

УДК 004.5

Е. В. БРЕЖНЕВ

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "ХАИ", Украина*

## СТРАТЕГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ КРИТИЧЕСКИХ ИНФРАСТРУКТУР С УЧЕТОМ ЭМЕРДЖЕНТНОГО РИСКА

*Критические инфраструктуры (КИ, система из систем) являются основой развития современного общества. КИ состоит из взаимодействующих между собой систем, объединенных для реализации общей целевой функции. Сбои и аварии КИ характеризуются высокой тяжестью последствий. Одной из причин аварий (сбоев) в работе КИ является несовершенство методик риск-анализа, в частности, неучет эмерджентных рисков (ЭР), связанных с негативным взаимовлиянием между системами. Известны две стратегии снижения ЭР в КИ: использование диверсности (off-line emergent risk management) и перераспределение ресурсов между системами (on-line emergent risk management). В рамках данной статьи сформулирована задача перераспределения ресурсов КИ и предложено две дополнительные стратегии для снижения ЭР. Основное отличие предложенных стратегий – учет индивидуальных предпочтений систем КИ, при которых перераспределение происходит с учетом (без учета) возможностей систем к снижению своих ЭР и обеспечению требуемых значений показателей безопасности. В статье проведен сравнительный анализ предложенных стратегий.*

**Ключевые слова:** критические инфраструктуры, безопасность, перераспределение ресурсов, эмерджентные риски, взаимовлияние.

### Введение

В соответствии с [1], под критической инфраструктурой (далее КИ) понимается комплекс взаимосвязанных обслуживающих структур или объектов, составляющих основу функционирования современного общества. В более широком смысле термин “инфраструктура” охватывает людей, организации, процессы, услуги, информационные потоки, а также технические сооружения и конструкции, которые в индивидуальном порядке или в составе сети включены в обеспечение функционирования общества, экономики и государства.

Анализ ряда аварий [2, 3], связанных с КИ, подтверждает актуальность проблемы обеспечения безопасности. Анализ безопасности (рисков) КИ проводится на всех этапах ее жизненного цикла (ЖЦ). Вместе с тем, начальному этапу (проектирование КИ) свойственна высокая неопределенность, обусловленная недостаточной информированностью субъекта-анализа (исследователя) о рисках, условиях функционирования КИ, степени взаимовлияния между системами, пр. Это приводит к неопределенности (неточности) самого риск-анализа и, как следствие, к сложностям (ошибкам) в идентификации, оценивании и снижении рисков в КИ.

### 1. Локальные и эмерджентные риски

Взаимовлияние (информационное, физическое,

географич., пр.) между системами в КИ приводит к появлению новых (эмерджентных, далее ЭР) рисков, которые не могут быть идентифицированы на ранних этапах ЖЦ. Если локальные риски (ЛР) оцениваются и снижаются на этапе проектирования систем, то неопределенность в оценке ЭР остается одной из главных источников опасности для КИ и ее безопасности. Таким образом, повышение безопасности КИ может быть достигнуто путем идентификации и снижения ЭР.

Следует отметить, что обеспечение безопасности КИ может быть достигнуто путем введения разнообразия (диверсности) между ее системами [4]. Вместе с тем, такая стратегия является приемлемой только на этапе проектирования КИ (off-line risk management), когда предлагаются и внедряются проектные решения, направленные на снижение общих уязвимостей в КИ. Вместе с тем, поскольку при объединении систем в КИ возникают ЭР, стратегия диверсности может не обеспечить требуемый уровень показателя безопасности (ПБ). Поэтому целесообразно рассматривать некоторый ресурс М (материальные активы, процент общей нагрузки), который для каждой системы может быть использован для снижения ЭР при эксплуатации КИ (on-line risk management). Это допущение основано на анализе аварии [2], в которой системы КИ могли увеличивать свой вклад в регулирование общей нагрузки, распределяя ее между собой. Чем больше общей нагрузки (генерация электричества как сервиса) бе-

рет на себя система, тем больше собственных ресурсов она должна выделить для КИ в целом (фактически, передать ей).

Поскольку каждая из систем КИ обладает некоторым ресурсом средств (способность к распределению общей нагрузки), то одной из возможных стратегий снижения ЭР является их перераспределение, направленное на использование избытка средств одной системы для снижения ЭР другой системы, обусловленной взаимодействием.

## 2. Подходы к перераспределению ресурсов

В настоящее время известно множество подходов к перераспределению ресурсов в системах. В [5] представлен анализ методов распределения ресурсов и возможность их использования в Grid-системах. В [6] рассматривается общая математическая модель динамического планирования в распределенной вычислительной системе. Показано, что назначение задачи на вычислительный ресурс сводится к проблеме поиска максимального паросочетания в двудольном графе. В [7] описана математическая модель и метод динамического распределения ограниченных ресурсов для системы компьютерных приложений в совокупности, который учитывает потребности и приоритеты каждого из приложений при изменяющейся пользовательской нагрузке на них. В [8] рассмотрено развитие Интернета как динамической стохастической сети, состояние которой характеризуется пространственными распределениями информационно-вычислительных ресурсов и информационных потоков. В [9] предлагается обзор с позиций управления сетевыми ресурсами динамических математических моделей телекоммуникационных систем в условиях принятия различных гипотез о характере параметров системы и полноты исходной информации о них. Выполняются попытки нестандартного решения задачи с привлечением альтернативных средств планирования. Так в [10] рассмотрены теоретико-игровые модели распределения спектра в беспроводной сети когнитивного радио (спектр является наличным ресурсом). В [11] предлагается использовать резервирование средств на покрытие непредвиденных расходов и устанавливать соотношения между потенциальными рисками и размерами расходов, необходимых для преодоления последствий этих рисков. В общем случае резерв используется для финансирования дополнительных работ, компенсации непредвиденных изменений материальных и трудовых затрат, накладных расходов и других затрат, возникающих в процессе осуществления проекта.

Таким образом, основными недостатками предложенных методов являются:

- не учитываются ЭР при перераспределении;
- не учитываются различия в целевой функции каждой системы, с учетом которого могут быть выделены индивидуальные предпочтения каждой из системы к выделению ресурсов для других систем;
- не учитываются вопросы взаимовлияния между системами;
- системы не рассматриваются как единое целое, что приводит к отсутствию формализации общей целевой функции для систем в целом.

Целью статьи является формирование стратегий обеспечения безопасности КИ на основе перераспределения ресурсов между ее системами для снижения ЭР.

## 3. Стратегия обеспечения безопасности: перераспределение ресурсов в КИ

Все системы в КИ являются открытыми, т.е. системами, которые в течение своего ЖЦ обмениваются ресурсами и информацией с другими системами. Степень открытости (СО) характеризуется множеством параметров: числом связей с другими системами, их типом, периодом взаимовлияния. СО любой системы КИ изменяется, поскольку все параметры взаимовлияния также изменяются. Открытые системы являются объектом негативного влияния других систем в КИ. Чем больше СО системы, тем больше степень ее уязвимости к негативному влиянию.

Результаты риск-анализ КИ зависят от принятой (в рамках исследований) СО системы. Достоверно определить СО, особенно на этапе проектного анализа, достаточно сложно. Недоучет взаимовлияния делает систему в некотором смысле консервативно “замкнутой”. Это приводит к тому, что анализ рисков становится неточным, детерминированным, что приводит к снижению достоверности его результатов и эффективности контрмер, направленных на снижение ЭР.

КИ может быть представлена как совокупность взаимодействующих систем (см. рис.1), связанных между собой связями различной природы (информационные, логические, пр.).

В общем случае КИ ( $S_0$ ) может быть представлена как совокупность взаимодействующих (взаимовлияющих) систем,  $S_1, \overline{i, n}$ .

Риски в открытых и замкнутых (без учета взаимовлияния) системах отличаются. В общем случае, общая величина ЛР для замкнутой системы  $S_1$  (без учета взаимовлияния от других систем в КИ)

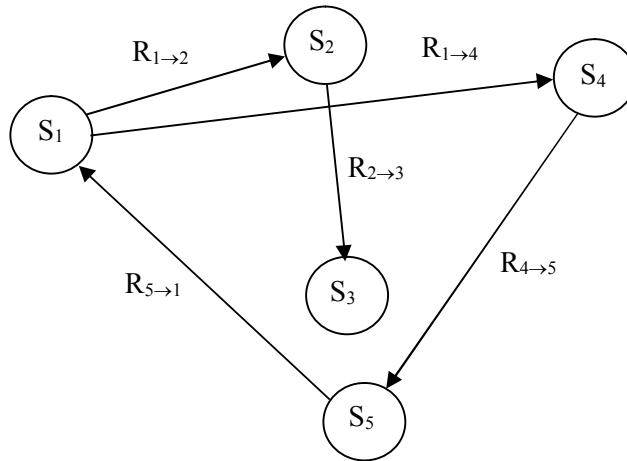


Рис. 1. Общий вид КИ S<sub>0</sub> и взаимовлияние между ее системами

в момент времени t может быть представлена аддитивной сверткой вида:

$$R_{S_1}^{Closed}(t) = \sum_{i=1}^N \alpha_i R_i(t), \quad (1)$$

где  $R_{S_1}^{Closed}(t)$  - суммарный ЛР для замкнутой системы S<sub>1</sub> в момент времени t;

$R_i(t)$  - специфические ЛР для S<sub>1</sub> в момент времени t;

$\alpha_i$  - коэффициент, описывающий приоритет ЛР для системы.

Можно предположить, что для системы S<sub>1</sub>, как некоторой составной части КИ S<sub>0</sub>, при наличии взаимовлияния между S<sub>1</sub> и S<sub>2</sub>, величина результирующего риска в системе S<sub>1</sub>, связанной с системой S<sub>2</sub>, будет больше, чем величина риска  $R_{S_1}(t)$  для закрытой S<sub>1</sub> без учета влияния системы S<sub>2</sub>.

Другими словами,  $R_{S_1}^{S_0}(t) > R_{S_1}^{Closed}(t)$ , суммарный ЛР для замкнутой системы S<sub>1</sub> меньше, чем ее суммарный риск  $R_{S_1}^{S_0}(t)$  в составе системы S<sub>0</sub>, содержащей системы S<sub>1</sub> и S<sub>2</sub>.

Разница между суммарным риском замкнутой и открытой системы может быть представлен в виде:

$$R_{S_1}^{emerg}(t) = R_{S_1}^{S_0}(t) - R_{S_1}^{Closed}(t), \quad (2)$$

где  $R_{S_1}^{emerg}(t)$  - величина ЭР, возникающего в системе S<sub>1</sub> в результате взаимодействия с S<sub>2</sub> в рамках системы S<sub>0</sub>;

$R_{S_1}^{S_0}(t)$  - риск системы S<sub>1</sub> в составе системы КИ (S<sub>0</sub>).

Таким образом, в любой момент времени, система S<sub>j</sub> в КИ характеризуется величиной ЛР и ЭР, обусловленного негативным влиянием h-го типа от другой системы S<sub>i</sub>,  $I_h^{Cl}(t)(S_i \rightarrow S_j)$ . Предположим, каждая система S<sub>i</sub> располагает ресурсом M<sub>S<sub>i</sub></sub>, который она может использовать для снижения своих ЛР,  $R_{S_i}^{closed}$ .

В общем случае, может быть сформирована задача перераспределения ресурсов в рамках КИ с целью снижения ЭР, обусловленных взаимовлиянием между системами. Общий ресурс КИ является аддитивной суммой ресурсов систем, что является ограничением при перераспределении.

**Условие.** Система не может передавать ресурсы, если ее текущий показатель безопасности (ПБ) и величина ЭР не соответствует требуемым значениям.

**Допущение.** Полученные ресурсы используются только для снижения ЭР.

В общем виде задача перераспределения ресурсов в КИ может быть сформулирована как:

- существует некоторая система S<sub>i</sub> в КИ, обладающая ресурсами M<sub>S<sub>i</sub></sub>. Показатель безопасности SI<sub>S<sub>i</sub></sub>(t) и ЭР R<sub>S<sub>i</sub></sub><sup>emerg</sup>(t) не соответствуют требуемым значениям, т.е.

$$1) \text{ КИ} = \{ \{S_i\}_1, M_{S_i} \} \rightarrow SI_{S_i}(t) \notin \Omega_{SI_{S_i}^{accept}(t)},$$

$$R_{S_i}^{emerg}(t) \notin \Upsilon_{R_{S_i}^{accept}(t)};$$

- необходимо обеспечить приемлемый уровень ПБ и ЭР системы путем перераспределения ресур-

сов в рамках КИ, т.е.:

$$2) \text{КИ} = \{\{S_i\}_I, M_{S_i}^*\} \rightarrow SI_{S_i}(t) \in \Omega_{SI_{S_i}^{accept}(t)}, \\ R_{S_i}^{emerg}(t) \in Y_{R_{S_i}^{accept}(t)};$$

с учетом ограничений, что  $M_{CI} = \sum_i M_{S_i}$ .

В рамках КИ возможны различные стратегии перераспределения ресурсов для снижения ЭР.

#### 4. Стратегия перераспределения с обязательным выделением достаточных ресурсов

Система (субъект влияния, система-донор) передает другой системе (объекту влияния) такое количество ресурса  $M_{S_i}^*$ , сколько необходимо для снижения ЭР, который она создает. В этом случае система-донор *должна* выделить количество ресурсов, достаточное для поддержания ПБ другой системы (по принципу As Safe As Reasonably Practical, AS-ARP).

Этот подход может быть нерациональным для системы-донора, поскольку возникают риски ситуаций, в которой она не сможет снизить свои ЭР, обусловленные влиянием других систем. Для объекта влияния этот подход рационален, поскольку обеспечивается ее требуемый ПБ.

**Условие.** Система-донор  $S_i$  может выделить ресурсы для снижения ЭР только в том случае, если ее текущий ПБ и уровень ЭР приемлем, т.е.  $SI_{S_i}(t) \notin \Omega_{SI_{S_i}^{accept}(t)}$ ,  $R_{S_i}^{emerg}(t) \in Y_{R_{S_i}^{accept}(t)}$ .

В качестве ПБ рассматривается критичность состояния системы  $Crt(S_i)$ .

**Допущение.** Текущий ресурс системы  $M_{S_i}$  обеспечивает снижение ее ЛР, т.е. система должна обладать ресурсом не меньшим, чем требуется для снижения ее ЛР.

Введем показатель, который характеризует ресурсную уязвимость (resource vulnerability index, RVI) систем в КИ вида:

$$RVI_{S_i} = \frac{N_{S_i \rightarrow S_j}}{N_{S_j \rightarrow S_i}}, \quad (3)$$

где  $N_{S_i \rightarrow S_j}$  - число исходящих связей (система  $S_i$  является субъектом влияния);  $N_{S_j \rightarrow S_i}$  - число входящих связей (система  $S_i$  является объектом влияния). Чем выше величина RVI, тем больше риски ресурсной необеспеченности системы в КИ.

Введем дополнительный показатель – отношение текущего ПБ  $Crt(S_i)$  к величине RVI – индекс общей уязвимости (ИОУ) системы. Чем меньше ИОУ, тем более уязвима данная система (низкий показатель безопасности и высокие риски ресурсной необеспеченности).

Перераспределение ресурсов в рамках первой стратегии включает следующие этапы:

1. Оценку ЭР  $R_{S_i}^{emerg}(t)$ , текущих ПБ  $Crt(S_i)$  систем и индексов ресурсной уязвимости  $L_i$ , ИОУ.

2. Ранжирование систем КИ по минимуму ИОУ с целью выбора системы для инициализации перераспределения. Отметим, что *распределение ресурсов между системами в КИ начинается с системы с минимальным значением ИОУ*. Это означает, что система имеет низкие показатели безопасности и высокие риски ресурсной необеспеченности. Таким образом, из ранжированного ряда выбирается самая уязвимая система, с которой начинается повышение безопасности.

3. Определение возможностей систем-субъектов влияния (связанных с уязвимой системой) по передаче ресурсов для снижения ЭР для системы с минимальным ИОУ. Если имеется несколько субъектов влияния, то передача ресурсов для объекта влияния начинается от самой “сильной” системы (самый высокий показатель ИОУ). Передача ресурсов от системы-донора ресурсов (с минимальным ИОУ) выполняется только в случае, если текущие ЭР и показатель безопасности донора приемлемы. Выбор системы – донора ресурсов.

4. Передача ресурсов системой-донором для своих объектов влияния с целью снижения ЭР (при условии выполнения требований по ПБ и ЭР). *Поскольку система-донор передает ровно столько сколько нужно, ЭР системы объекта влияния снижаются после передачи ресурсов*.

5. Далее рассматривается следующая система в ранжированном множестве, определенном на шаге 2. Шаг 3 повторяется.

6. В случае, если для системы-донора не выполняются условия приемлемости ПБ и ЭР, передача ресурсов не выполняется. Далее рассматривается следующая система-донор (с учетом связей) для системы объекта влияния.

7. Передача ресурсов заканчивается при: невозможности передать ресурсы одной из систем в КИ или же при выполнении условия приемлемости ПБ и ЭР для всех систем в КИ.

Таким образом, каждая система-донор должна предоставить ресурсы своему объекту влияния, *достаточные* для снижения ее ЭР.

Алгоритм реализации первой стратегии, приведен на рисунке 2.

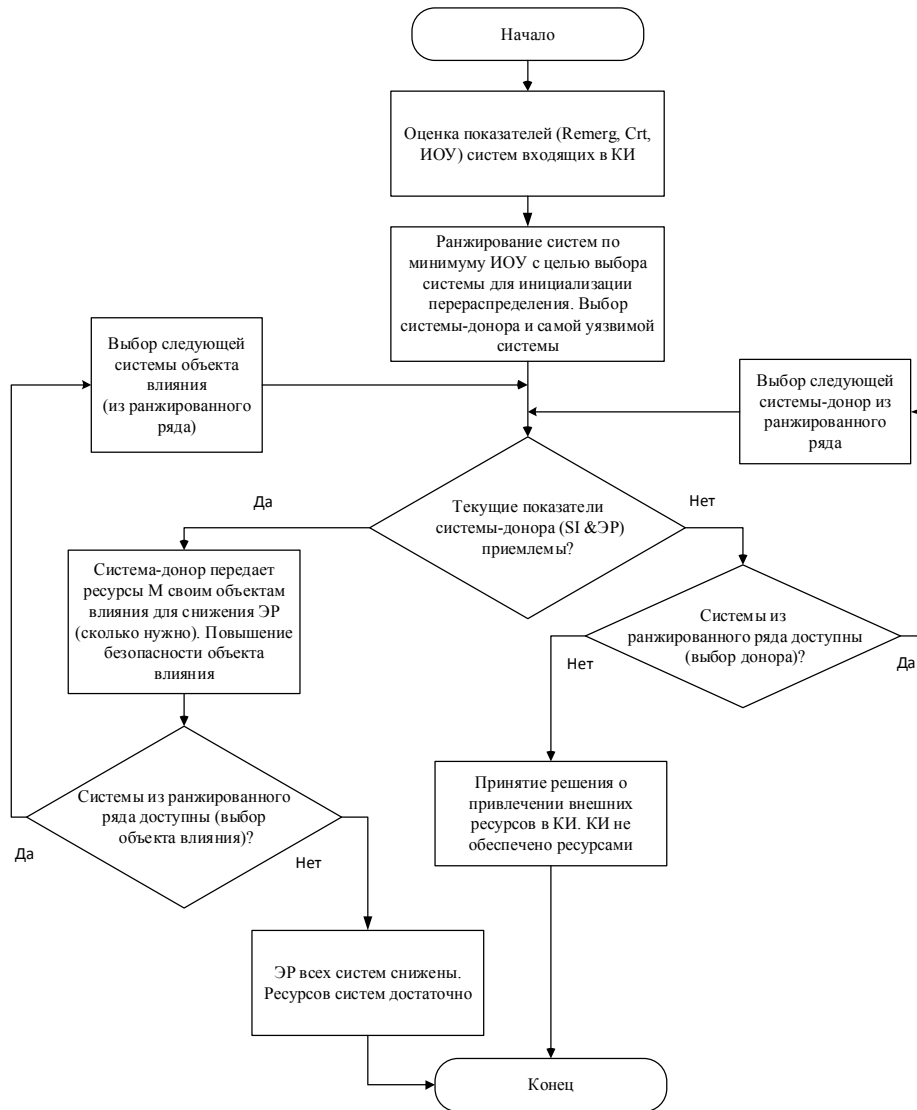


Рис. 2. Алгоритм реализации первого подхода

#### 4 Стратегия перераспределения с возможным (но недостаточным) выделением ресурсов

Система-донор передает объекту влияния ровно столько ресурсов  $M_{Si}^{**}$ , сколько может, с учетом обеспечения требуемого уровня своей ПБ (с учетом существующих ЭР, связанных с негативным влиянием других систем), т.е. она выделяет некоторый излишек ресурсов, оставляя себе ровно столько, сколько ей необходимо. Данная стратегия является приемлемой для системы-донора, поскольку оставшийся ресурс, будет достаточным для снижения ее ЭР. Для системы-объекта влияния этот подход может быть нерациональным, поскольку выделенных ресурсов может оказаться недостаточно для снижения ЭР, создаваемых системой-донором.

**Условие.** Система-донор  $S_i$  может выделить ресурсы только в том случае, если ее текущий ПБ и ЭР приемлем, т.е.

$$SI_{S_i}(t) \notin \Omega_{SI_{S_i}^{accept}(t)}, R_{S_i}^{emerg}(t) \in \Upsilon_{R_{S_i}^{accept}(t)}.$$

**Допущение.** Текущий ресурс системы  $M_{S_i}$  обеспечивает снижение ЛР системы-донора.

Следует отметить, что при перераспределении (для обоих подходов) существуют риски, при которых система-донор отдаст больше ресурсов, чем получит от другой системы. Например, система  $S_4$  (см. рис. 1) должна отдать часть своих ресурсов системам  $S_1$  и  $S_5$ . Система  $S_1$  принимает ресурсы от систем  $S_4$  и  $S_5$ , передавая при этом часть ресурсов системе  $S_2$ . Чем больше индекс RVI системы, тем больше риски ее необеспеченности ресурсами для снижения ЛР и ЭР. Алгоритм реализации второй стратегии, приведен на рисунке 3.

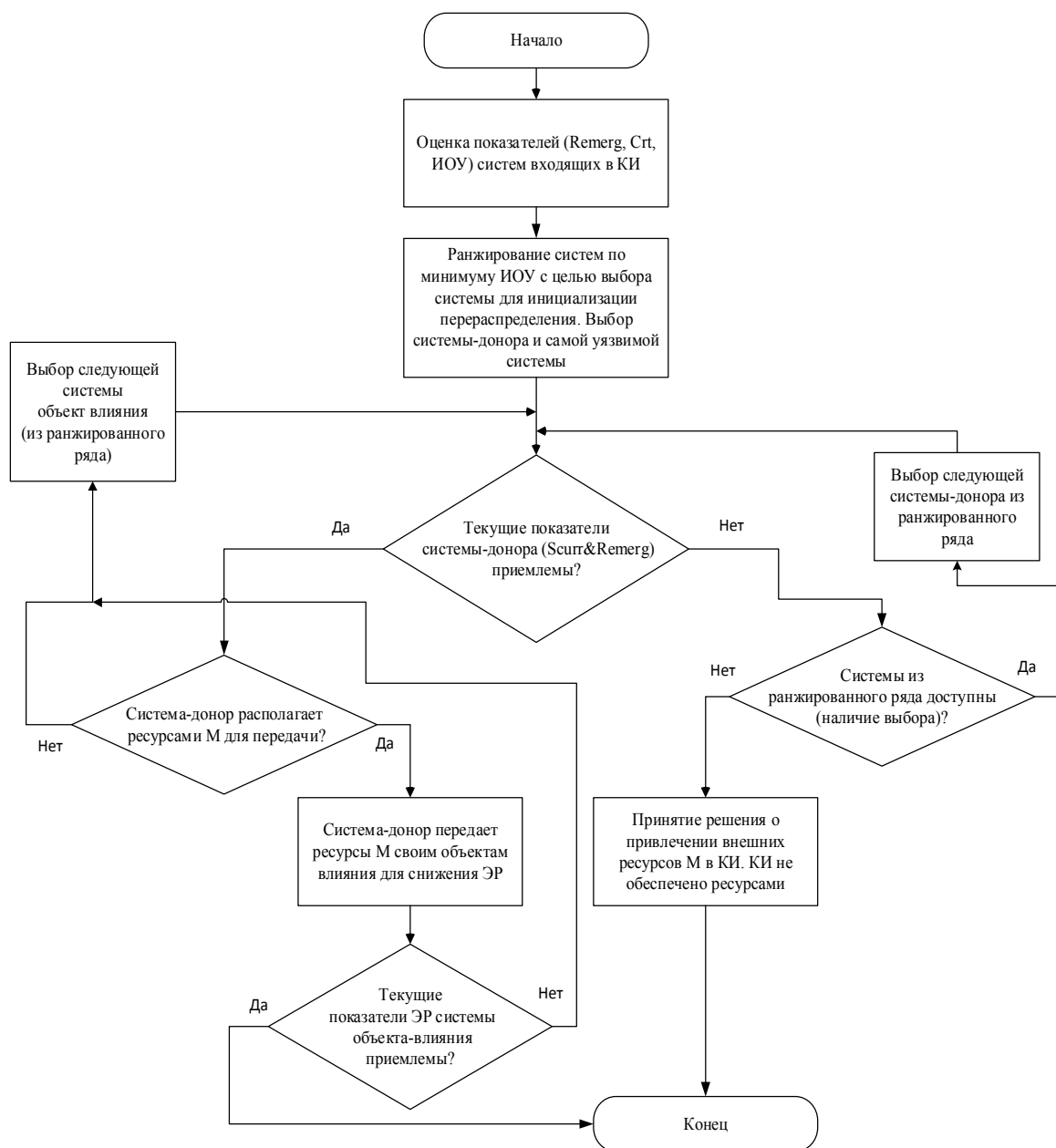


Рис.3. Алгоритм реализации второй стратегии

Возможны 2 частных случая в рамках второй стратегии:

–ресурсов  $M_{Si}^{**}$ , переданных системой-донором недостаточно для полной компенсации ЭР, т.е. передается лишь некоторая часть ресурсов, размер которых не компенсирует ЭР. Это означает, что необходимо использовать следующую систему-донор (при ее наличии);

–ресурсы, переданные другой системой, в полной мере обеспечивают снижение ЭР. Данный случай, сводится к первому подходу, поэтому далее рассматривается только первый частный случай.

Вторая стратегия более сложна, поскольку для снижения ЭР системы-объекта влияния могут быть

использованы ресурсы всех систем-доноров (с учетом связей), что может привести к ситуации, когда системы-доноры не смогут снизить свои собственные ЭР (поскольку сами являются объектами влияния других систем). Для первой стратегии число возможных доноров будет меньше, поскольку определены более жесткие требования по передаче ресурсов другой системе.

Рассмотрим иллюстративный пример реализации двух стратегий.

Исходные данные для реализации стратегий, показаны в таблице 1.

В рамках рассматриваемого примера (см. рис.1) было получено: конечное перераспределение рисков и ресурсов (первая стратегия, см. таблицу 2); конеч-

Таблица 1

Исходные данные для реализации стратегий

Система	Локальный риск	Эмерджентный риск	Ресурс системы	Показатель безопасности, SI	RVI	SI/RVI, ИОУ
S <sub>1</sub>	$R_{S_1}^{Closed}(t)$	$R_{S_1}^{emerg}(t)$	$M_{S_1}$	Crt (S <sub>1</sub> )	RVI <sub>1</sub>	L <sub>1</sub>
S <sub>2</sub>	$R_{S_2}^{Closed}(t)$	$R_{S_2}^{emerg}(t)$	$M_{S_2}$	Crt (S <sub>2</sub> )	RVI <sub>2</sub>	L <sub>2</sub>
S <sub>3</sub>	$R_{S_3}^{Closed}(t)$	$R_{S_3}^{emerg}(t)$	$M_{S_3}$	Crt (S <sub>3</sub> )	RVI <sub>3</sub>	L <sub>3</sub>
S <sub>4</sub>	$R_{S_4}^{Closed}(t)$	$R_{S_4}^{emerg}(t)$	$M_{S_4}$	Crt (S <sub>4</sub> )	RVI <sub>4</sub>	L <sub>4</sub>
S <sub>5</sub>	$R_{S_5}^{Closed}(t)$	$R_{S_5}^{emerg}(t)$	$M_{S_5}$	Crt (S <sub>5</sub> )	RVI <sub>5</sub>	L <sub>5</sub>

Таблица 2

Конечное перераспределение рисков и ресурсов для первой стратегии

Система	Состояние ресурса, T <sub>0</sub>	Состояние ресурса, обусловленное его перераспределением, T <sub>1</sub>	Возможность парировать ЭР	Возможность парировать ЛР
S <sub>1</sub>	$M_{S_1}$	$M_{S_1} + M_{S_5}^* - M_{S_1}^* - M_{S_1}^{**}$	+	-
S <sub>2</sub>	$M_{S_2}$	$M_{S_2} + M_{S_1}^* - M_{S_2}^*$	+	-
S <sub>3</sub>	$M_{S_3}$	$M_{S_3} + M_{S_2}^*$	+	+
S <sub>4</sub>	$M_{S_4}$	$M_{S_4} - M_{S_4}^* + M_{S_1}^{**}$	+	-
S <sub>5</sub>	$M_{S_5}$	$M_{S_5} + M_{S_4}^* - M_{S_5}^*$	+	-

ное перераспределение рисков и ресурсов (вторая стратегия, см. таблицу 3). Специфической особенностью КИ является проведение управления рисками для всей КИ в целом. Снижение ЭР для конкретной системы происходит за счет выделения ресурсов всей КИ. Так, например, первая стратегия реализуется в два этапа: 1) выявляется система с низким уровнем ПБ и высоким уровнем рисков ресурсной недостаточности; 2) этой системе передаются ресурсы других систем (с учетом ограничений по связям), при условии, что их ЭР могут быть парированы имеющимися ресурсами этих систем.

**Комментарии.** При использовании первой стратегии общие ЭР всей КИ сбалансированы, поскольку системы передают свои ресурсы на их снижение. При этом, если системам первоначально были выделены избыточные ресурсы для снижения ЛР (с некоторым запасом), то в КИ балансируются и ЛР.

Очевидно, что вторая стратегия не только не позволяет снижать ЭР, но и не может обеспечить снижение ЛР для отдельных систем (при условии, что переданных ресурсов недостаточно для снижения ЭР). В этой связи КИ не может обеспечить требуемый уровень ПБ. Для КИ целесообразно выделить дополнительные ресурсы.

### Выводы

Таким образом, сформированные стратегии, реализуемые путем перераспределения ресурсов между системами в КИ, позволяют обеспечивать требуемый уровень ПБ и ЭР с учетом ограничений на ресурсы.

Каждая из предложенных стратегий учитывает индивидуальные предпочтения систем в КИ: передать столько ресурсов сколько нужно или сколько возможно, с учетом оценки индивидуальных рисков.

Таблица 3

Конечное перераспределение рисков и ресурсов для второй стратегии

Система	Состояние ресурса, T <sub>0</sub>	Состояние ресурса, обусловленное его перераспределением, T <sub>1</sub>	Возможность парировать ЭР	Возможность парировать ЛР
S <sub>1</sub>	$M_{S_1}$	$M_{S_1} + M_{S_5}^{**} - M_{S_1}^{**} - M_{S_1}^{***}$	-	-
S <sub>2</sub>	$M_{S_2}$	$M_{S_2} + M_{S_1}^* - M_{S_2}^*$	-	-
S <sub>3</sub>	$M_{S_3}$	$M_{S_3} + M_{S_2}^*$	-	+
S <sub>4</sub>	$M_{S_4}$	$M_{S_4} - M_{S_4}^* + M_{S_1}^{**}$	-	-
S <sub>5</sub>	$M_{S_5}$	$M_{S_5} + M_{S_4}^* - M_{S_5}^*$	-	+

Первая стратегия предпочтительна при росте рисков аварий (сбоев) связанных с ЭР (необходимо повысить ПБ), вторая предполагает функционирование КИ в режиме умеренного риска. Таким образом, выбор стратегии обусловлен текущим ПБ систем, динамикой взаимодействия, ресурсной обеспеченностью КИ. С увеличением рисков аварий, целесообразно использовать первую стратегию. Мониторинг ЛР и ЭР позволит гибко выбирать ту или иную стратегию.

Для поддержки принятия решений и реализации подходов целесообразно разработать ИС.

*Направление дальнейших исследований.* Для реализации предложенных подходов к перераспределению ресурсов в КИ необходимо разработать инструментальное средство (ИС). Данное ИС должно позволять моделировать перераспределение с учетом характеристик систем, входящих в КИ (стратегия, начальное количество ресурсов, связи, ЛР и ЭР). Результатом применения ИС должно быть конечное состояние систем КИ с учетом используемой стратегии и рекомендации по улучшению ресурсообеспеченности каждой системы.

## Литература

1. Theocharidou, M. Risk assessment methodologies for critical infrastructure protection. Part II: A new approach [Электронный ресурс] / M. Theocharidou, G. Giannopoulos. – Режим доступа: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC96623/lbna27332enn.pdf>. – 3.11.2016.

2. Кутьин, Н. Г. Акт технического расследования причин аварии на Саяно-Шушенской ГЭС [Электронный ресурс] / Н. Г. Кутьин. – Режим доступа: <http://tayga.info/documents/3270/>. – 13.11.2009.

3. Tianyou, L. Analysis of Icing Accident in South China Power Grids in 2008 and its Countermeasures [Text] / Li Tianyou, Li Juanjuan // 20th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution / CIRED 2009–Prague, Czech Republic, 2009. – vol. 1. – P. 1–4.

4. Брежнев, Е. В. Метод выбора рациональной стратегии диверсности ИУС АЭС в условиях неопределенности [Текст] / Е. В. Брежнев // Системы управления, навигации та зв'язку. – 2012. – № 2 (23). – С. 156–159.

5. Волк, М. А. Методы распределения ресурсов для grid-систем [Текст] / М. А. Волк, Т. В. Филимончук, Р. Н. Гридель // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Харків, 2009. – Вып. 1(19). – С. 100–104.

6. Симоненко, В. П. Математическая постановка задачи динамического распределения работ в GRID системах и оценки качества решения [Текст] / В. П. Симоненко // Вісник Національного технічного університету України "Київський політех-

нічний інститут". Сер.: Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – 2011. – № 53. – С. 37–41.

7. Матвеев, Г. А. Модель динамического распределения ресурсов [Текст] / Г. А. Матвеев, Е. А. Трушкова // Вестник Бурятского Государственного Университета. – 2011. – № 9. – С. 274–279.

8. Попков, Ю. С. Макросистемы и GRID-технологии: моделирование динамических стохастических сетей [Текст] / Ю. С. Попков // Проблемы управления. – 2003. – № 3. – С. 10–20.

9. Поповский, В. В. Динамическое управление ресурсами ТКС: математические модели в пространстве состояний [Текст] / В. В. Поповский, А. В. Лемешко, О. Ю. Евсеева // Наукові записки УНДІЗ. – 2009. – № 1 (9). – С. 3–26.

10. Кошмарин, Д. В. Распределение канальных ресурсов в сетях когнитивного радио на основе теории игр [Текст] / Д. В. Кошмарин // Бизнес-информатика. – 2010. – № 4. – С. 48–45.

11. Экономика предприятия [Текст] : учеб. для вузов / Под общ. ред. В. Я. Горфинкеля. – 4-е изд. – М. : ЮНИТИ, 2007. – 670 с.

## References

1. Theocharidou, M., Giannopoulos, G. Risk assessment methodologies for critical infrastructure protection. Part II: A new approach. Available at: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC96623/lbna27332enn.pdf> (accessed 3.11.2016). (In Russian).

2. Kut'in, A. G. Akt tekhnicheskogo rassledovaniya prichin avarii na Sayano-Shushenskoi GES [Technical Investigation Act of causes of the accident at the Sayano-Shushenskaya HPP]. Available at: <http://tayga.info/documents/3270/> (accessed 13.11.2009).

3. Tianyou, L., Juanjuan, L. Analysis of Icing Accident in South China Power Grids in 2008 and its Countermeasures. Proceedings of the 20th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution CIRED 2009. Prague, Czech Republic, 2009, pp. 1-4.

4. Brezhnev, E. V. Metod vibora racionalnoy strategii diversnosti IUS AES v usloviyah neopredelenosti [The method of choice of rational diversity strategy IMS of NOO in the face of uncertainty]. *Sistemy upravlinnya, navigatsiyi ta zv'yazku – Control, navigation and communication systems*, Kyiv, 2012, no. 2 (23), pp. 156-159.

5. Volk, M. A., Fylymonchuk, T. V., Gridel, R. N. Metody raspredeleniya resursov dlya grid-sistem [Methods of resource allocation for grid-systems]. *Zbirnyk naukovykh prats' Kharkivskoho universytetu Povitryanykh Syl. – Scientific works of Kharkiv Air Force University*, Kharkiv, 2009, no. 1 (19), pp. 100-104.

6. Symonenko, V. P. Matematicheskaya postanovka zadachi dinamicheskogo raspredeleniya rabot v GRID sistemax i ocenki kachestva resheniya [The



mathematical formulation of the problem of work dynamic allocation in GRID systems and evaluation of solution quality]. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu Ukrainy "Kyiv's'kyu politekhnichnyu instytut". Ser.: Informatyka, upravlinnya ta obchyslyval'na tekhnika – Proceedings of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". Ser. Informatics, Management and Computing*, Kyiv, 2011, no. 53, pp. 37-41.

7. Matveev, G. A., Trushkova, E. A. Model' dinamicheskogo raspredeleniya resursov [Model of dynamic resource allocation]. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. – Journal of Buryat State University*, Ulan-Ude, 2011, no. 9, pp. 274-279.

8. Popkov, Yu. S. Makrosistemy i GRID-tekhnologii: modelirovanie dinamicheskix stoxasticheskix setej [Macrosystems and GRID-technologies:

simulation of dynamic stochastic network]. *Problemy upravleniya*, Moscow, 2003, no. 8, pp. 10-20.

9. Popovskij, V. V., Lemeshko, A. V., Evseeva, O. Yu. Dinamicheskoe upravlenie resursami TKS: matematicheskie modeli v prostranstve sostoyanij [TCS's resources dynamic control: the state-space based mathematical models]. *Scientific notes of UNDIZ*, Kyiv, 2009, no. 1 (9), pp. 3-26.

10. Oshmarin, D. V. Raspredelenie kanal'nykh resursov v setyax kognitivnogo radio na osnove teorii igr [Distribution of channel resources in cognitive radio networks based on game theory]. *Biznes-informatika – Business Informatics*, Moscow, 2010, no. 4, pp. 38-45.

11. Gorfinkel, V. Ya. *Jekonomika predpriyatija: Uchebnik* [Business Economics: Textbook]. Banki i birzhi [Banks and exchange]. Moscow, JuNITI Publ., 2007. 670 p.

*Поступила в редакцію 20.11.2016, рассмотрена на редколлегии 09.12.2016*

## СТРАТЕГІЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ КРИТИЧНИХ ІНФРАСТРУКТУР З УРАХУВАННЯМ ЕМЕРДЖЕНТНОГО РИЗИКУ

*Є. В. Брежнев*

Критичні інфраструктури (КІ, система з систем) є основою розвитку сучасного суспільства. КІ складається з взаємодіючих між собою систем, об'єднаних для реалізації загальної цільової функції. Збої і аварії в КІ характеризуються високою тяжкістю наслідків. Однією з причин аварій (збоїв) в роботі КІ є недосконалість методик ризик-аналізу, зокрема, неврахування емерджентних ризиків (ЕР), пов'язаних з негативним взаємовпливом між системами. Відомі дві стратегії зниження ЕР в КІ: використання диверсності (off-line risk management) та перерозподіл ресурсів між системами (on-line risk management). В рамках даної статті сформульовано задачу перерозподілу ресурсів КІ і запропоновано дві додаткові стратегії для зниження ЕР. Основна відмінність запропонованих стратегій - облік індивідуальних переваг систем КІ, при яких перерозподіл відбувається з урахуванням (без урахування) можливостей систем до зниження своїх ЕР і забезпечення необхідних значень показників безпеки. У статті проведено порівняльний аналіз запропонованих стратегій.

**Ключові слова:** критичні інфраструктури, безпека, перерозподіл ресурсів, емерджентні ризики, взаємовплив.

## CRITICAL INFRASTRUCTURES' SAFETY ASSURANCE STRATEGIES WITH CONSIDERATION OF EMERGENT RISK

*E. V. Brezhnev*

Critical infrastructures (CI, system of systems) are the basis of modern society. CI consists of interacting systems, which are combined for the realization of the objective function. Crashes and accidents in CI have a high severity of consequences. One of the causes of accidents (crashes) in CI is the imperfection of methods of risk analysis, particularly, neglecting of emergent risks (ER) related to negative interference between systems. There are two strategies of ER reducing in CI: off-line risk management and the redistribution of resources systems. The task of allocating resources of CI is formulated within the article and two additional strategies of reallocation are proposed. The main difference of these approaches is taking into account individual preferences of systems in CI. Redistribution takes placetaking into account (excluding) the capabilities of systems to reduce their ER and ensure the required safety performance values. The article gives a comparative analysis of the proposed strategies

**Keywords:** critical infrastructure, security, redistribution of resources, emergent risks, interference.

**Брежнев Евгений Витальевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры компьютерных систем и сетей, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: milestone@list.ru.

**Brezhnev Evgenii Vitalyevich** – Candidate of Technical Science, Assistant Professor of Dept. Of Computer Systems and Networks, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “KhAI”, Kharkov, Ukraine, e-mail: milestone@list.ru.