

<http://dx.doi.org/10.15589/jnn20140512>

УДК 519.8

К 56

ASSURANCE NETWORKS IN QUALITATIVE ANALYSIS OF PROJECTS OF TECHNICAL DIAGNOSTICS OF PORTAL CRANES

СЕТИ УВЕРЕННОСТЕЙ В КАЧЕСТВЕННОМ АНАЛИЗЕ ПРОЕКТОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ПОРТАЛЬНЫХ КРАНОВ

Ihor I. Kovalenko

igor.kovalenko@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0003-2655-6667

Anton V. Melnyk

anton.melnyk@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-6636-534X

И. И. Коваленко,

д-р техн. наук, проф.;

А. В. Мельник,

асп.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

Abstract. The main means of mechanization of technological processes of the functioning of sea and river ports, dockyards are ship repair enterprises are the lifting machines, and in particular, portal cranes (PC). Operability, performance and mode of operation of such cranes depend on their technical condition which is determined by the value of the defects (cracks, deformation, breaks of the elements of the tap metal construction, etc.). This approach in the diagnosis of the crane ignores the fact that such defects during operation of the PC are affected by a number of factors (technical, natural, human, loads characteristics etc.) which may affect their further development and thus result in an unusable state of the crane and thereby form an uncertain events system. This requires solving the problem of probabilistic inference which refers to the calculations of the probability of events based on the known probabilities of the other related events. To solve these problems several methods are proposed (output based on probability trees, probability trees, goal trees, etc.), however, such techniques have certain disadvantages along with their positive qualities. For example, when the number of uncertain events systems increase, the dimensions of the trees grow so fast that it becomes difficult to operate with them. Therefore, the approach based on the assurance networks seems promising to analyze such situations. This approach is demonstrated on the example of the problem of forecasting of the port gantry cranes performance.

Keywords: assurance networks; project management; technical diagnostics; gantry crane.

Аннотация. Предложен подход решения задачи вероятностного вывода с применением сетей уверенностей для качественного анализа в проектах технической диагностики портальных кранов. Такой подход продемонстрирован на примере задачи прогнозирования работоспособности портовых портальных кранов.

Ключевые слова: сети уверенностей; управление проектами; техническая диагностика; портальный кран.

Анотація. Запропоновано підхід розв'язання задачі ймовірнісного виводу з використанням мереж упевненостей для якісного аналізу в проектах технічної діагностики портальних кранів. Такий підхід продемонстровано на прикладі задачі прогнозування працездатності портових портальних кранів.

Ключові слова: мережі упевненостей; управління проектами; технічна діагностика; портальний кран.

REFERENCES

- [1] Boyko G.A. Kontseptsiya otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya gruzopodemnykh kranov (The concept of evaluation of the technical condition of hoisting cranes). *Tekhnicheskie nauki – Technical sciences*, 2011. Available at: <http://dspace.snu.edu.ua:8080/jspui/bitstream/123456789/1517/1/Bojko.pdf> (Accessed 5 May 2014).
- [2] Borisov A.N., Uzhga-Rebrov O.I., Savchenko K.I. *Veroyatnostnyy vyvod v intellektualnykh sistemakh* [Probabilistic inference in intelligent systems]. Riga, 2002. – 213 p.
- [3] Klimchuk S.A. Primenenie pretsedentov dlya diagnostiki kranov mostovogo tipa (Application of precedents for the diagnosis of bridge cranes). *Systemni doslidzhennia ta informatsiini tekhnolohii – System Research and Information Technologies*, 2012, no. 4. pp. 17–22. Available at: <http://journal.iasa.kpi.ua/archive/2012/No4/2012-n4-klimchuk-text> (Accessed 5 April 2014).

- [4] Nezhentsev A.B. Opredelenie fakticheskogo rezhima raboty gruzopodemnykh kranov pri ekspertnom obsledovanii (Determination of the actual mode of operation of hoisting cranes with expert survey). *Tekhnicheskie nauki – Technical sciences*, 2007. Available at: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Vsunud/2009-3E/09nabpeo.htm> (Accessed 5 May 2014).
- [5] *Orhanizatsiino-metodychnyi dokument: OMD 22460848.003-2012. Krany portalni, krany-perevantazhuvachi. Ekspertne obstezhennia* [Organizational and methodical document: OMD 22460848.003-2012. Portal cranes, cranes-conveyors. Expert inspection]. Kyiv, 2012. 136 p.
- [6] Sakara A.A., Evdokimov V.D. Ostatochnyy resurs portalnykh kranov i ego opredelenie («Residual life of portal cranes and its definition», The electronic edition). *Visnyk Odeskoho natsionalnoho morskoho universytetu – Bulletin of the Odessa National Maritime University*, 2008. pp. 148-157. Available at: <http://www.osmu.odessa.ua/public/other/publishing/vesnik26/Sakara%20A.A.pdf> (Accessed 3 May 2014).

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Основным средством механизации технологических процессов функционирования морских и речных портов, судостроительных и судоремонтных предприятий являются грузоподъемные машины (ГПМ) и, в частности, порталные краны (ПК). Работоспособность, производительность и режим эксплуатации таких кранов зависят от их технического состояния (ТС). Для определения ТС грузоподъемные машины подвергаются экспертным обследованиям (диагностированию) в соответствии с принятыми организационно-методическими документами (ОМД) [5]. Согласно этим документам перед осуществлением погрузочно-разгрузочных работ техническое состояние ГПМ определяется по значению имеющихся дефектов (трещины, деформации, разрывы элементов металлоконструкции ПК и т. д.). По результатам экспертного обследования для лица, принимающего решение (ЛПР), формируются рекомендации относительно дальнейшего режима эксплуатации ГПМ (вывод крана из эксплуатации; проведение мероприятий по снижению нагрузок на дефектный узел; продолжение эксплуатации ГПМ с паспортными характеристиками ПК и др.). Однако такой подход при диагностировании ПК не учитывает, что такие дефекты в процессе эксплуатации ГПМ подвержены влиянию ряда факторов (технических, природных, человеческих, характеристик грузов и др.), которые могут привести ГПМ в неработоспособное состояние, и, таким образом, формируют систему неопределенных событий. Это требует решения задачи вероятностного вывода, под которым понимают расчеты вероятностей осуществления событий на основе известных вероятностей осуществления других, связанных с ними событий [2].

Для решения подобных задач предложено несколько методов (вывод на основе деревьев вероятностей, деревья решений, деревья целей и т. д.), однако наряду с положительными свойствами такие методы имеют и определенные недостатки. Например, при росте числа систем неопределенных событий размеры деревьев растут так быстро, что становится трудно оперировать ими. Поэтому для анализа таких

ситуаций перспективным видится подход на основе сетей уверенностей (СУ) [2], которые в последнее время находят широкое применение в теории принятия решений.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Существующие методы диагностирования и оценки ТС ПК не охватывают в достаточном объеме спектр внешних и эксплуатационных воздействий, которым подвергаются ГПМ в процессе их эксплуатации. В работах [1, 3, 4, 6] предлагается использовать методику оценки ТС грузоподъемных кранов, базирующуюся на применении обобщенного (комплексного) параметра (критерия), учитывающую несколько параметров, характеризующих ТС элементов металлоконструкции кранов. В работе [3] предложена система поддержки принятия решения технической диагностики кранов на основе формирования баз данных прецедентов. Известна также методика [4] определения фактической группы классификации (режима работы) грузоподъемных кранов, основанная на величине их удельного энергопотребления.

В целом рассмотренные подходы основаны на количественном анализе и не учитывают ситуации, связанные со случайными событиями, осуществление которых может повлиять на ТС кранов в процессе их эксплуатации. В связи с этим, как упоминалось выше, определение вероятности осуществления случайных событий с помощью СУ может предоставить возможность решения такой задачи.

ЦЕЛЬЮ СТАТЬИ является разработка подхода, направленного на прогнозирование состояния дефектов металлоконструкции кранов с использованием сетей уверенностей.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Следует отметить, что несмотря на существование ряда достаточно строгих итерационных алгоритмов проведения расчетов на СУ, задачи такого рода относятся к классу NP-сложных и характеризуются объемом вычислений и экспоненциально растущим временем вывода в зависимости от размера сети

уверенностей. Поэтому рассмотрим упрощенную версию расчета распространения вероятностей на СУ посредством использования алгоритма, предложенного в работе [2].

Пусть имеется группа неопределенных событий с априорным распределением вероятностей их осуществления: $S_1 = \{s_1^i, p(s_1^i) / i = 1, \dots, n_1\}$. Предположим, что некоторое событие S_2 имеет отношение к шансам осуществления событий из S_1 , которые представляются в виде вектор-столбца уверенностей:

$$\lambda_{S_2}(S_1) = \begin{bmatrix} p(S_2/S_1^1) \\ p(S_2/S_1^2) \\ \dots \\ p(S_2/S_1^{n_1}) \end{bmatrix}$$

Пересмотренное (апостериорное) распределение вероятностей (уверенностей) наступления событий из S_1 для случая возможного наступления события S_2 может быть рассчитано на основании теоремы Байеса по следующей формуле:

$$p(S_1/S_2) = \alpha \cdot \lambda \cdot S_2(S_1) \cdot p(S_1),$$

где $p(S_1/S_2)$ – пересмотренное распределение вероятностей осуществления событий из S_1 ; α – нормирующая константа, вводимая для того, чтобы сумма апостериорных вероятностей была равна 1; $\lambda \times S_2(S_1)$ – вектор-столбец уверенностей наступления события S_2 для всех событий из S_1 (в случае, если вместо единственного события S_2 речь идет о множестве событий, вектор-столбец $\lambda \times S_2$ превращается в матрицу уверенностей); $p(S_1)$ – априорное распределение вероятностей осуществления событий из S_1 . Величина λ для начальных узлов сети устанавливается равной 1, поскольку они характеризуются только безусловными вероятностями осуществления событий.

В качестве примера рассмотрим задачу прогнозирования работоспособности портового крана на основании результатов его диагностирования. Пусть при проведении экспертного обследования были обнаружены дефекты, представленные трещинами и разрывами определенных размеров в его несущих

металлоконструкциях. На основании этого необходимо сформировать следующие рекомендации для лица, принимающего решение:

- остановка крана не производится;
- кран останавливается и выполняется его ремонт.

Предварительно выдвигаются две гипотезы, характеризующие состояние дефектов: развитие трещин и разрывов с вероятностью $p_1 = 1$ не произойдет в течение некоторого времени; с вероятностью $p_2 = 0,3$ такой процесс будет развиваться.

Для оценки уверенности, что первое состояние дефектов будет иметь место, необходима дополнительная информация, которая может быть получена, например, из следующих источников.

1. Априорные вероятности возможных состояний дефектов могут быть получены посредством анализа отчетов по проведению диагностики кранов одной специализированной организации. Например, анализ таких отчетов за последние 10 лет показал, что в течение 6 лет наблюдалось развитие дефектов и 4 лет их развитие не наблюдалось. Таким образом, априорные вероятности интересующих нас событий будут:

- S_1^1 – развитие дефектов не наблюдалось: $p(S_1^1) = 0,6$;
- S_1^2 – дефекты развивались: $p(S_1^2) = 0,4$.

2. Вторым источником информации могут быть данные, полученные от целого ряда родственных организаций, также занимающихся диагностическими работами. Пусть, исходя из данной информации, получили следующие вероятности состояний дефектов:

- S_1^1 – развитие дефектов не наблюдалось: $p(S_1^1) = 0,1$;
- S_1^2 – дефекты развивались: $p(S_1^2) = 0,9$.

3. В качестве третьего источника информации могут быть использованы результаты анализа указанных дефектов, выполненного некоторой научно-исследовательской организацией. Эти результаты, например, показатели, что подтверждаемость таких прогнозов не превышает 60 %.

Всю эту исходную информацию можно использовать для построения СУ и последующего выполнения расчетов на ней (рис. 1).

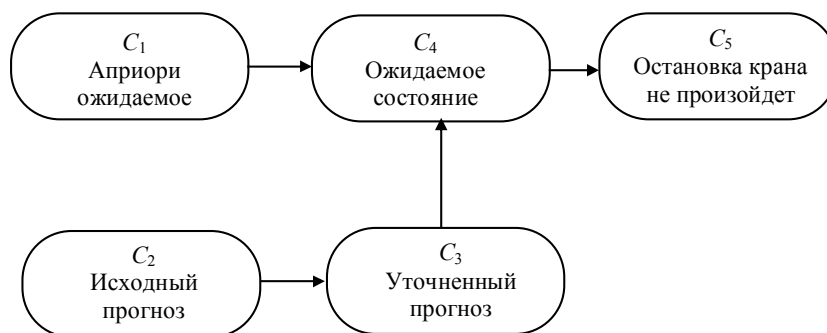


Рис. 1. Сеть уверенностей задачи оценивания работоспособности крана

Для отображения информации, характеризующей каждый узел сети, строятся (формируются) соответствующие таблицы. Так, например, для узлов C_1 и C_2 такие таблицы имеют вид, показанный на рис. 2.

C_1	C_2
S_1 – дефект развивается/не развивается	S_2 – дефект развивается/не развивается
$\pi = \begin{pmatrix} 0,6 \\ 0,4 \end{pmatrix}$	$\pi = \begin{pmatrix} 0,1 \\ 0,9 \end{pmatrix}$
$\lambda = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$	$\lambda = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$
$\beta = \pi \cdot \lambda = \begin{pmatrix} 0,6 \\ 0,4 \end{pmatrix}$	$\beta = \pi \cdot \lambda = \begin{pmatrix} 0,1 \\ 0,9 \end{pmatrix}$

Рис. 2. Информация в узлах C_1 и C_2

Анализ сети начинается с этих узлов, потому что события в них являются условно независимыми от некоторых других событий. В первой строке таблицы размещается перечень событий, связанных с данным узлом.

Вектор-столбец π в следующей строке отражает начальные (априорные) вероятности осуществления событий. Вектор-столбец λ в третьей строке таблицы отражает шансы наступления некоторого события (событий), имеющего отношение к событиям в данном узле. В данном случае C_1 и C_2 являются начальными узлами и для них $\lambda = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$, поскольку имеем дело только с безусловными вероятностями осуществления событий. Последняя строка таблицы отражает пересмотренные уверенности β осуществления событий в узле. В рассматриваемом случае β в каждой из таблиц просто равны начальным вероятностям π .

Поскольку события в узле C_2 влияют на вероятности осуществления событий в узле C_3 , представим всю имеющуюся информацию в двух связанных таблицах (рис. 3).

C_2	C_3
S_2 – дефект развивается/не развивается	S_3 – дефект развивается/не развивается
$\pi = \begin{pmatrix} 0,1 \\ 0,9 \end{pmatrix}$	$\pi = \begin{pmatrix} 0,1 \\ 0,9 \end{pmatrix}$
$\lambda = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$	$\lambda = \begin{pmatrix} 0,6 & 0,4 \\ 0,4 & 0,6 \end{pmatrix}$
$\beta = \begin{pmatrix} 0,1 \\ 0,9 \end{pmatrix}$	$\beta = \pi \cdot \lambda^T = \begin{pmatrix} 0,42 \\ 0,58 \end{pmatrix}$

Рис. 3. Информация в узлах C_2 и C_3

Расчет всех необходимых данных в таблице для узла C_3 производится следующим образом. Значение β из таблицы для узла C_2 передается в таблицу для узла C_3 и выступает здесь в качестве значений начальных вероятностей π .

Матрица значений λ определяется следующим образом:

	Ожидаемое состояние дефектов:	
	развивается	не развивается
Прогноз:	дефект развивается	дефект не развивается
	$\lambda = \begin{pmatrix} 0,6 & 0,4 \\ 0,4 & 0,6 \end{pmatrix}$	

Числа, образующие матрицу λ , есть не что иное, как условные вероятности ожидаемых состояний дефектов при исходном прогнозе. Они отражают только подтверждаемость прогноза, равную 60 %.

Для расчета уверенностей β в таблице для узла C_3 воспользуемся формулой Байеса в матричной форме

$$\beta = \alpha \cdot \lambda^T \cdot \pi.$$

Тогда можно рассчитать вектор значений β :

$$\beta = \begin{pmatrix} 0,6 & 0,4 \\ 0,4 & 0,6 \end{pmatrix}^T \cdot \begin{pmatrix} 0,1 \\ 0,9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,6 & 0,4 \\ 0,4 & 0,6 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0,1 \\ 0,9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,06 + 0,36 \\ 0,04 + 0,54 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,42 \\ 0,58 \end{pmatrix}.$$

Определять значение нормирующей константы α нет необходимости, поскольку сумма значений β равна 1. Полученные результаты говорят о том, что на основании исходного прогноза и ожидаемой точности этого прогноза уверенность в том, что дефект будет развиваться, равна 0,42, а, соответственно, уверенность в его развитии равна 0,58.

Таким образом, имеются два источника информации об ожидаемом состоянии дефектов. Один источник – статистические данные за последние 10 лет (узел C_1), второй – исходный прогноз с учетом его достоверности (узел C_3). Используя информацию в узлах C_1 и C_3 , рассчитаем уверенности ожидаемых состояний дефектов (рис. 4).

Значения β из узла C_1 транслируются в узел C_4 в качестве начальных вероятностей π . Значения β из узла C_3 транслируются в узел C_4 в качестве значений уверенностей λ . Чтобы рассчитать уверенности в узле C_4 , перемножим вектор-столбцы π и λ :

$$\beta = \pi \cdot \lambda = \begin{pmatrix} 0,6 \\ 0,4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0,42 \\ 0,58 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,25 \\ 0,23 \end{pmatrix}.$$

Для нормирования полученных значений β рассчитаем значения нормирующей константы α следующим образом:

$$\alpha = 1 / (0,25 + 0,23) = 2,08.$$

Тогда нормированные значения β в узле C_4 будут:

$$\beta = \begin{pmatrix} 0,25 \\ 0,23 \end{pmatrix} \cdot 2,08 = \begin{pmatrix} 0,52 \\ 0,48 \end{pmatrix}.$$

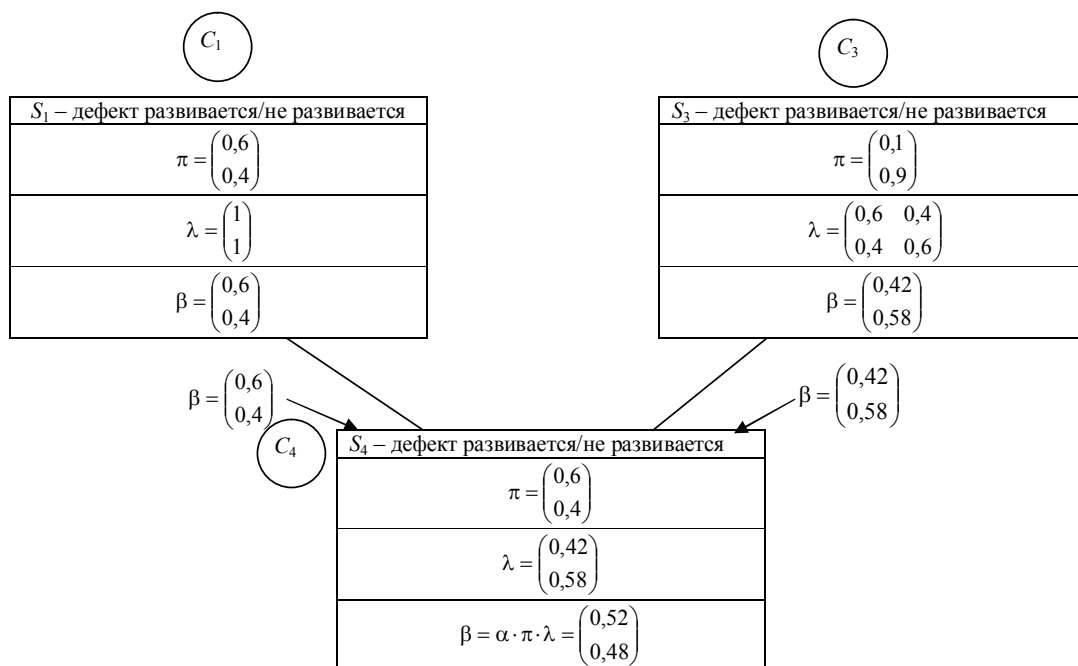


Рис. 4. Информация в узлах C_1, C_3, C_4

Теперь, когда есть вся необходимая информация для оценки уверенности того, что дефект металлоконструк-

ций не получит своего дальнейшего развития, рассмотрим информацию, относящуюся к узлам C_4 и C_5 (рис. 5).

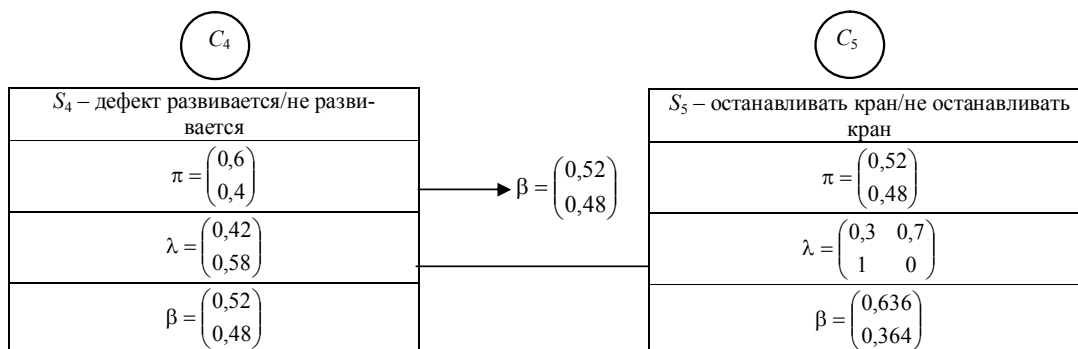


Рис. 5. Информация в узлах C_4 и C_5

Значения β из узла C_4 транслируются в узел C_5 в качестве значений априорных вероятностей. Матрица λ определяется на основе следующих данных:

Дефект развивается	Останавливать кран	Не останавливать кран
Дефект не развивается	$\lambda = \begin{pmatrix} 0,3 & 0,7 \\ 1 & 0 \end{pmatrix};$	

Значения β в узле C_5 рассчитываются аналогично:

$$\beta = \lambda^T \cdot \pi = \begin{pmatrix} 0,3 & 0,7 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}^T \cdot \begin{pmatrix} 0,52 \\ 0,48 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,3 & 1 \\ 0,7 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0,52 \\ 0,48 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,636 \\ 0,364 \end{pmatrix}.$$

Таким образом, уверенность в том, что кран не придется останавливать, равна $\approx 0,64$. Однако такой результат не вполне устраивает ЛПР, ответственного за данное решение.

Поэтому в качестве дополнительного источника информации, позволяющего получить новые значения уверенности, привлекаются экспертные оценки (знания). Вероятность того, что дефект не получит дальнейшего развития, эксперты оценивают, вопреки исходному прогнозу, как очень высокую и равную 0,95. Эксперты также уверены в своем прогнозе на 85 %. Для отображения нового источника информации преобразуем исходную сеть уверенности, как показано на рис. 6.

Пересчет уверенностей осуществления событий с учетом нового источника информации выполняется

по аналогии с предыдущими расчетами и представлен в виде таблиц на рис. 7–9.

$$\beta = \lambda^T \cdot \pi = \begin{pmatrix} 0,85 & 0,15 \\ 0,15 & 0,85 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0,05 \\ 0,95 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,042 + 0,1425 \\ 0,008 + 0,8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,185 \\ 0,88 \end{pmatrix};$$

$$\beta = \pi \cdot \lambda = \begin{pmatrix} 0,52 \\ 0,48 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0,185 \\ 0,88 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,1 \\ 0,42 \end{pmatrix}.$$

С учетом нормализации полученных значений имеем:

$$\alpha = 1 / (0,1 + 0,42) = 1,92;$$

$$\beta = \begin{pmatrix} 0,1 \\ 0,42 \end{pmatrix} \cdot 1,92 = \begin{pmatrix} 0,19 \\ 0,81 \end{pmatrix};$$

$$\beta = \lambda^T \cdot \pi = \begin{pmatrix} 0,3 & 0,7 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}^T \cdot \begin{pmatrix} 0,19 \\ 0,81 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,3 & 1 \\ 0,7 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0,19 \\ 0,81 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,06 + 0,81 \\ 0,13 + 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,87 \\ 0,13 \end{pmatrix}.$$

Привлечение дополнительной экспертной информации позволило повысить степень уверенности в том, что кран не придется останавливать, с вероятностью 0,87.

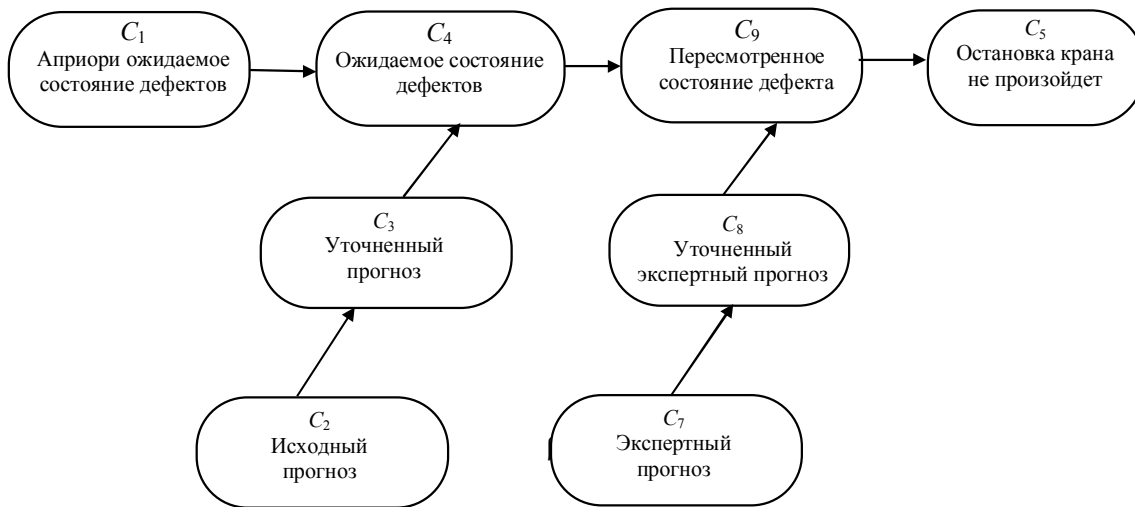


Рис. 6. Преобразованная сеть уверенностей

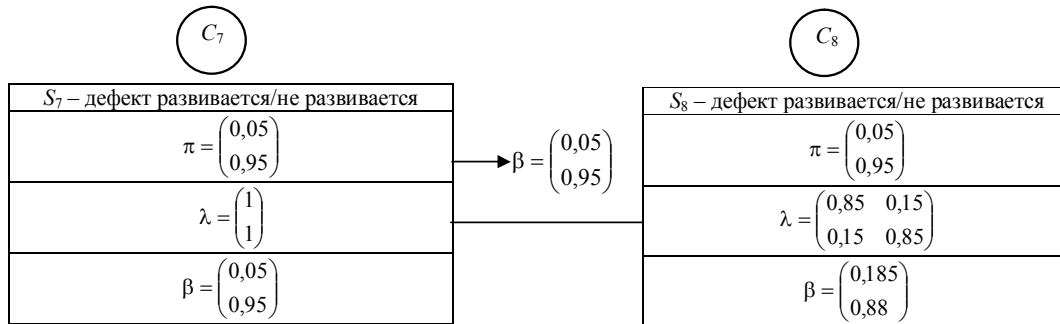


Рис. 7. Информация в узлах C₇ и C₈

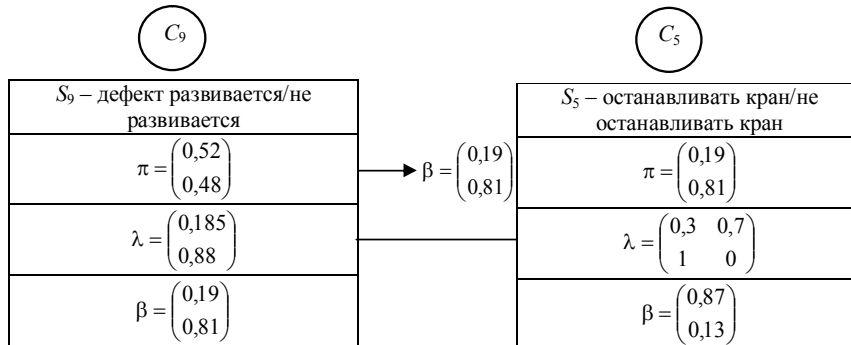


Рис. 8. Информация в узлах C₉, C₅

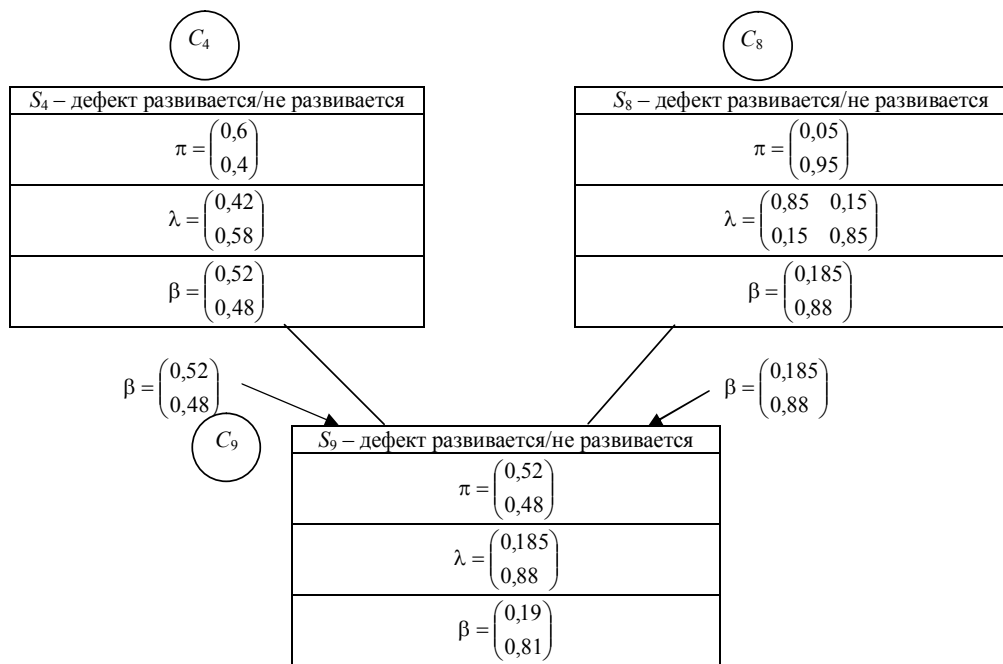


Рис. 9. Інформація в узлах C_4 , C_8 , C_9

ВЫВОДЫ

1. В основе приведенного алгоритма лежит идея пересчета априорных вероятностей по теореме Байеса в апостериорные вероятности с учетом информации о вероятностях осуществления событий, имеющих отношение к начальным событиям.

2. Процесс последовательно повторяется для всей совокупности узлов на сети. Конечным ре-

зультатом являются вероятности (уверенности) осуществления интересующих нас событий в конечном узле сети.

3. Рассмотренный алгоритм легко реализуется в программном отношении и может быть полезным при создании систем поддержки принятия решений для формирования рекомендаций ЛПР.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

[1] **Бойко, Г. А.** Концепция оценки технического состояния грузоподъемных кранов [Электронный ресурс] / Г. А. Бойко // Технические науки : сб. науч. публикаций. – Луганск : ВНУ, 2011. – Режим доступа: <http://dspace.snu.edu.ua>.

[2] **Борисов, А. Н.** Вероятностный вывод в интеллектуальных системах [Текст] : учеб. пособие / А. Н. Борисов, О. И. Ужта-Ребров, К. И. Савченко. – Рига, 2002. – 213 с.

[3] **Климчук, С. А.** Применение прецедентов для диагностики кранов мостового типа [Электронный ресурс] / С. А. Климчук // Системні дослідження та інформаційні технології = System Research & Information Technologies. – 2012. – № 4. – С. 17–22. – Режим доступа: <http://journal.iasa.kpi.ua>.

[4] **Неженцев, А. Б.** Определение фактического режима работы грузоподъемных кранов при экспертном обследовании [Электронный ресурс] / А. Б. Неженцев // Технические науки : сб. науч. публикаций. – Луганск : ВНУ, 2007. – Режим доступа: <http://www.nbu.gov.ua>.

[5] **Організаційно-методичний документ: ОМД 22460848.003-2012.** Крани порталні, крани-перевантажувачі. Експертне обстеження [Текст]: проект. – К. : [б.в.], 2012. – 136 с.

[6] **Сакара, А. А.** Остаточный ресурс порталных кранов и его определение [Электронный ресурс] / А. А. Сакара, В. Д. Евдокимов // Электронное издание «Вісник Одеського національного морського університету». – О. : ОНМУ, 2008. – С. 148–157. – Режим доступа: <http://www.osmu.odessa.ua>.

© І. І. Коваленко, А. В. Мельник
 Надійшла до редколегії 30.06.2014
 Статтю рекомендує до друку
 д-р техн. наук, проф. С. Б. Приходько