихідних і діодних параметрів СЕ ВАХ ідеалізованих структур

Al/n-Si/p-Si/p<sup>+</sup>-Si/ITO, Al/por-Si/n-Si/p-Si/p<sup>+</sup>-Si/ITO, Al/PcAl/por-Si/n-Si/p-Si/p<sup>+</sup>-Si/ITO, Cu/PcCu/por-Si/n-Si/p-Si/p<sup>+</sup>-Si/ITO, Cu/n-Si/p-Si/p<sup>+</sup>-Si/ITO, Cu/por-Si/n-Si/p-Si/p<sup>+</sup>-Si/ITO

Окрім визначення розрахункових параметрів на зразках ФЕП, відомих з літературних джерел в роботі були отримані результати досліджуваних структур ФЕП за шістью серіями:

1. Монокристалічні кремнійові ФЕП з 2П-образною контактною системою з Al.
2. Монокристалічні кремнійові ФЕП з 2П-образною контактною системою з Al і антивідбитевим шаром ПК.
3. Монокристалічні кремнійові ФЕП з 2П-образною контактною системою з Cu.
4. Монокристалічні кремнійові ФЕП з 2П-образною контактною системою з Cu і антивідбитевим шаром ПК.
5. Монокристалічні кремнійові ФЕП з 2П-образною контактною системою з Cu і додатковим контактним шаром на антивідбитевому покритті (нанокомпозит ПК/PcCu).
6. Монокристалічні кремнійові ФЕП з 2П-образною контактною системою з Al і додатковим контактним шаром на антивідбитевому покритті (нанокомпозит ПК/PcAl).

Так, при температурі  $T = 18^\circ\text{C}$  та рівні освітленості  $1000 \text{ Вт/м}^2$  були отримані ВАХ кремнійових СЕ з ПК товщиною 130 нм і пористістю 50 % та без ПК, що були виміряні на зразках з площею  $3\text{Ч}1,7 \text{ мм}^2$  (рис. 4). Також при таких же умовах на автоматизованій установці проходили вимірювання ВАХ зразки монокристалічних кремнійових ФЕП з контактним шаром на антивідбитевому покритті з наноккомпозитів ПК/PcCu і ПК/PcAl.

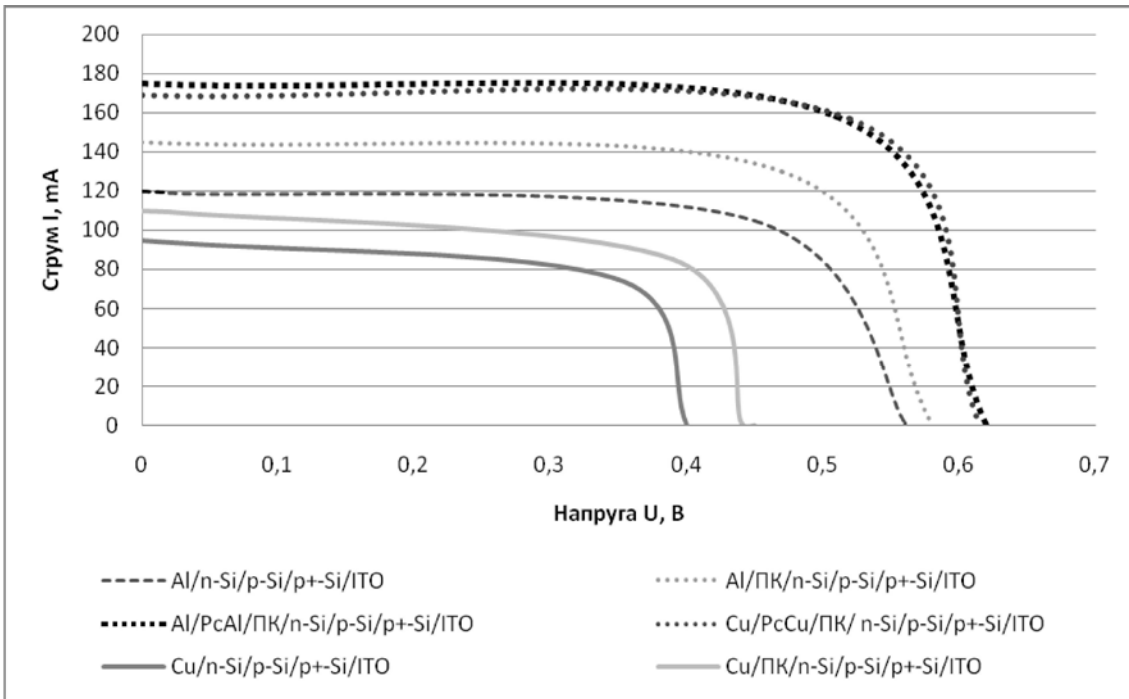


Рис. 4. Вольт-амперні характеристики кремнійових СЕ

Виходячи з експериментальних даних ВАХ, отриманих на структурах ФЕП, а також методик визначення електричних параметрів, запропонованих нами, за допомогою автоматизованої схеми були внесені дані та розраховані діодні і вихідні характеристики приладів (табл. 1, 2).

Таблиця 1  
Вихідні і діодні характеристики СЕ за серіями структур

Тип СЕ	Al/n-Si/p-Si/p <sup>+</sup> -Si/ITO	Al/por-Si/n-Si/p-Si/p <sup>+</sup> -Si/ITO	Al/PcAl/por-Si/n-Si/p-Si/p <sup>+</sup> -Si/ITO	u/PcCu/por-Si/n-Si/p-Si/p <sup>+</sup> -Si/ITO	Cu/n-Si/p-Si/p <sup>+</sup> -Si/ITO	Cu/por-Si/n-Si/p-Si/p <sup>+</sup> -Si/ITO	
Номер серії СЕ	1	2	3	4	5	6	
Вихідні параметри	U <sub>oc</sub> , мВ	560	580	620	615	400	450
	I <sub>sc</sub> , мА	120	145	175	169	95	110
	I <sub>m</sub> , мА	105	130	158	157	75	85
	U <sub>m</sub> , мВ	450	470	510	520	350	390
	I <sub>m</sub> , від. од.	0,71	0,73	0,74	0,79	0,691	0,6697
	η, %	9,26	11,9	15,8	16,01	5,15	6,5
	P, мВт	47250	61100	80580	81640	28500	36550
Динамічні діодні характеристики	R <sub>so</sub> , Ом	0,09612	0,04523	0,01904	0,015853	0,04523	0,04523
	R <sub>sho</sub> , Ом	65,766	60,0613	60,0613	54,81616	60,0613	60,0613

Таблиця 2  
Розраховані діодні характеристики СЕ за аналітичним методом

№ п/п	Тип структури	Фактор якості СЕ, n	Шунтуючий опір R <sub>sh</sub> , Ом	Щільність струму насичення J <sub>s</sub> , А	Фактор заповнення, ff	Послідовний опір R <sub>s</sub> , Ом	Фотострум I <sub>ph</sub> , А
1	Al/n-Si/p-Si/p <sup>+</sup> -Si/ITO	4,23	612,95	2,098•10 <sup>-11</sup>	0,70313	0,432	0,12008
2	Al/por-Si/n-Si/p-Si/p <sup>+</sup> -Si/ITO	4,33	567,74	1,143•10 <sup>-11</sup>	0,72652	0,3221	0,14508
3	Al/PcAl/por-Si/n-Si/p-Si/p <sup>+</sup> -Si/ITO	4,47	586,93	2,805•10 <sup>-12</sup>	0,7427	0,247	0,1751
4	Cu/PcCu/por-Si/n-Si/p-Si/p <sup>+</sup> -Si/ITO	3,74	903,24	3,284•10 <sup>-12</sup>	0,7855	0,2535	0,16905
5	Cu/n-Si/p-Si/p <sup>+</sup> -Si/ITO	2,2	1219,48	1,002•10 <sup>-8</sup>	0,69079	0,4694	0,09504
6	Cu/por-Si/n-Si/p-Si/p <sup>+</sup> -Si/ITO	2,72	1047,101	1,572•10 <sup>-9</sup>	0,6697	0,4108	0,11004

Струм насичення розрахований на площу СЕ і представлений як щільність струму насичення J<sub>s</sub>. Завдяки удосконаленню конструкції СЕ було досягнуто поліпшення вихідних і діодних параметрів ФЕП, що розраховані прямим аналітичним методом. Так, фотоперетворювач з основним контактом із Al, на поверхні якого сформовано АВП з ПК, відносно СЕ без АВП має підвищення I<sub>ph</sub> на 17 %, n прилада на 2 %, ff на 3 %. При цьому знижені R<sub>s</sub> на 34 %, R<sub>sh</sub> на 8 %. Для приладів з основним контактом із Cu, на поверхні якого сформовано АВП з ПК, відносно СЕ без АВП покращуються в бік збільшення I<sub>ph</sub> на 13 %, n прилада на 19 %, ff на 3 %. Також знижуються такі характеристики: R<sub>s</sub> на 14 %, R<sub>sh</sub> на 16 %.

При створенні на поверхні додаткової контактної мережі з Al були удосконалені такі параметри:

– підвищено характеристики -  $I_{ph}$  на 17 %,  $n$  SE на 3 %,  $R_{sh}$  на 3 %,  $ff$  на 2 %.

– знижено характеристики -  $R_s$  на 30 %.

Для структур SE, що мають на поверхні додаткову контактну мережу з Cu спостерігались покращення  $I_{ph}$  на 34 %,  $ff$  на 14 %. Також знизилась  $n$  SE на 37 %,  $R_s$  на 62 %,  $R_{sh}$  на 15 %.

## 6. Оцінка похибок розрахунків

Для оцінки похибок результатів вимірювання було порівняно значення вдосконаленого методу з іншими методиками визначення даних характеристик. При цьому найбільш точним, згідно з літературними джерелами, виявився метод, заснований на застосуванні кутів нахилу ВАХ до осей координат [4].

Результати визначення похибки вимірювань для послідовного і шунтуючого опорів порівнювались для структури Al/n-Si/p-Si/p<sup>+</sup>-Si/ITO за табл. 3.

Таблиця 3

Порівняння похибок вимірювання опорів за способами

Параметр	Аналітичний метод	Спосіб кутів нахилу ВАХ	Середнє значення, $R_p$	Абсолютне значення відхилення сер. знач., $\Delta R_p$
Послідовний опір	0,432	0,45	0,441	- 0,009
Шунтуючий опір	612,95	620	616,5	- 4,5

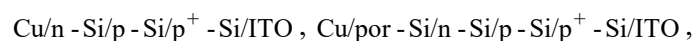
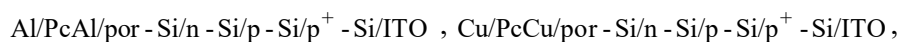
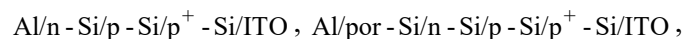
При визначенні послідовного опору абсолютне значення відхилення досить мале. Тому можна вважати, що різниці між результатами двох дослідів немає.

## 7. Висновки

1. Вдосконалено методику розв'язання задачі автоматизованого експресного формування масиву даних електричних параметрів сонячних елементів великої площі, яка відрізняється від існуючих тим, що має спрощену схему управління процесу вимірювання та зменшує час виміру однієї точки до 3 с і підвищує рівномірність опромінення площі ФЕП великого розміру за рахунок оптимізації світлового концентратора.

2. Вдосконалено прямий аналітичний метод визначення електричних параметрів SE: послідовного і шунтуючого опорів ( $R_s$  і  $R_{sh}$ ), щільності струму насичення  $J_s$  та фактору якості SE  $n$ , який відрізняється тим, що розрахунок проводився при наявності однієї ВАХ приладу, мінімальності додаткової інформації, точності при застосуванні ітераційних методів для запобігання циклічності результатів.

3. Уточнені наукові дані про стан змін електричних параметрів ідеалізованих сонячних елементів:



які підтверджують підвищення фотоструму ( $I_{ph}$ ) на 14 - 17 %, якості приладу ( $n$ ) на 2 %, фактора заповнення ( $ff$ ) на 3 % та зниження послідовного опору ( $R_s$ ) на 14 - 34 %, шунтуючого опору ( $R_{sh}$ ) на 8 - 16 % за умов формування антивідбиттєвого покриття на основі пористого кремнію на сонячному елементі. Також спостерігається підвищення фотоструму ( $I_{ph}$ ) на 17 - 34 %, якості приладу ( $n$ ) на 3 - 37 %, фактора заповнення ( $ff$ ) на 2 % і шунтуючого опору ( $R_{sh}$ ) на 15 % та зниження послідовного опору ( $R_s$ ) на 30 - 62 % при створенні додаткового контактного шару з PcCu або PcAl на структурах сонячних елементів.

**Список литературы:** 1. *Luque A., Hegedus S.* Handbook of photovoltaic science and engineering. New York: John Wiley & Sons, Ltd, 2010. 1132 p. 2. *Минтаилов М.А., Евстропов В.В., Калюжный Н.А., Минтаилов С.А., Шварц М.З., Тимошина Н.Х., Салий Р.А., Лантратов В.М.* Разностный способ получения темновой вольт-амперной характеристики и ее виды для остаточной (негенерирующей) части многопереходного солнечного элемента // Физика и техника полупроводников. 2014. Т. 48, № 5. С. 671 – 676. 3. *Фаренбух А., Бьюб Р.* Солнечные элементы: Теория и эксперимент/ Пер. с англ. Под ред. М. М. Колтуна. М.: Энергоатомиздат, 1987. 280 с. 4. *Коваль О. С., Тиванов М. С.* Определение параметров солнечного элемента их его световой вольт-амперной характеристики // Физика. Весник БГУ. 2012. Сер. 1., № 2. С. 39 – 44. 5. *Пикус Г. Е.* Основы теории полупроводниковых приборов. М.: Наука, 1965. 448 с. 6. *Phang J.C.H., Chan D.S.H., Philips J.R.* Accurate analytical method for the extraction of solar cell parameters // Electronics Letters. 1984. V.20, №10. P.406-408. 7. *Chan D.S.H., Philips J.R., Phang J.C.H.* A comparative study of extraction methods for solar cell model parameters // Solid-State Electronics. 1986. V. 29, №3. P.329-337.

*Надійшла до редколегії 14.03.2015*

**Швец Євген Якович**, канд. техн. наук., професор, в. о. ректора Запорізької державної інженерної академії. Наукові інтереси: методи дослідження параметрів сонячних елементів. Адреса: Україна, 69000, Запоріжжя, вул. Добролюбова, 22, тел.: (061) 2393987. Email: evgeniya-zubko@mail.ru

**Зубко Євгенія Іванівна**, пров. спец. кафедри мікроелектронних інформаційних систем Запорізької державної інженерної академії. Наукові інтереси: технологія виготовлення, дослідження і моделювання низькорозмірних структур для потреб фотовольтаїки і сенсорики, методи дослідження параметрів сонячних елементів. Адреса: Україна, 69000, Запоріжжя, вул. Добролюбова, 22, тел.: (061) 2393987. Email: evgeniya-zubko@mail.ru

## **ПЕРСОНАЛЬНИЙ ВІРТУАЛЬНИЙ КІБЕРКОМП'ЮТЕР ТА ІНФРАСТРУКТУРА АНАЛІЗУ КІБЕРПРОСТОРУ**

Наводяться результати держбюджетної науково-дослідної роботи (НДР) №0112U000209, мета якої – створення індивідуального та віртуального комп'ютера в кіберпросторі для виконання інтелектуальних транзакцій з даними і сервісами, орієнтованими на кожну людину. За завданням НДР проводиться аналіз стану проблеми, висвітлюються основні задачі та проблемні питання, означаються шляхи їх реалізації, наводиться характеристику основних наукових та практичних результатів роботи. Ключові слова: віртуальний кіберкомп'ютер, кіберфізична система, цифрові кубітні структури, моделювання, діагностування та ремонт цифрових систем, великі дані, мультипроцесор, векторно-логічний аналіз і простір, критерій якості, діагностування несправностей пам'яті, процес-модель.

### **Вступ**

Об'єкт дослідження – кіберпростір як сукупність взаємозв'язаних сервісів та даних, що доставляються користувачу.

Предмет дослідження: віртуальний персональний кіберкомп'ютер як новий тип інтелектуального інтерфейсу між кіберпростором та користувачем.

Методи дослідження – булева алгебра, векторно-асоціативна логіка, теорія множин, теорія графів, теорія цифрових автоматів – для побудови моделей тестування; логічний аналіз, теорія алгоритмів, методи проектування та моделювання цифрових систем – для синтезу тестів, структур даних і сервісного обслуговування; методи аналізу якості моделей та ефективності сервісного обслуговування цифрових систем – для досягнення заданої глибини пошуку дефектів запропонованими методами; internet of things, big data analytics, кубітні структури даних, квантові технології обчислення, моделі кіберфізичних систем – для управління даними.

Науково-практичним результатом, на одержання якого була спрямована НДР, є розробка та впровадження методів та моделей, орієнтованих на створення персонального віртуального кіберкомп'ютера та інфраструктури аналізу кіберпростору, який потенційно використовує всі структурні, обчислювальні та інтелектуальні потужності кіберпростору планети.

Перспективи розвитку віртуального комп'ютерінгу - створення метрики-семантичної моделі взаємодії технологічної культури big data з інтелектуальними сенсорами моніторингу реального світу для управління кіберфізичними процесами, підвищення якості життя людей і збереження екосистеми планети. Задачі аналізу джерел [1-4, 5-14, 16-18]: 1) Визначення актуальних ринково-орієнтованих напрямів науково-освітніх досліджень і дизрапторного розвитку кіберекосистеми планети. 2) Ринково орієнтовані структури кіберфізичних систем управління неприродними процесами. 3) Використання технологічної культури big data для створення кіберфізичних систем моніторингу та управління.

### **Ход дослідження та основні результати**

Наука - сфера людської діяльності, спрямована на процес збору та аналізу фактів для отримання об'єктивних знань про навколишню дійсність з метою прогнозування природних явищ та активного управління творчими процесами розвитку людства. Мета наукової діяльності - еволюційний перехід науки зі стадії пасивного моніторингу та аналізу до фази активного керування суспільними і кіберфізичними процесами для забезпечення якості життя людей і збереження екології планети.

Освіта - безперервний процес формування (духовної, фізичної, емоційної, інтелектуальної та професійної) культури людини шляхом придбання та накопичення загальнолюдських цінностей, знань, умінь і навичок за допомогою існуючої у часі і у просторі багаторівневої системи виховання і навчання, що має за мету придбання соціальної значущості кожним індивідуумом у творчому процесі розвитку людства, спрямованому на підвищення якості життя людей і збереження екосистеми планети. Дані визначення істотні для викладу

дослідження, яке спрямоване на раціональну зміну кіберфізичної екосистеми планети шляхом вилучення людини з управління неприродними процесами.

Індекси числа наукових публікацій [15] в IEEE Xplore формують модні тренди в напрямку створення кіберфізичної екосистеми: біотехнології (13907), нанотехнології (26176), Internet of Things (4200), Smart Everything (46439), Cloud Computing (19865), Big Data and Analytics (7709), Cyber Physical System (CPS) (2348), мобільні технології (220000) та соціальні мережі (19782), технології кіберзахисту (124917), штучний інтелект (149397). Цікавий також рейтинг посилань в IEEE Xplore для комп'ютерних напрямків ринку науково-освітніх послуг: Program Engineering (79783), Computer Engineering (196748), System Engineering (376614), Electronics - 566496), Social Engineering (10012), Radio Engineering (38546, 151094 - Radiosystems), Electronical Engineering (119856), Production Engineering (45293), Telecommunications (228278), Applied Mathematics (10034), Computer Science (181916), Media Devices and TV (28126), System Programming (159495), Computer Networks and Systems (44853), Internet (118157), Control Systems (563336), Computers (702123), Computer Science and Engineering (61369).

Проривними системо-утворюючими дизапторами для інвестицій часових, фінансових і людських ресурсів у найближчі 8 років будуть: 1) Crowd-sourcing / open-sourcing of hardware development (419240), 2) Changes in educational structure / design (MOOCs) (387777), 3) Virtual / alternative currencies (Bitcoin) (71), 4) Smartphone for payment (216), 5) Cloud computing (20291), 6) Robots as source of labor (281), 7) Nonvolatile memory influencing big data accessibility and portability (2308), 8) Quantum / nondeterministic computing (7653), 9) 3D printing (1335), 10) Green computing (5827), 11) New user interfaces (Siri, Kinect) (11051).

Кіберфізична система покликана зробити активною концепцію big data, розглядаючи великі дані у взаємодії з кіберсистемами (хмарами) управління, орієнтованими на пошук, розпізнавання і прийняття рішень. Структурний зміст CPS (рис. 1) - сукупність комунікаційно пов'язаних реальних і віртуальних компонентів з вираженими функціями адекватного фізичного цифрового моніторингу та оптимального хмарного комп'ютерного кіберуправління для забезпечення якості життя, продукції, процесів або сервісів у заданих умовах обмежень у часі і ресурсах. CPS включає компоненти: Cyber Control, Internet of Things або Cloud, Security, Intelligence, Big Data and Services, Digital Monitoring, Cyber Managing, Physical Smart Everything, Nature, Social, and Tech World. Регуляторні відношення (Relationship) між компонентами CPS формуються законами, статутами підприємств і організацій, морально-етичними правилами поведінки всередині соціальної групи. Напрямок руху RoadMap - Harmony of Human, Nature and Tech кіберфізичної системи людства можна визначити як досягнення такого інтегрального рівня розвитку кіберфізичних компонентів, який забезпечить гармонію життя людини з природою і технікою (створеним світом - Created World).



Рис. 1. Кіберфізична система управління неприродними процесами

Гармонія передбачає створення кіберінтелекту, який до 2050 року повинен позиціонуватися як мозок людства (Humanity Brain); цифрову ідентифікацію всіх фізичних процесів,

об'єктів і тривимірного простору за допомогою технологій Internet of Things, Smart Everything і Big Data.

Особливе значення тут набуває досить нова «частково рекламна» парадигма Big Data, для критики якої існує не менше фахівців, ніж тих, хто вважає її дизраптором або проривною технологією зберігання та аналізу даних ХХІ століття. На жаль, практично не існує точного визначення даного достатньо модного ринкового тренда.

Big Data - технологічна культура кіберпростору, спрямована на формування інфраструктури, що динамічно розвивається, кіберфізичної екосистеми планети шляхом метрики-семантичної структуризації великих потоків (обсягів) гетерогенних даних на основі використання інтелектуальних швидкодіючих спеціалізованих хмарних фільтрів паралельного моніторингу та метричного аналізу витягнутої інформації для online управління фізичними та віртуальними процесами.

При цьому можна виділити декілька принципів, що характеризують Big Data [5-14,16-18]:

- 1) Замість причинно-наслідкових зв'язків пропонується використовувати домінування кореляції інформаційних об'єктів.
- 2) Замість вибірки даних (максимум користі з мінімуму інформації) - пропонується використовувати повну множину матеріалів.
- 3) Замість зберігання даних - інноваційно декларується, що цінність даних полягає в рівні їх багаторазового або масового використання вчора, сьогодні і завтра для прогнозування та / або управління дійсністю.
- 4) Замість традиційних знань для розуміння минулого пропонується здобувати здатність прогнозувати майбутнє.
- 5) Замість структур даних з жорсткими зв'язками - адресна організація фізичних і віртуальних об'єктів і процесів.
- 6) Замість ручного введення даних - використання Інтернету як входу до кіберсистеми: smart everything + internet of everything.
- 7) Замість винесення даних за межі кіберпростору - використання як виходу кіберсистеми Інтернету і керуючих регуляторних впливів для cyber physical systems.
- 8) Замість технологій пасивного відображення реального та віртуального світу - кіберфізичні системи моніторингу та аналізу даних для управління фізичними та віртуальними процесами.
- 9) Замість універсальних та великовагових систем збору та аналізу інформації - спеціалізовані віртуальні паралельні мультипроцесори моніторингу та управління фізичними та віртуальними процесами.
- 10) Замість хаосу статичних даних і знань в кіберпросторі Інтернету - поступова семантична структуризація динамічних потоків великих даних кіберфізичних процесів і явищ для їх ефективного моніторингу, аналізу та управління.
- 11) Замість невпорядкованих даних, важких для розуміння і використання людиною або кіберсистемою - розумні, метрично ранжовані інформаційні структури, орієнтовані на прийняття оптимального рішення.
- 12) Замість відокремленого розвитку реального та віртуального просторів - поступове створення замкнутої кіберфізичної екосистеми планети для спільного гармонійного розвитку реального та віртуального світів. На додаток до матриці big data, що диференціює, можна ще додати зовсім унікальну характеристику VVVV: volume - велика розмірність даних; velocity - висока швидкодія надання сервісу; variety - потужна просторово-часова семантика і онтологія даних; veracity - висока валідність і точність корисної інформації.

Одним з можливих споживачів big data культури є CPS, яка орієнтована на заміну людини-менеджера кіберхмарними сервісами управління соціальними групами, біологічними, технічними та віртуальними об'єктами. Мета кіберфізичної системи - Human Long Life Quality - визначається якістю життя людства, соціальних груп і кожної людини в гармонії із зеленою планетою і штучним світом. Мета, як функціональний вихід CPS, залежить від точного цифрового моніторингу та оптимального кіберуправління віртуальними та фізичними ресурсами, що включають час, гроші, кадри і матеріали. Головною відмінністю масштабованої кіберфізичної системи є відсутність людського фактора в блоці управління (Cyber), що робить її, при конструктивній і гуманній законотворчості, справедливою, ефективною, оптимальною, надійною та захищеною від суб'єктивних помилок менеджера.

Ринковопривабливі глобальні проекти сьогодні виконуються під егідою об'єднання фізичного і віртуального простору в єдине ціле. Кібер-фізичний простір (Cyber Physical Space) - метрика телекомунікаційної взаємодії фізичних, біологічних і соціальних об'єктів, процесів і явищ з віртуальними або хмарними (комп'ютерними) технологіями моніторингу та управління на основі використання Internet of Things & Smart Everything для досягнення соціально значущих цілей. Він покликаний інтегрувати найбільш перспективні кіберфізичні техно-

логічні рішення: 1) Вбудований інтерфейс безпосереднього зв'язку мозку людини з комп'ютером та/або кіберпростором шляхом заміни послідовних мовних інтерфейсів на паралельні образні відношення. 2) Створення штучного інтелекту для самонавчання і самовдосконалення кіберфізичних структур, програм і процесів. 3) Нановирощування комп'ютера шляхом адитивного структурування атомів. 4) Найцікавіше рішення пов'язане з невідворотністю природної відмови людства від функцій управління біологічними, соціальними та технічними об'єктами і процесами на користь неупереджених кіберфізичних систем!

Дев'ять технічних лідерів IEEE Computer Society [15] об'єднали зусилля для прогнозування майбутнього планети, до якого включені 23 комп'ютерні технології 2022 року. Сформована кібермода на найближчі 8 років: 3D printing, big data and analytics, open intellectual property movement, massively online open courses, security cross-cutting issues, universal memory, 3D integrated circuits, photonics, cloud computing, computational biology and bioinformatics, device and nanotechnology, sustainability, high-performance computing, internet of things, life sciences, machine learning and intelligent systems, natural user interfaces, computer vision and pattern recognition, networking and interconnectivity, quantum computing, software-defined networks, multicore, and robotics for medical care.

Як підсумок сказаному вище можна констатувати, що кіберфізичні системи, великі дані і квантоподібні паралельні мультипроцесори формують сегмент ринку, призначений для пошуку, розпізнавання та прийняття ефективних управлінських рішень.

Пропонується big data driven кіберфізична система (рис. 2) online управління фізичними та/або віртуальними процесами, інваріантними по відношенню до сфер людської діяльності.

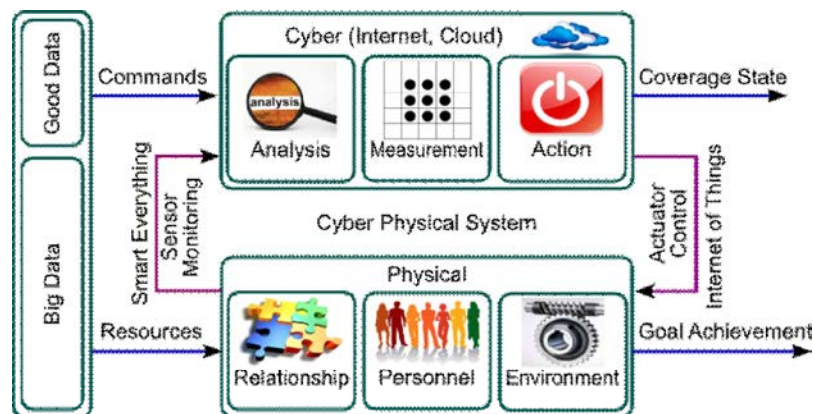


Рис. 2. Кіберфізична система управління процесами

Окремі задачі, які позиціонуються як процеси, визначені в часі і просторі, можна сформулювати у вигляді такого списку: 1) цілевказування при стрільбі, коли мішень управляє ракетою; 2) пошук контенту за ключовими словами, які ототожнюються з булевими примітивами; 3) управління світлофором з боку машин, які формують в online-режимі матрицю актюатора; 4) навчальний план управляє освітнім процесом студента; 5) злітно-посадкова смуга керує посадкою літака; маршрут транспортного засобу керує його пересуванням; 6) roadmap, відносини і розумні сенсори керують соціальними інститутами, виробничими підприємствами і компаніями.

Представлена big data driven кіберфізична система управління фізичними процесами має інноваційні відмінності від існуючих рішень: 1) матричне подання мети, процесу, маршруту руху, компетенцій об'єктів і суб'єктів; 2) online виконання всіх процесів; 3) використання нецифрової булеан-метрики для структурного і скалярного оцінювання процесів і явищ; 4) використання метричного дискретного булевого простору для ідентифікації процесів і явищ, застосування big data технологічної культури для організації та активного управління кіберфізичними процесами; 5) кіберсистемне управління процесами на основі жорсткої взаємодії виконавчого та керуючого механізмів, сенсорів і актюаторів.

Взаємодія інтелектуальних засобів (фільтрів) управління та big data в рамках кіберфізичної системи фільтрів пошуку корисної інформації подібна до процесу видобутку золота з піску за допомогою драги, налаштованої на виділення важкого металу, коли легкі фракції вимиваються водою. Слід зауважити, що баланс екосистеми не порушується, а здобуте золото залишається на планеті, тільки в строго визначеному місці. Аналогічні процеси протікають і в кіберекосистемі планети, коли з хаосу кіберпростору важкою працею розумних фільтрів видобувається корисна інформація, щоб її потім покласти в осередок вже структурованої частини кіберпростору, яка стає reusable і може бути легко доступна всім бажаним. Людство прагне порядку і структуризації, але воно також відповідальне за сміття і хаос в кіберпросторі, обсяги якого ще більшою мірою підпорядковуються закону Мура. Кожні 2 роки інформація подвоюється, а до 2020 року її обсяг складе 40 зеттабайт. Тому процес упорядкування інформації завжди буде відставати від мусоризації кіберпростору. Сьогодні людство фільтрує і використовує близько 0,4 відсотка вже корисної інформації. Далі не буде більше. Це означає, що в найближчі 100 років актуальність технологічної культури big data для створення «правильної» інфраструктури кіберпростору буде тільки зростати. Прогнозується, що фінансові і кадрові інвестиції для створення інфраструктури кіберекосистеми до 2020 року зростуть на 40%. Інвестиції в збереження та захист інформації, Big Data і Cloud Computing будуть зростати значно швидше.

Сьогодні більше 60% компаній роблять інвестиції в технології Big Data, Cloud Services та аналітичні продукти, щоб мати big data-driven кіберуправління кадровими та матеріальними ресурсами. Понад 60% компаній у світі, за оцінками журналу «Форбс» готові купити програмні системи управління ресурсами. Компанії замотивовані сімома аргументами: продукти дорослішають і розумнішають, їх стає легко купити, з'явився зручний користувальницький інтерфейс, системи здатні інтегрувати численні програмні засоби компанії, Big Data реально дозволяє управляти кадрами - шляхом playing "Moneyball" with their people data, хмарні технології дозволяють легко перемикатися на нові сервіси управління кадрами, а талант став назавжди стратегічним товаром і головним питанням кожного керівника. Людський капітал, за оцінкою журналу «Форбс», має індекс важливості для вирішення проблем компанії, організації, держави - 2,44; управління і виконання операцій 2,10; інновації 1,99; решта 7 мають індекси: відносини зі споживачами 1,72; глобальна політика 1,68; урядове регулювання 1,55; глобальна експансія 1,31; корпоративний бренд і репутація 0,92; стійкість 0,82 і віра в бізнес 0,46. Дуалізм управління на основі Big Data і Cloud Services включає: 1) детермінізм - технології (правильні дані) керують нами і 2) волюнтаризм - ми керуємо технологіями. Обидва варіанти в своєму комплексному розвитку призводять ринок хмарних технологій управління до детермінізму на основі використання концепції кіберфізичних систем, де фігурують величезні масиви даних, не завжди достовірної інформації. Але розумна аналітика движків по Big Data просторам повинна навчитися формувати правильне рішення. Leon Trotsky: "Tell me anyway - maybe I can find the truth by comparing the lies". Скажи мені, що ти думаєш, в будь-якій формі, а я зумію знайти правду порівнянням навіть неправдивих висловлювань. За даними журналу «Форбс» технологія Big Data згенерує в 2015 році 3,7 трильйона прибутку в продуктах і сервісах, що означає появу на ринку 4,4 мільйона нових робочих місць. Якщо врахувати, що у всіх компаніях світу заробітна плата становить 40% доходів, то управління персоналом та ресурсами сьогодні є найважливіша проблема бізнесу. Головний висновок із сказаного - людство настільки геніальне і одночасно недосконале, що воно не може об'єктивно керувати самим собою! Людина геніальна у творчості і бездарна у самоврядуванні. Таким чином, світовий ринок безальтернативно приходиться до необхідності використання кіберхмарного управління ресурсами і кадрами без участі людини, але на основі витягу правильних даних з кіберінформаційного «сміття».

Мета ринкового бренду big data - вирощування в кіберпросторі культурного шару інфраструктури метрико-семантично впорядкованої легко доступної корисної reusable інформації за рахунок розробки віртуальних хмарних сервісів на основі паралельних мультипроцесорів, що виконують роль швидкодіючих інтелектуальних фільтрів при пошуку, розпізнаванні та прийнятті рішень.

Задачі технологічної культури big data:

1) Зберігання неструктурованої різномірної інформації в надійних розподілених системах, що обслуговуються Nanoop-сервісами.

2) Аналіз big data в реальному часі за допомогою низькорівневих паралельних інтелектуальних швидкодіючих процесорів середовища Map-Reduce, поміщених в хмарні сервіси.

3) Створення нових метрик вимірювання відстаней між процесами та явищами в кіберпросторі для побудови швидкодіючих метрико-семантичних фільтрів пошуку корисної інформації.

4) Розробка і впровадження інфраструктурних рішень для кіберпростору з метою компактного зберігання і швидкого семантико-метричного витягу корисної класифікованої інформації за допомогою хмарних сервісів і спеціалізованих процесорів.

5) Створення типового шаблону кіберфізичної системи управління big data analytics, що використовує структури хмарних фільтрів для вилучення корисної інформації з великих обсягів неструктурованих даних з метою отримання прибутку шляхом big-data-driven управління фізичними та віртуальними процесами.

6) Побудова масштабованої кіберінформаційної системи масової метрико-семантичної переробки в реальному масштабі часу великих обсягів даних в корисну структуровану інформацію, що використовується для управління фізичним світом.

7) Розробка big data-driven аналітичної кіберфізичної системи прогнозування (планування) та управління неприродними (соціальними) процесами та явищами (катаклізмами) шляхом точного і вичерпного моніторингу громадської думки для вироблення регуляторних інформаційних управляючих впливів з метою забезпечення якості життя соціальних груп та усунення конфліктів. Наприклад, при бажанні можновладців можна без фінансових і часових витрат усунути всі конфлікти в Україні шляхом законодавчого врахування інтересів усіх верств населення в часі і просторі на основі толерантного об'єднання історичних, мовних і національних культур. Курс будь-якої системи влади на перетин інтересів соціальних груп, що очевидно всім і не тільки знавцям математики, неодмінно призводить до порушення цілісності та / або загибелі державних утворень.

Структура кіберінформаційної системи (рис. 3) з сигналами моніторингу та управління містить компоненти: 1) «Big data - good data», які повинні прагнути процентного співвідношення 90:10. 2) Хмарні сервіси-фільтри, призначені для формування 10 відсотків структурованої, легко доступної, корисної і багаторазово затребуваної інформації. 3) Матеріальні та часові ресурси для трансформування кіберпростору в семантико-метричну інфраструктуру правильних даних. 4) Метрики класифікації та оцінювання інформаційних об'єктів, необхідні для створення фільтрів, аналізу big data і синтезу структур правильних даних. 5) Вектор стану кіберпростору, що визначає фактичне співвідношення між «big data і good data» в реальному часі. 6) Мета - досягнення високого рівня правильних даних (Good Data = PureData) по відношенню до «інформаційного сміття» - big data і подальшого використання вже метрико-семантично-структурованих даних для оптимального управління кіберфізичними процесами планети.

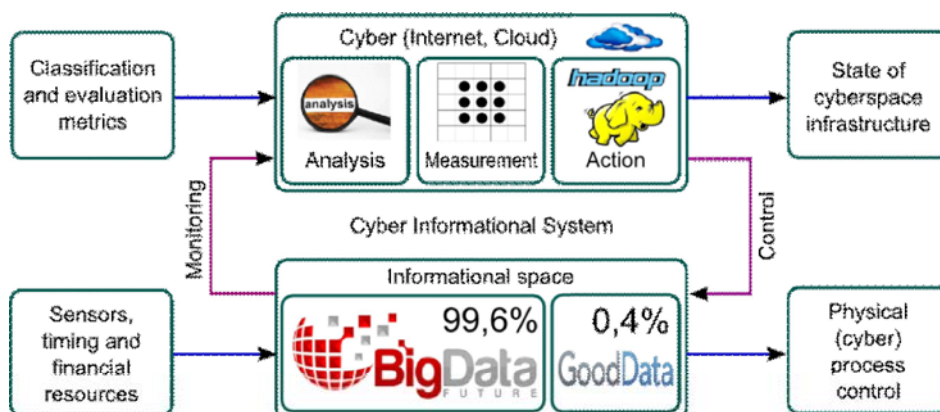


Рис. 3. Кіберінформаційна система трансформування big data

За оцінкою журналу «Форбс» сьогодні 36 відсотків компаній вкладають ресурси в технологічну культуру big data. Однак тільки 13 відсотків з них займаються прогнозуванням бізнесів у своєму сегменті ринку. Проте вже 16 відсотків компаній намагаються використо-

увати здобути з big data правильні дані для управління кіберфізичними процесами. Таким чином, можна зробити висновок, що на зміну статистичному аналізу даних за частковою представницькою вибіркою приходиться точний і повний аналіз великих даних за наперед заданою тематикою, де експертне формулювання проблеми є мистецтвом попадання в ціль.

## **Висновки**

Існуючі програмні продукти та публікації практично не пропонують асоціативно-логічних технологій пошуку, розпізнавання та прийняття рішень в дискретно інформаційному просторі [19], що складається з big data. Практично всі вони використовують універсальну систему команд сучасного кошового процесора з математичним співпроцесором. У той же час апаратні спеціалізовані засоби логічного аналізу, які є їх прототипами [16], як правило, орієнтовані на побітову або неекторну обробку інформації.

Запропонований новий підхід векторно-логічної обробки великих даних з повним виключенням арифметичних операцій, що впливають на швидкодію і апаратну складність, може бути ефективно реалізований на основі використання як сучасних мультипроцесорних цифрових систем на кристалах, так і віртуальних паралельних процесорів, що функціонують під егідою кіберфізичних систем або хмарних сервісів-фільтрів. Фактична реалізація підходу заснована на пропозиції інноваційних моделей і методів, які використовують ідею векторно-логічної метрики кіберпростору:

1. Метрика аналізу кіберпростору (big data) за допомогою віртуальних процесорів, яка характеризується використанням єдиної логічної хог-операції для визначення кібервідстані шляхом циклічного замикання не менше одного об'єкта, що дає можливість на порядок підвищити швидкодію аналізу big data і підрахунок нечисельних структурних критеріїв якості взаємодії інформаційних об'єктів на основі використання векторних логічних операцій для точного пошуку, розпізнавання образів і прийняття рішень.

2. Нова структурно-цифрова модель віртуального процесора для точного пошуку інформації, яка характеризується використанням векторних функцій належності запиту до інформаційних компонентів big data і подальшого їх порівняння для визначення мінімальної відстані, що дає можливість вибрати оптимальний розв'язок при істотному зменшенні часу пошуку за рахунок повного виключення арифметичних операцій.

3. Нова автоматна модель віртуального процесора, яка характеризується транзакційною взаємодією компонентів пам'яті, виконуючих роль комбінаційних і послідовних елементів, реалізованих у формі кубітних або «квантових» примітивів, що дає можливість створювати паралельні віртуальні комп'ютери для ефективного вирішення завдань аналізу big data без наявності арифметичних команд і забезпечувати високу швидкодію хмарно-орієнтованих процесорів. Удосконалене визначення адресно-автоматної моделі віртуального комп'ютера <MQT> як організація структури функціональних примітивів пам'яті без гальванічних або дровових зв'язків, на яких визначені адресні транзакції даних в часі і просторі для аналізу об'єктів у кіберпросторі big data. Запропоновано Q-метод синтезу обчислювальних пристроїв, який характеризується використанням векторно-кубітної форми компактного опису структурних компонентів, що дає можливість суттєво підвищити швидкодію адресно-орієнтованого моделювання логічних елементів і зменшити розмірність пам'яті для зберігання структур даних цифрового пристрою.

4. Нова кіберінформаційна модель аналізу big data, що використовує засоби хмарних сервісів, кіберфізичні системи, паралельні віртуальні мультипроцесори з мінімальним набором векторно-логічних операцій для точного пошуку інформації на основі запропонованої булеанової метрики і векторно-логічних критеріїв якості, що дає можливість поступової класифікації та впорядкування хаотичних даних big data в масштабах кіберекосистеми планети.

5. Практична значущість запропонованих моделей полягає в необхідності реструктуризації кіберпростору шляхом заміни концепції аморфних big data на семантично класифіковану інформаційну інфраструктуру корисних даних, призначених для управління кіберфізичними процесами. У зв'язку з цим запропоновано напрями формування технологічної культури big data для поступового підвищення рівня корисної інформації від 0,4 до 10% шляхом компетентнісної інфраструктуризації кіберпростору великих даних.

6. Нова модель векторно-логічного SIMD-мультипроцесора, який характеризується відсутністю арифметичних операцій, паралельним обчисленням відстані між запитом та інформаційними квантами, а також одночасним визначенням кращого з можливих  $n$ -рішень за мінімумом функції приналежності, що дає можливість на порядок підвищити швидкодню максимально точного пошуку даних в big data.

Основна інноваційна наукова та ринковоорієнтована ідея виконаного дослідження полягає в створенні структур даних, метриці, автомата і прототипу віртуального процесора для синтезу кіберфізичних систем: Smart Cloud Traffic Control, Smart Cyber University, Smart Big Data Analytics, які при їх функціонуванні вилучають присутність людини.

Майбутні дослідження спрямовані на проектування big data driven cyber physical systems, які орієнтовані на постійну метрико-семантичну реструктуризацію кіберпростору з метою зручного витягання знань, а також на перетворення соціальних відносин неприродного світу шляхом передачі управління від людини до хмарних сервісів.

Звіт про НДР містить 351 с., 61 рис., 17 табл., 32 лістинги, 120 джерел. Публікації: монографії 1, навчальні посібники та підручники 1, статті 40, тези 108, патенти 2.

**Список літератури:** 1. *Michael A. Nielsen & Isaac L. Chuang.* Quantum Computation and Quantum Information. Cambridge University Press. 2010. 676p. 2. *Stig Stenholm, Kalle-Antti Suominen.* Quantum approach to informatics. John Wiley & Sons, Inc., 2005. 249p. 3. *Горбатов В.А.* Основы дискретной математики. М.: Высшая школа. 1986. 311 с. 4. *Hahanov V.I., Litvinova E.I., Chumachenko S.V., Baghdadadi Ammar Awni Abbas, Eshetie Abebech, Mandefro.* Qubit Model for solving the coverage problem // Proc. of IEEE East-West Design and Test Symposium. IEEE. USA. Kharkov. 14-17 September 2012. P.142 - 144. 5. *Hasan Alkhatib, Paolo Faraboschi, Eitan Frachtenberg, Hironori Kasahara, Danny Lange, Phil Laplante, Arif Merchant, Dejan Milojicic, Karsten Schwan.* IEEE CS 2022 Report. IEEE Computer Society. 2014. 163 p. 6. [<http://www.tssonline.ru/articles2/fix-corp/rost-obema-informatsii—realii-tsfrovoy-vseleynoy#sthash.rpNodQLF.dpuf>] 7. *Mayer-Schunberger V.* Big Data: A Revolution that Will Transform How We Live, Work / V. Mayer-Schunberger, K. Cukie / Виктор Майер-Шенбергер, Кеннет Кукьер. Большие данные. Революция, которая изменит то, как мы живем, работаем и мыслим.— Изд-во: Манн, Иванов и Фербер. 2013. 240 с. 8. *Demchenko Y., de Laat C., Membrey P.* Defining architecture components of the Big Data Ecosystem // International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS).— 2014. P. 104 – 112. 9. *Grolinger K., Hayes M., Higashino W.A., L'Heureux A., Allison D.S., Capretz M.A.M.* Challenges for MapReduce in Big Data // IEEE World Congress on Services (SERVICES). 2014. P. 182 – 189. 10. *Lichen Zhang.* A framework to specify big data driven complex cyber physical control systems // International Conference on Information and Automation (ICIA). 2014. P. 548 – 553. 11. *Lichen Zhang.* Designing big data driven cyber physical systems based on AADL // International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC). 2014. P. 3072 – 3077. 12. *Michalik P., Stofa J., Zolotova I.* Concept definition for Big Data architecture in the education system // 12th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII). 2014. P. 331 – 334. 13. *Munoz M.* Space systems modeling using the Architecture Analysis & Design Language (AADL) // International Symposium on Software Reliability Engineering Workshops (ISSREW). 2013. P. 97 – 98. 14. *Куров А.Г.* Курс высшей алгебры. М.: Наука, 1968. 426с. 15. *Ariane Hellinger, Ariane Hellinger, Heinrich Seeger.* Cyber-Physical Systems. Driving force for innovation in mobility, health, energy and production. Acatech. National Academy of Science and Engineering. 2011. 48p. 16. *Vladimir Hahanov, Wajeb Gharibi, Kudin A.P., Ivan Hahanov, Ngene Cristopher (Nigeria), Tiekura Yeve (Cote d'Ivoire), Daria Krulevska, Anastasya Yerchenko, Alexander Mishchenko, Dmitry Shcherbin, Aleksey Priymak.* Cyber Physical Social Systems – Future of Ukraine? // Proceedings of 12th IEEE EWDT Symposium, Kiev, Ukraine, September 26-29, 2014. P. 67-81. 17. *Han Hu, Yonggang Wen, Tat-Seng Chua, Xuelong LiP.* Toward Scalable Systems for Big Data Analytics: A Technology Tutorial. IEEE Explore: 2014. ISSN: 2169-3536. P. 652 – 687. 18. *Fadi H. Gebara, H. Peter Hofstee, and Kevin J. Nowka,* IBM Research–Austin. Second-Generation Big Data Systems. IEEE Computer magazine. 2015, January. P. 36-41. 19. *Бондаренко М.Ф., Хаханов В.И., Литвинова Е.И.* Структура логического ассоциативного мультипроцессора // Автоматика и телемеханика. 2012. № 10. С. 71-92.

Надійшла до редколегії 14.03.2015

**Хаханов Володимир Іванович**, декан факультету КІУ ХНУРЕ, д-р техн. наук, проф. кафедри АПОТ ХНУРЕ, IEEE Senior Member, IEEE Computer Society Golden Core Member. Наукові інтереси: технічна діагностика цифрових систем, мереж та програмних продуктів. Захоплення: баскетбол, футбол, гірські лижі. Адреса: Україна, 61166, Харків, пр. Леніна, 14, тел. +380 57 70-21-326. E-mail: hahanov@kture.kharkov.ua.

**Чумаченко Світлана Вікторівна**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрою АПОТ ХНУРЕ. Наукові інтереси: математичне моделювання, теорія рядів, методи дискретної оптимізації. Адреса: Україна, 61166, Харків, пр. Леніна, 14, тел.+3805770-21-326, e-mail: ri@kture.kharkov.ua.

**Литвинова Євгенія Іванівна**, д-р техн. наук, проф. кафедри АПОТ ХНУРЕ, заст. декана факультету КІУ ХНУРЕ, IEEE Member. Наукові інтереси: технічна діагностика цифрових систем, мереж та програмних продуктів. Захоплення: баскетбол, футбол, гірські лижі. Адреса: Україна, 61166, Харків, пр. Леніна, 14, тел. +380 57 70-21-326. E-mail: kiu@kture.kharkov.ua.

---

## УНІВЕРСАЛЬНА СИСТЕМА ЧИСЛЕННЯ (ЦИФРОВА АБЕТКА)

---

Пропонується універсальна система числення – УСЧ, за допомогою якої числа позначаються тільки цифровими знаками. Для знаків використовуються цифри найбільш відомої системи числення, що дозволяє застосувати їх в нових розробках. **Ключові слова:** базис систем числення, шістнадцяткова система числення, асоціація.

### Постановка проблеми

Широке проникнення обчислювальної техніки (ОТ), складові якої – технічні пристрої та математичне забезпечення на базі кількох систем числення (СЧ) в усі галузі господарства, включаючи фармацію, змусило чітко взаємодіяти з нею. В першу чергу це стосується її грамотної експлуатації, контролю функціонування, що потребує освоєння хоча б елементарних основ роботи з СЧ [1, с. 343], насамперед таких як двійкова (СЧ 2) та шістнадцяткова (СЧ16). З цього видно, що числові дані в обчислювальних процесах представлені з різними основами, а значить, потрібно вивчати арифметику кожної з них, що ускладнює користування ОТ. Отже, потрібне спрощування обслуговування хоча б за рахунок зменшення кількості застосованих СЧ.

Система числення, або нумерація (*numeration* лат.) є об'єднання множини правил (прийомів) обчислення та знаків, за допомогою яких відображається будь-яке число. Важливими вимогами до СЧ є однозначність відображення чисел та забезпечення можливості виконання з ними арифметичних операцій. Традиційно розрізняють три типи СЧ: позиційні, непозиційні та змішані. Непозиційні та змішані СЧ в наш час при обчисленні майже не застосовуються, являють тільки історичну цінність. Найбільш досконалим є позиційний принцип позначення, де значення числа залежить від місця розташування знаків у ньому. Цей принцип застосовується у всіх напрямках сучасної математики з використанням поняття базису – основи (Р) відповідної СЧ, де базис - максимальна кількість знаків (символів) для позначення числа.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Відомо, що історичний аналіз дає більш яскраве розуміння теорії, аніж її викладання.

Вперше для позначення кількості використовувались знаки писемності: ієрогліфи, букви алфавітів. Однак тільки виділення з алфавітів спеціальних знаків, які тепер зветься цифрами, значно полегшило лічбу, особливо коли була винайдена десяткова СЧ10, яка визнана «найбільшим відкриттям людства».

З появою обчислювальної техніки цифр цієї СЧ стало замало для потреб у кодуванні інформаційних потоків та поширення обчислювальних можливостей математики. Тому була розроблена нова СЧ16 з більшим базисом, частина знаків у якій позначається літерами після цифри «9» через відсутність відповідних знаків-цифр, що ускладнює обчислювальні операції.

### Виділення невирішених проблем

При роботі з ОТ на базі найбільш відомих систем числення виконавці найчастіше користуються при вводі-виводі цифрових даних десятковою системою числення СЧ10, основою якої є число “10” – найбільш знайоме.

Апаратна ж частина ОТ побудована на принципі використання двійкової системи числення СЧ2 з основою “2”. Звідси і необхідність перетворення СЧ одна в іншу, по схемі СЧ10 - СЧ2. Це доволі трудомістка праця [2, с.165]. Але ж необхідно здійснювати операцію перетворення з будь-якими основами по схемі СЧР - СЧ10, де Р – основа системи числення.

В ОТ найчастіше використовується шістнадцяткова система числення СЧ16 з літерами, ми ж користуємось десятковою. Отже, розглянемо перетворення СЧ по схемі СЧ10 - СЧ16. Для вирішення проблеми збільшення необхідної кількості знаків в цій СЧ почали застосовувати літери алфавітів.

Обчислювальні ж операції над числами, позначеними літерами, нелегкі, бо позбавлені наочності, як в СЧ10. І тоді користувачі ОТ застосовують спеціальні таблиці, що не спрощує її оволодінням.

Для ліквідації наведених вище недоліків потрібна СЧ з більшим базисом, ніж СЧ10, в якій би були відсутні будь-які знаки, окрім цифрових, що демонструється. Метою статті є показ формування нової СЧ тільки з цифрових знаків найбільш відомої системи числення.

### Виклад основного матеріалу

Здійснена розробка СЧ із збільшеним базисом, наприклад, не менше 100, при збереженні спадкоємності СЧ10 (її цифри, наочність при виконанні обчислювальних операцій тощо), в якій позначення чисел здійснюється тільки цифрами.

Найбільш прийнятна альтернатива щодо поширення основи СЧ є запропонована СЧ, в якій  $P=100$  [3, с.31]. В ній застосована система позначень цифр з базою СЧ10, без інших знаків. Також розроблені комбінації (композиції) з них же. Уявлення числа СЧ100 (табл.1) здійснюється з допомогою ключа відповідності (табл.2) на початковому етапі освоєння. Зроблено це з використанням тільки двох операцій, а саме – обернення цифр СЧ10 навколо своїх осей та з'єднання їх між собою, без проміжку, в одне ціле, як мінімум з однією спільною точкою, що створює з пари цифр однозначну. Нуль з  $P>10$  чисел має інше розташування – горизонтальне. Позначення базису – попереду числа з інтервалом в одну позицію. Це має такі переваги.

УСЧ(СЧ 100)

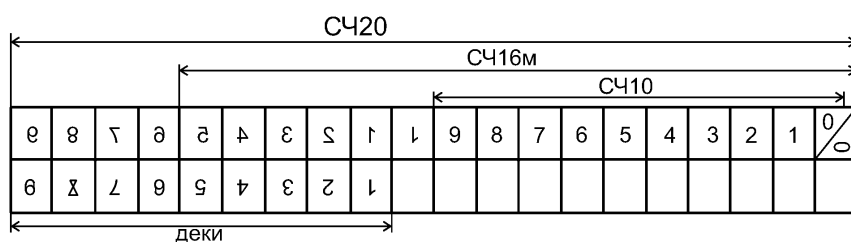
Таблиця 1

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	1	0	2	3	4	5	6	7	8	9
2	1	1	1	12	13	14	15	16	17	18	19
3	2	2	2	22	23	24	25	26	27	28	29
4	3	3	3	32	33	34	35	36	37	38	39
5	4	4	4	42	43	44	45	46	47	48	49
6	5	5	5	52	53	54	55	56	57	58	59
7	6	6	6	62	63	64	65	66	67	68	69
8	7	7	7	72	73	74	75	76	77	78	79
9	8	8	8	82	83	84	85	86	87	88	89
10	9	9	9	92	93	94	95	96	97	98	99
Висова	нуль...дев'ять	дек. один-один... один-дев'ять	нуг. дек. два-нуг. .... дев'ять-нуг	два-нуг, два-один...два-дев'ять	три-нуг, три-один... три-дев'ять	чотири-нуг, чотири-один... чотири-дев'ять	п'ять-нуг, п'ять-один... п'ять-дев'ять	шість-нуг, шість-один... шість-дев'ять	сім-нуг, сім-один... сім-дев'ять	вісім-нуг, вісім-один... вісім-дев'ять	дев'ять-нуг, дев'ять -один... дев'ять-дев'ять

Ключ відповідності

Таблиця 2

№	Параметри	Система числення				100 (УСЧ)	
		2	10	16	20		
1	Кількість знаків	2	10	16	20	110	
2	знак	цифри	0,1	0-9	0- 9	0- 9	
		інші	-	-	літери обернені СЧ10	похідні цифр СЧ10	
3	Фіксація	таб.	таб.	таб.	таб.	таб.	
4	Обчислення	СЧ10	стандарт	ненаочне	СЧ10	СЧ10	
5	Позначення «0»	0	0	0	нуґ -	нуґ -	
6	Позначення базису	10 <sub>(2)</sub>	без позначень	10 <sub>(16)</sub>	10	10	
7	Вимова	СЧ10	стандарт	своєрідна	таб.	таб.	
8	Склад	частина СЧ10	0-9	СЧ10+літери	СЧ16 без літер + СЧ10 <sup>^</sup> - обернення навколо вертикальної осі , де перші цифри замінники літер	СЧ20 + (СЧ10 <sup>^</sup> ) > - обернення навколо горизонтальної осі з модифікованими 6, 8, 9 + похідні пар СЧ10	
9	Застосування	ОТ	всюди, окрім частини ОТ	програмування ОТ	заміна СЧ16	без винятків	
10	Якість	«+»	простота обчислень	шкільна база	ОТ	засвоєння через асоціацію	короткі числа
		«-»	тяжке	неуніверсальність	ненаочність	нова вимова	час на освоєння



1. Спрощення обчислювальних операцій через: заміну літер 16-ї СЧ на інші знаки (обернені цифри); візуалізацію нових знаків; підвищення надійності при читанні через однозначність (всі цифри однозначні).

2. Застосування в СЧ тільки цифр та їх комбінацій десяткового числення.

3. Приспосовування навчання основам інформаційних технологій, починаючи зі школи.

4. Відсутність потреби в розробках СЧ з  $P < 100$ .

Вибране число 100, яке є базисом нової СЧ100, співвідноситься до базису найбільш застосовуваної СЧ за формулою  $100=10^2$ . Вважаючи, що СЧ100 є похідною від СЧ10, при розрахунках застосовуються всі правила та закони останньої. З допомогою таблиці УСЧ відносно просто створюються будь-які СЧ з базисом  $P < 100$ . Як приклад, здійснена розробка таблиці множення (ТМ), обмеженої числом «20». В статті наведений варіант СЧ16, в якому літери замінені на цифрові знаки, асоційовані з недостаючими цифрами (табл. 3). З цього видно, що всі попередні СЧ, навіть десяткова, є окремими випадками даної, де використані цифри УСЧ, включаючи навіть «мертві», для яких не було відповідних позначень.

СЧ100-СЧ16

Таблиця 3

Базис	Числа								
10	0	1,...,9	10	11	12	13	14	15	16
16	0	1,...,9	A	B	C	D	E	F	10
100	0	1,...,9	↓	↑	Σ	ε	4	2	10

Базис 100 вибраний ще й тому, що це – основа метрологічної системи, застосованої в Європі ще з XVIII віку. Маючи можливості створення багатьох СЧ, можна стверджувати, що вона – універсальна система числення (УСЧ). Окрім того, на її основі можна створювати СЧ ще з більшими базисами, пропорційними «10», а саме –  $P = 1000$  та  $10000 (10^4)$  – октада [4, с.32], які були в користуванні [5, с.51].

#### Висновки та перспективи

З допомогою УСЧ спрощуються обчислення, бо застосовуються тільки числові знаки-цифри. Відпадає необхідність вивчення літерної арифметики. Визначення правильності функціонування ОТ теж спрощується. Робота поставить крапку протистояння цифр – літер в ОТ.

Для швидкого впровадження СЧ100 потрібно починати вивчення УСЧ в школі. Це спростить та пришвидшить якість оволодіння основами праці з ОТ. Застосування СЧ не має обмежень.

**Список літератури:** 1. *Енциклопедія кібернетики*. УСЭ.Т.2. 343 с. Київ. 2. *Малая математическая энциклопедия* / Э. Фрид и др. Система чисел. Будапешт. 1976. 165 с. 3. *Універсальна система числення* // Математика в школах України. 2013. №3. №22-24. С.13. 4. *Конфорович А.Г.* Колумби математики. Вища школа. 1982. С.51 5. *Слюсарев И.А.* О катаклизме Земли. ФОП І.В Петрова 2011.с. 51.

Надійшла до редколегії 14.03.2015

**Левенець Василь Васильович**, інженер-електрик, старший лаборант Харківського Національного фармацевтичного університету. Адреса: Україна, 61000, Харків, вул. О. Невського, 18, тел. (057) 7718152.

## **МЕТОДОЛОГИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ В КРИЗИСНЫХ СИТУАЦИЯХ**

---

Описывается возможность повысить качество сервиса дистанционных видеослужб с применением беспилотных комплексов при управлении в кризисных ситуациях. Предлагается выполнить начальную функцию дешифрирования аэрофотоснимка на борту летательного аппарата. Это позволит снизить информационную интенсивность с учетом сохранения семантически значимой для дешифрирования информации. Вводится понятие дешифровочного кодирования. Показывается структурная схема технологии дешифровочного кодирования видеоинформации на борту летательного аппарата и обосновываются ее составляющие.

### **1. Введение**

Процесс управления кризисными ситуациями неотъемлемо связан с дистанционным предоставлением качественных видеослужб, функции которых возложены на беспилотный комплекс. Оценка характеристик сервиса дистанционного предоставления видеослужб в процессе управления кризисных ситуаций, т.е. когда требуется обеспечить живучесть, скрытность и полную достоверность информации, является проблематичной. Связано это с ростом информационной интенсивности и низкой пропускной способностью бортовых каналов связи [1]. Время доставки видеоданных с борта летательного аппарата с определенной информационной интенсивностью определяется в основном временем подготовки и передачи данных по каналу связи и достигает порядка 40 мин.

Существующие методы снижения информационной интенсивности не обеспечивают требования по сохранению разрешающей способности аэрофотоснимка в условиях, когда требуется обеспечить живучесть, скрытность и полную достоверность информации при управлении в кризисных ситуациях [2].

Таким образом, цель исследования состоит в разработке методологии совершенствования обработки видеоинформации для повышения эффективности сервиса предоставления дистанционных видеослужб при управлении в кризисных ситуациях.

### **2. Основная часть**

К бортовому комплексу аэромониторинга предъявляется ряд технических требований, среди которых: обеспечить заданную информационную интенсивность видеоинформации, заданную разрешающую способность для выполнения определенных задач и заданную достоверность получаемой информации, обусловленную процессом ее формирования, обработки и передачи. В условиях управления кризисными ситуациями особое место отводится требованиям относительно временных задержек доставки информации с борта летательного аппарата [3].

Бортовой комплекс аэромониторинга, с одной стороны, характеризуется рядом ограничений: габаритные размеры, мощность бортового генератора, относительно низкая пропускная способность радиоканалов передачи данных. С другой стороны, рост информационной интенсивности аэрофотоснимков и низкая пропускная способность каналов передачи данных ведут к повышению временной задержки в доведении информации и обеспечении ее достоверности [2, 3]. Все это снижает эффективность сервиса дистанционных видеослужб при управлении в кризисных ситуациях с применением беспилотных комплексов.

Для того чтобы, с одной стороны, сохранить достоверность и разрешающую способность аэрофотоснимка, а с другой – обеспечить требуемую оперативность доставки видеоинформации, предлагается выполнить начальную функцию дешифрирования на борту летательного аппарата. Это позволит снизить информационную интенсивность и сохранит семантически значимую для дешифрирования информацию.

В бортовых комплексах необходимо использовать методы обработки видеоданных, которые направлены на повышение информативности аэрофотоснимка и уменьшение суммарного времени дешифрирования данных в целях принятия решения в интересах аэромониторинга.

Существующие методы обработки видеоинформации имеют существенные недостатки: обеспечивается возможность доведения видеоинформации в установленные временные сроки, но с частичным разрушением семантической составляющей. Наоборот, при повышении семантической составляющей повышается информационная интенсивность видеопотока и, в конечном итоге, увеличивается время доведения видеоинформации. Кроме того коды и конструкции, которые базируются на известных методах, характеризуются повышенной уязвимостью при прохождении видеоданных по радиоканалам. В настоящее время недостаточно усовершенствованы методы доведения видеоданных в режиме реального времени по радиоканалу с борта летательного аппарата без разрушения семантической составляющей.

Исходя из этого, в бортовых комплексах необходимо применять принципиально новый подход к обработке видеоданных. С одной стороны, такой подход будет направлен на сохранение информативности аэрофотоснимка, а с другой – не будет требовать повышения пропускной способности канала связи.

Значит, необходимо разработать метод  $F_{обp}$ , который позволит снизить информационную интенсивность  $I_{инт} \rightarrow \min$ , формируемую на борту летательного аппарата, и сохранит требуемую разрешающую способность  $\rho \approx \rho^{(тp)}$  и достоверность аэрофотоснимка с соблюдением требуемых высот полета  $H \geq H^{(тp)}$  беспилотного комплекса.

Предлагается создать такой формат представления видеоданных, для которого одновременно будет обеспечиваться:

- представление информации видеосцен в удобном виде для дешифровщика, что обеспечит снижение времени работы дешифровщика;
- снижение информационной интенсивности аэрофотоснимков при условии сохранения семантической составляющей, что обеспечит доведение видеоданных в режиме реального времени по радиоканалу с борта летательного аппарата.

Основной упор предлагается перенести на снижение общего времени принятия решения дешифровщиком. Дешифрирование включает в себя несколько этапов: локализация объектов, оценка их структурных характеристик и идентификация семантической нагрузки объектов. Данные этапы дешифрирования объектов на аэрофотоснимке предлагается перенести непосредственно на беспилотный комплекс и уже полезную информацию об объекте мониторинга передавать по каналу связи на наземный пункт управления для окончательного принятия решения по дешифровке объекта. Эффективность дешифрирования зависит от сохранения ключевой информации об объекте. Ключевым моментом в процессе дешифрирования аэрофотоснимка являются контуры идентифицируемого объекта. Исходя из этого, дешифровщику необходимо предоставить такие контуры и классифицировать их по степени важности. Таким образом, предлагается построить такой подход, который обеспечил бы, с одной стороны, повышение эффективности описания ключевых объектов дешифрирования аэрофотоснимков с сохранением их информационной составляющей и разрешающей способности; с другой – предоставление качественной услуги для уменьшения времени на идентификацию объектов, которые интересны при управлении в кризисных ситуациях.

В основу такого подхода предлагается положить технологию дешифровочного кодирования. Суть ее заключается в выделении значимой информации в аэрофотоснимке непосредственно бортовым оборудованием. Значит, дешифровочное кодирование – это получение знаний о дешифровочных признаках и эффективное синтаксическое описание аэрофотоснимков по этим знаниям.

На рис.1 приведена структурная схема дешифровочного кодирования видеоинформации на борту летательного аппарата.

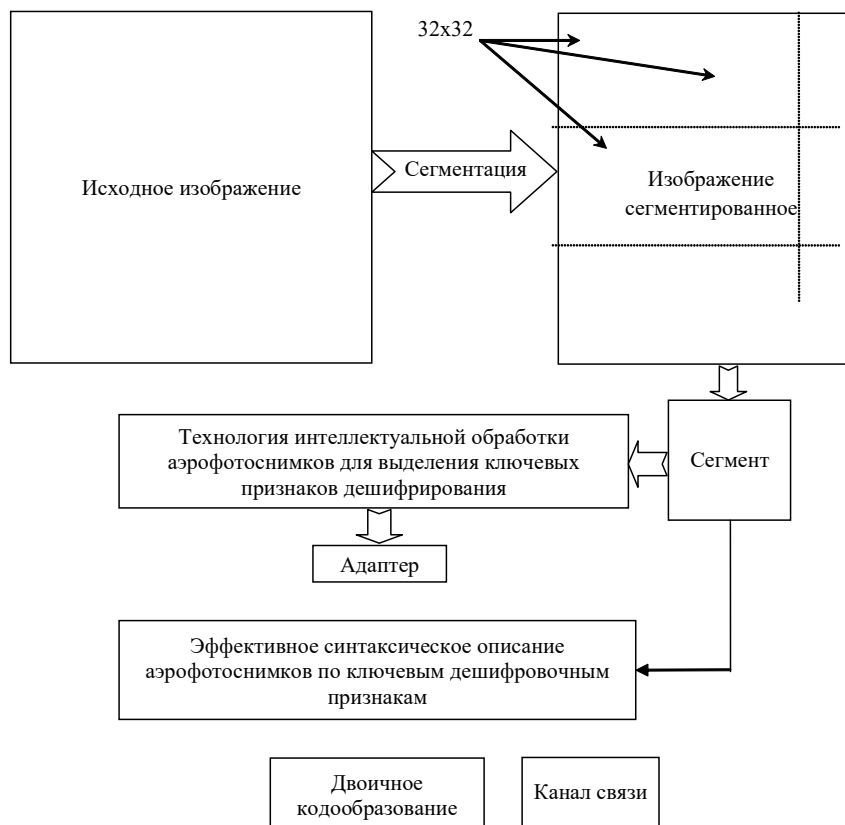


Рис.1

Технология дешифровочного кодирования видеоинформации на первом этапе содержит сегментацию исходного изображения на блоки-сегменты размерностью 32x32. После этого каждый сегмент последовательно поступает на этап технологии интеллектуальной обработки аэрофотоснимков для выделения ключевых признаков дешифрирования.

Здесь происходит обнаружение и локализация семантически значимой информации в сегменте; выделение семантической сложности путем анализа сегментов аэрофотоснимка на предмет идентификации контуров насыщенности; выполнение алгоритма обработки сегментов изображения, который учитывает степень информативности обработанных сегментов. Результатом такой обработки есть формирование набора знаний о дешифровочных признаках интересующих объектов на аэрофотоснимке.

Адаптер осуществляет настройку выявляемых синтаксических закономерностей в аэрофотоснимке с учетом знаний о ключевых дешифровочных признаках.

После этого набор знаний о сегменте вместе с сегментом изображения поступает для обработки технологией эффективного синтаксического описания аэрофотоснимков по ключевым дешифровочным признакам. Такая технология позволит компактно представить сегмент изображения  $R$  и набор знаний о нем, а также подготовить данные для выполнения двоичного кодообразования. В дальнейшем сформированный таким образом код отправится в канал связи для излучения. Таким образом, дешифровщик получает или только необходимую информацию об интересующих его объектах на аэрофотоснимке (при наличии априорной информации о ландшафте), или же аэрофотоснимок с набором знаний с эффективным описанием значимых дешифровочных признаков интересующих объектов на аэрофотоснимке.

На рис.2 приведена структурная схема технологии интеллектуальной обработки аэрофотоснимков для выделения ключевых признаков дешифрирования.

Технология  $F_{обр}^H$  интеллектуальной обработки аэрофотоснимков для выделения ключевых признаков дешифрирования  $G_{кл}$  построена по принципу мышления дешифровщика при обработке аэрофотоснимка. Дешифровщик, идентифицируя объект, обращает внимание на контуры и яркостные особенности интересующего объекта, а также анализирует и делает

привязку к местности (ландшафту). Исходя из этого, сегмент изображения  $U_{\text{сем}}$  рассматривается на базе множества  $U_{\text{син}}$  семантического содержания (качественная составляющая) и множества синтаксического содержания исходного аэрофотоснимка.

Для предоставления контурной информации об объекте и классификации по степени важности сегмент изображения проходит через каскад методов маскирования  $F_M$  для выделения контурной информации. Существует множество методов маскирования изображения: метод Собела, Прюита, Шару, Лапласа, Хрящева, Лапласиана, маска по Канни. Анализ методов маскирования на основе комплексных показателей оценки качества контурной информации показал, что наилучшими для маскирования аэрофотоснимка являются методы Собела и Лапласиана [4]. После получения маски  $M_{\text{сс}}^{(1)}$  сегментов аэрофотоснимка для получения сведений о ландшафте предлагается обработка сегмента ортогональным преобразованием с выделением спектральной составляющей аэрофотоснимка. Результатом данного действия есть трансформанта  $M_{\text{сс}}^{(2)}$ . Впоследствии эта информация понадобится для эффективного синтаксического описания аэрофотоснимка по ключевым дешифровочным признакам.

В дальнейшем к полученным маскам сегментов аэрофотоснимка применяются правила оценки  $F(U_{\text{сем}})_{\text{рп}}$ . В качестве такого правила предлагается применить так называемый подход оценочных метрик. Используются характеристики структурных особенностей двоичных масок. Если в позиции сегмента присутствует контурный элемент, то ей присваивается 1, т.е. это семантически значимая позиция сегмента. В то же время если в позиции сегмента отсутствует контурный элемент, то ей присваивается 0, т.е. это семантически незначимая позиция сегмента, обычно это фоновый элемент. Далее необходимо оценить вес метрики. Весовой указатель метрики – это наличие 1 в строках или столбцах сегментированного изображения. Сумма весовых указателей позиций в сегменте и будет указывать на высшую информативность или значимость того или иного сегмента аэрофотоснимка. Таким образом, производится оценка информативности сегмента снимка по его маске (контурной информации). Теперь остается определить, где на аэрофотоснимке информация более важная по информативности. Необходимо ввести определенные правила, которые направлены на оценку степени информативности (значимости) сегмента снимка по заданному пороговому уровню. Также предлагается ввести правило, с использованием которого будет идентифицироваться сегмент как достаточно значимый с точки зрения его семантической составляющей. Если степень информативности (значимости) близка к минимуму порогового уровня, то этот сегмент снимка идентифицируется как менее значимый, но достаточно информативный. Если степень информативности находится за пределами минимума порогового уровня (а это может быть 0), то принимается решение о фоновой составляющей сегмента фотоснимка. Таким образом, здесь выполняется выбор пороговых правил принятия решений  $F(U_{\text{сем}})_{\text{рп}}$  в целях сортировки выделенных контуров к информативным  $M_{\text{инф}}$  (значимым) или незначимым, т.е. определяется важность маскированного семантического содержания сегмента аэрофотоснимка. Результатом является маска  $M_{\text{инф}}$  множества информативных оценок семантического содержания аэрофотоснимка. Здесь же и выбирается метод оценки количества информации  $F(U_{\text{сем}})_{\text{оц}}$  в двоичном представлении маски в целях определения степени информативности семантического содержания сегмента аэрофотоснимка. Определяется соответствие множества информативных масок  $M_{\text{инф}}$  соответствующего множества  $M_M$  метрик оценки степени информативности семантической составляющей аэрофотоснимка.

После анализа оценочными метриками информация, т.е. множество  $M_M$  метрик оценки степени информативности семантического содержания сегмента аэрофотоснимка, поступает на этап технологии решающих правил. Данный блок, обращаясь к базе знаний, куда, в свою очередь, введена информация о структурных, статистических и спектральных харак-

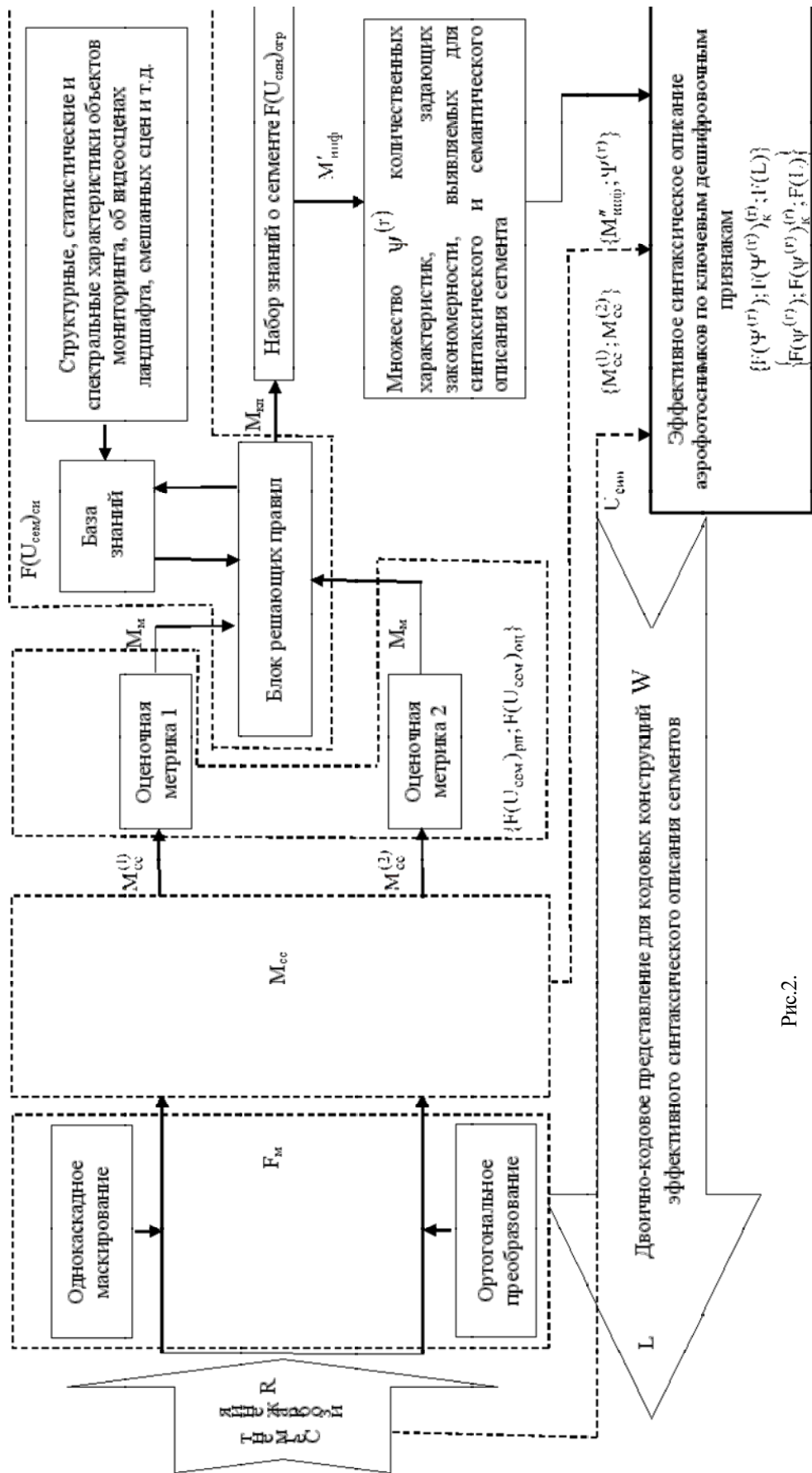


Рис.2.

теристиках объектов мониторинга, формирует правила принятия решений относительно уровня информативности семантического содержания аэрофотоснимка  $F(U_{\text{сем}})_{\text{си}}$ . Технология решающих правил принимает решение относительно классификации множества информативно-значимых масок  $M_m$ . Здесь каждой маске ставится в соответствие определенный класс информативности в виде множества  $M_{\text{кл}}$  кластеризации для информативных оценок семантического содержания сегмента аэрофотоснимка. Далее применяются методы оценки процентных метрик относительно максимально и минимально возможных уровней абсолютных метрик. Продуктом данной технологии является кластеризованное множество  $M'_{\text{инф}}$  информативных оценок семантического содержания сегмента аэрофотоснимка.

С учетом ограничений, которые накладываются на время обработки и пропускную способность канала передачи данных, вводятся правила определения ограничений и требований относительно степени информативного синтаксического описания сегмента аэрофотоснимка с учетом его семантической информативности, т.е. в результате применения правил  $F(U_{\text{син}})_{\text{огр}}$  происходит отображение кластеризованного множества  $M'_{\text{инф}}$  информативных оценок в множество  $M''_{\text{инф}}$  выборок информативных оценок семантического содержания сегмента аэрофотоснимка с учетом ограничений.

Следующий каскад технологии интеллектуальной обработки аэрофотоснимков для выделения ключевых признаков дешифрирования предполагает выделение количественных характеристик  $\Psi^{(r)}$ , задающих закономерности, выявляемых для синтаксического описания с выборок  $M''_{\text{инф}}$  информативных оценок семантического содержания этого сегмента.

Сформированные таким образом знания о каждом сегменте аэрофотоснимка в виде количественных показателей поступают в технологию эффективного синтаксического описания аэрофотоснимка по ключевым дешифровочным признакам, результатом которого является формирование множества кодовых конструкций  $W$  информативных (эффективных) синтаксических описаний семантического содержания.

Завершающим этапом предложенной технологии является двоично-кодовое представление  $L$  для кодовых конструкций  $W$  эффективного синтаксического описания семантического содержания сегментов аэрофотоснимка.

### 3. Выводы

1. Показано, что повышение качества сервиса дистанционных видеослужб в процессе управления кризисных ситуаций, т.е. когда требуется обеспечить живучесть, скрытность и полную достоверность информации, возможно с применением технологии дешифровочного кодирования видеoinформации на борту летательного аппарата. Это позволит снизить информационную интенсивность, формируемую на борту летательного аппарата, с сохранением требуемой разрешающей способности аэрофотоснимка.

2. Показано, что повысить оперативность доведения видеоданных при существующих бортовых каналах передачи информации можно путем применения технологии интеллектуальной обработки аэрофотоснимков для выделения ключевых признаков дешифрирования. Такая технология формирует набор знаний о дешифровочных признаках объектов и эффективное синтаксическое описание аэрофотоснимка по этим знаниям.

**Список литературы:** 1. Комарова Л.О. Методи управління інформаційно-комунікаційними кластерами в кризових ситуаціях: Монографія [Текст] / Л.О.Комарова // К.:ДУТ, 2014. 395 с. 2. Кашкин В.Б. Цифровая обработка аэрокосмических изображений: Конспект лекций. Красноярск: ИПК СФУ, 2008. 121 с. 3. Баранник В.В. Метод повышения доступности видеoinформации аеромониторинга / В.В. Баранник, О.С. Кулица // Радиоэлектронные компьютерные системы. 2013. №3. С. 17 – 20. 4. Власов А.В. Анализ методов обнаружения границ объектов на изображениях и их классификация / А.В. Власов, В.В. Баранник, А.В. Яковенко // Сучасна спеціальна техніка. 2012. Вип. 3 (30). С. 17 – 27.

*Поступила в редколлегию 11.02.2015*

**Баранник Владимир Викторович**, д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры Харьковского университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба. Научные интересы: системы, технологии преобразования, кодирования, защиты и передачи информации, семантической обработки изображений. Адрес: Украина, 61023, Харьков, 23, ул. Сумская, 77/79, тел. 8 050-3038971.

**Красноруцкий Андрей Александрович**, канд. техн. наук, докторант научно-организационного отдела Харьковского университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба. Научные интересы: кодирование, семантическая обработка изображений. Адрес: Украина, 61023, Харьков - 23, ул. Сумская, 77/79.

**Рябуха Юрий Николаевич**, канд. техн. наук, соискатель Харьковского университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба. Научные интересы: кодирование, семантическая обработка изображений. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79.

**Яценюк Владимир Жоржевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры Харьковского университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба. Научные интересы: кодирование, семантическая обработка изображений. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79.