

**М.А. Елисеева, К.Н. Маловик, А.Н. Мирошниченко**

## **МЕНЕДЖМЕНТ РЕСУРСОСПОСОБНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Рассмотрены подходы и содержание менеджмента ресурсоспособности оборудования горного производства, показатели которой должны иметь высокое качество оценивания и прогнозирования. Сформулированы научные задачи оценивания ресурсоспособности оборудования горного производства, для устранения которых выделены и рассмотрены определяющие составляющие менеджмента ресурсоспособности оборудования горного производства: совершенствование технологии ресурсного проектирования; применение инфологической модели для оценивания ресурсоспособности; экспертное оценивание и прогнозирование предотказных (преддефектных) и предельных состояний; дальнейшее развитие диаграммы Фармера для повышения качества оценивания рисков при контроле ресурсоспособности оборудования горного производства. На основании поведенного исследования и анализа подходов менеджмента ресурсоспособности оборудования горного производства, можно сделать вывод, что применение энтропийного критерия деградации позволяет прогнозировать область наследственных отказов, что минимизирует ошибки прогноза при менеджменте ресурсоспособности оборудования горного производства; развитие диаграммы Фармера может повысить качество менеджмента ресурсоспособности оборудования горного производства, что позволяет делать сравнительный анализ о свойствах риска в различных предположениях о зависимости вероятности исходных событий аварий (отказов) и ушибов.

*Ключевые слова:* оборудование горного производства, менеджмент ресурсоспособности, прогнозирование, наследственные отказы, диаграмма Фармера, риск.

---

**О**борудование горного производства (ОГП) как и другие экологические, энергетические и транспортные комплексы является объектами критического применения в том смысле, что взаимосвязанная последовательность повреждений на этапах их производства и эксплуатации может в большинстве случаев привести к авариям, носящим характер катастроф. Анализ разных аварий и критических ситуаций на объектах критического применения показывает [1], что они имеют системные причины, которые в обобщенном виде можно сформулировать как недостаточное качество культуры их безопасности, основным определяющим фактором которой является их надежность. Одной из важных

комплексных технических характеристик надежности является ресурсоспособность (РС), показатели которой должны иметь высокое качество оценивания и прогнозирования [1]. Актуальность качественной оценки реального уровня РС объектов критического применения, подверженных при эксплуатации воздействию процессов старения, усталости, излома, деформации, эрозии, коррозии и др., характеризуется большим числом ОГП, имеющих выработку ресурса, близкую к установленной проектом, а проблемы оценивания РС ОГП формулируются следующим образом [2]:

- непредсказуемость фактического ресурса эксплуатации конкретного ОГП;

- не разработана теория оценивания и прогнозирования РС при неопределенности эксплуатационных данных ОГП;

- не разработаны модели оценки влияния показателей РС на степень риска критических ситуаций ОГП;

- не решена задача индивидуального прогнозирования РС ОГП.

Известно [1], что при проектировании горных предприятий наибольший интерес представляет применение:

- метода экспертной оценки показателей ресурсоспособности, который учитывает необходимость выполнения инфологического моделирования и влияния меры компетентности экспертов;

- метода оценки компетентности экспертов, основанного на использовании компетенций как нечетких дискретных величин;

- методологии оценки рисков при контроле показателей РС сложных ОГП.

Таким образом, можно считать, что менеджмент ресурсоспособности ОГП определяется, прежде всего, следующими составляющими:

- обеспечение научно-технической обоснованности принимаемых решений на основе совершенствования технологии ресурсного проектирования;

- применение инфологической модели для оценивания РС ОГП;

- экспертное оценивание и прогнозирование предотказных (преддефектных) и предельных состояний ОГП;

- дальнейшее развитие диаграммы Фармера для повышения качества оценивания рисков при контроле ресурсоспособности ОГП.

Рассмотрим четыре указанных составляющих менеджмента ресурсоспособности ОГП.

1. Совершенствование технологии ресурсного проектирования ОГП заключается в выполнении корректирующих действий, содержание работ которых состоит в следующем:

- исследование и уточнение условий эксплуатации проектируемого ОГП с помощью имитационного и физического моделирования процессов оценивания и прогнозирования показателей РС;

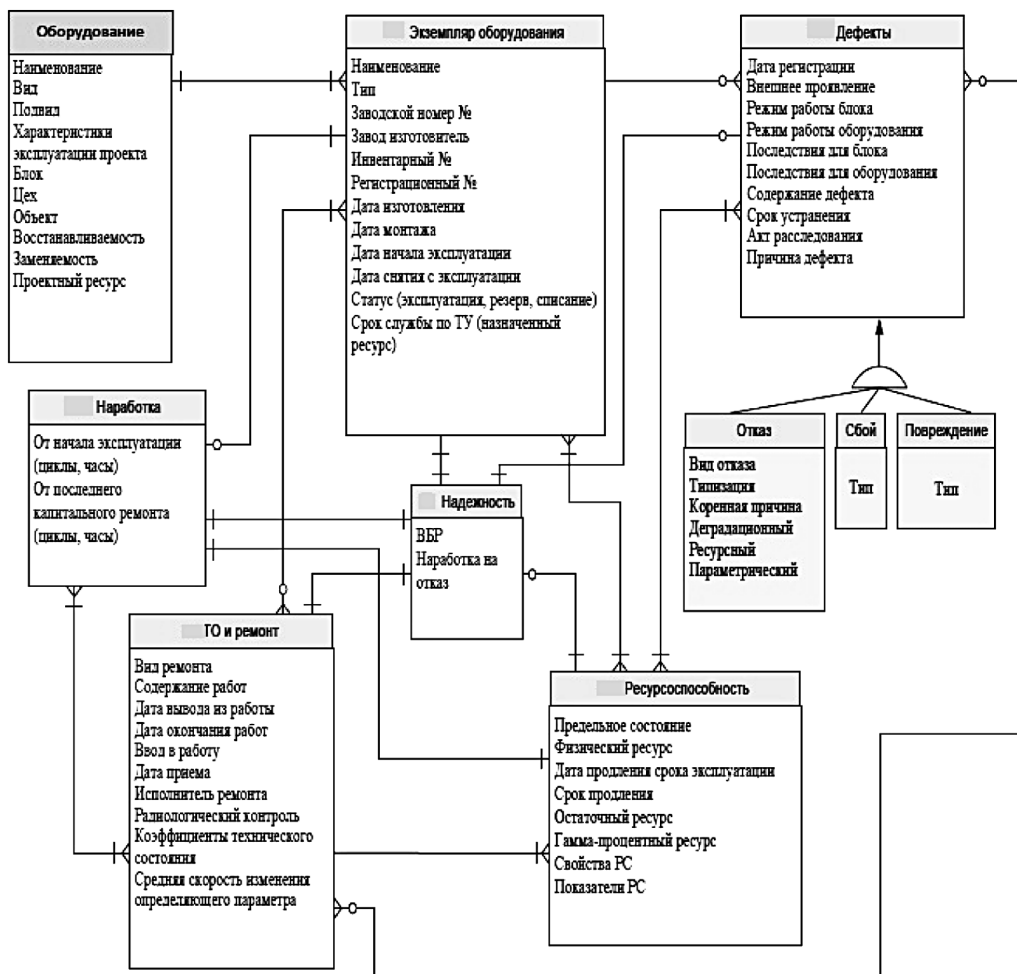
- исследование, научно-техническое обоснование и выбор показателей РС разрабатываемого ОГП, а также нормативно-методическое обеспечение их оценивания и прогнозирования, включающие указание допусковых областей при оптимистическом и пессимистическом характере прогноза;

- исследование параметрической избыточности ОГП на этапе их разработки в целях выявления условий возникновения предотказных (преддефектных) состояний и остаточной дефектности, время развития которых определяют методы их оценивания и прогнозирования;

- определение на этапе проектирования ОГП выбранных показателей РС с целью их нормирования и стандартизации в конструкторской и технологической документации;

- применение экспертного оценивания, инфологического моделирования, методов оценивания предельных состояний ОГП на всех этапах его жизненного цикла, а также обязательное оценивание рисков при формировании технических заключений о состоянии РС.

2. Процесс оценивания показателей РС должен включать компиляцию используемых в настоящее время методов и оценку их применимости; испытания и контроль естественно стареющих компонентов и сравнение их результатов с прогнозированием показателей РС на основании фактической истории разработки, изготовления и эксплуатации ОГП, т.е. наследственности. Такая оценка и эффективное моделирование механизмов старения и деградации остается одним из наиболее сложных вопросов аттестации



**Рис. 1. Инфологическая модель для оценивания ресурсоспособности ОГП**

оборудования объектов критического применения, предусматривающих экспертную оценку [1]. Применяемые в настоящее время аналитические модели и критерии не являются достаточными для оценки показателей РС, поэтому целесообразна и необходима разработка дополнительных научно обоснованных критериев, доказательств и новых методов с применением нечетких математических моделей, что показано в работе [1].

С целью обеспечения информационной достаточности при принятии

решений о переназначении сроков эксплуатации ОГП или его долгосрочной эксплуатации показано применение инфологического моделирования предметной области для оценивания ресурсоспособности ОГП (рис. 1). Особенности разработанной инфологической модели является применение сущности «ресурсоспособность», имеющей обязательные и необязательные связи с остальными сущностями при оценивании надежности ОГП; определение суперсущности «дефекты», имеющей подтип «отказ», набор атрибутов

которого включает типизацию, а также их деградационный, ресурсный и параметрический характер.

Построение адекватной инфологической модели (рис. 1) способствует повышению качества требуемой информации и может снизить риски при принятии решений о безопасности и долгосрочной эксплуатации ОГП.

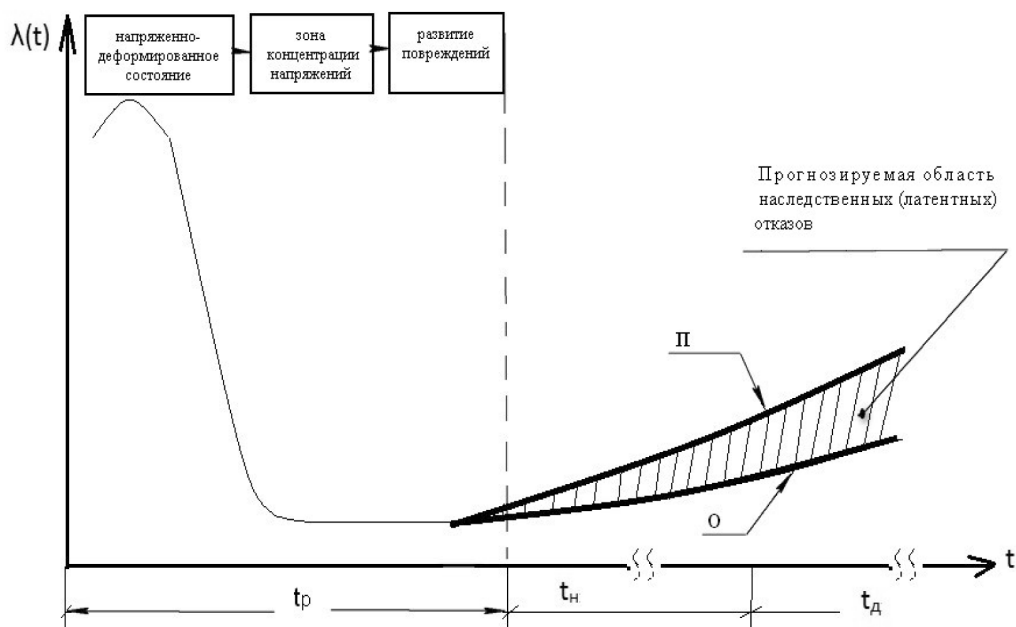
3. Рассматривая экспертное оценивание при контроле ресурсоспособности ОГП необходимо отметить, что процесс выбора экспертов является одним из сложных и наиболее важных. Это связано с тем, что следует учитывать степень компетентности экспертов, количественная характеристика которой отсутствует. В работе [1], показано, что в настоящее время для обеспечения достаточного уровня качества экспертного оценивания наиболее эффективно применение аппарата теории нечетких множеств позволяющего разработать метод количественной оценки компетентности эксперта на основе ее определения в виде нечеткой дискретной величины, значениями которой выступают необходимые компетенции экспертов, и применения нечеткого отношения преимущества. При этом определяется, что компе-

тентность эксперта это дискретная нечеткая величина, значениями которой выступают компетенции, необходимые для оценки технического состояния и показателей РС конкретного ОГП, а компетенции – свойства, характеристики, способности эксперта, которые необходимы для эффективного выполнения обязанностей эксперта в соответствующей области науки и техники, при оценке технического состояния и показателей РС конкретного ОГП. Это позволяет реализовать предложенный подход в виде способа оценки компетентности экспертов, функциональная схема которого показана на рис. 2 [1].

Разработанный способ позволяет повысить апостериорную оценку качества экспертного заключения, благодаря идентификации необходимого уровня компетенций для формирования группы экспертов установленной компетентности в интервале  $[0;1]$ ; сформулировать группы экспертов одинаковой компетентности на основании нечеткого отношения множества необходимых характеристик и универсума компетенций; учитывать риск при принятии решений благодаря использованию коэффициентов компетент-



Рис. 2. Способ оценки компетентности экспертов



**Рис. 3. Графическая иллюстрация прогнозирования наследственных отказов ОГП:**  $t_p$  – ранний этап развития дефектности, т.е. преддефектное состояние металла;  $t_n$  – назначенный ресурс;  $t_d$  – время, характеризующие предельное состояние

ности, а также максимуму и максимуму и максимальному композиционным профилям [1].

Следует отметить, что для дальнейшего развития предложенного подхода можно применять также теорию гиперслучайных явлений, которая позволяет более эффективно совершенствовать методологию оценивания технических рисков при контроле показателей РС, обеспечивая повышение качества принимаемых решений в условиях непредсказуемой изменчивости ОГП и статистических условий наблюдения [3].

При исследовании и контроле ресурсоспособности объектов критического применения всегда имеется определенная вероятность, при установленных на этапе разработки ОГП требованиях к процессам проверки, пропустить дефект (отказ). Следовательно, можно утверждать, что после изготовления, испытаний и восста-

новления ОГП могут остаться не выявленные дефекты (отказы), которые характеризуют остаточную дефектность, определяющую в конечном итоге предельность и ресурсоспособность конкретного исследуемого оборудования [4].

В общем случае каждый отказ (дефект) определяется конкретной конструкцией или производственными причинами, заложенными при его создании, что означает наследственный характер возникновения ненадежности любого оборудования, в том числе и ОГП. Следует отметить, что вопросы исследования дефектности, определяемой скрытым (латентным) характером протекающих процессов, очень мало освещены как в отечественной, так и зарубежной литературе. Поэтому при оценивании остаточной дефектности ОГП следует обеспечивать не только высокую достоверность неразрушающего контроля, но и принять дей-

ственные меры по выявлению отказов обусловленных наследственностью и накоплением надежности на разных этапах жизненного цикла ОГП, используя энтропийный критерий деградации [4]. Следовательно, можно построить прогнозируемую область наследственных (латентных) отказов, учитывая как их оптимистический, так и пессимистический характер (рис. 3).

Такой подход позволяет повысить качество оценивания ресурсоспособности с помощью более точного определения и остаточной дефектности ОГП, за счет более полного рассмотрения предотказных (предельных) состояний конкретного исследуемого оборудования.

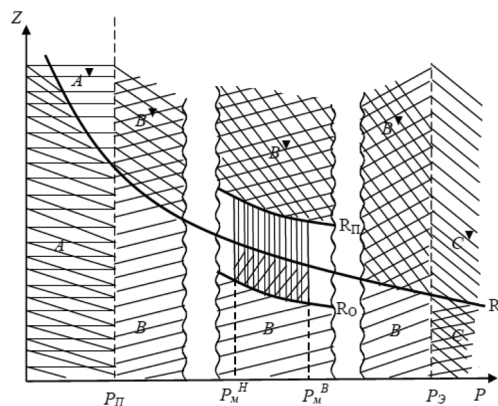
4. Проблема оценивания рисков, связанных с безопасной долгосрочной эксплуатацией ОГП и, в частности контроля их ресурсоспособности, получая в настоящее время особую остроту в связи с тем, что эксплуатируемые в настоящее время техногенные системы во многом исчерпали свой ресурс и требуется обоснованное принятие решений либо по его переназначению для долгосрочной эксплуатации, либо по выводу из эксплуатации такого оборудования. Эта проблема имеет также существенные социальные и экономические стороны, поэтому вопросы оценивания рисков при обосновании поддержки принятия решений исследуются особенно тщательно [1]. В атомной энергетике, в частности, принята концепция оценивания безопасности на основе риска, которая опирается на знание двух аргументов: величины ущерба и вероятности наступления факта аварий, отказов и геометрически интерпретируется диаграммой Фармера, которые представляют собой линии равного уровня.

Следует отметить [5], что одна из сложностей построения пространства рисков состоит в том, что ущербы от разных событий могут исчисляться в

разных единицах измерения, зачастую несопоставимых. При этом считаются независимыми переменные ущерб и вероятности отказа. Однако известная кривая Фармера описывает не что иное, как экспериментальную зависимость между дозой облучения в результате аварии и вероятностью аварии для атомных электростанций США. Поэтому можно предположить, что подобная зависимость является свойством системы спроектированной человеком, а не свойством природы ущербов  $Z$  и вероятностей  $P$  как таковых.

Учитывая сделанные предположения, а также материалы работы [6], для принятия решений по управлению рисками  $R$  при контроле ресурсоспособности ОГП предлагается дальнейшее развитие диаграммы Фармера графическая интерпретация (рис. 4), которой заключается в том, что если по оси  $P$  ввести  $P_{\Pi}$  – вероятность рисков, связанных с проектированием ОГП,  $P_{\Sigma}$  – вероятность рисков, связанных с переходом ОГП при эксплуатации в область предельных состояний, то можно выделить:

- область пониженного уровня риска, где  $A$  – зона априорного риска;  $B$  – зона риска возникающего при экс-



**Рис. 4. Графическая интерпретация развития диаграммы Фармера**

плуатации;  $C$  – зона риска, связанного с переходом ОГП в область предельных состояний;

- область повышенного уровня риска, где  $A'$  – зона рисков, связанных с наличием ошибок при проектировании;  $B'$  – зона рисков, связанных с нарушениями при эксплуатации;  $C'$  – зона рисков связанных с ошибками в оценивании и прогнозировании ресурсоспособности ОГП.

Одновременно при мониторинге показателей РС [6], можно выделить область неопределенности, с помощью кривых изориска при оптимистическом  $R_o$  и пессимистическом  $R_{\Pi}$  прогнозе, а также вероятности  $P_m^H$  и  $P_m^B$ , характеризующие нижнее и верхнее значение интервальной оценки соответственно (рис. 4).

В результате такого развития диаграммы Фармера показана возможность [6] повышения качества оценивания и прогнозирования риска за счет более точной и достоверной

оценки неопределенности и чувствительности, что позволяет считать такой подход более приемлемым при принятии решений о мониторинге и устойчивой долгосрочной эксплуатации ОГП.

## Выводы

На основании рассмотренных предложений и подходов можно заключить:

1. Применение энтропийного критерия деградации позволяет прогнозировать область наследственных отказов, что минимизирует ошибки прогноза при менеджменте ресурсоспособности ОГП.

2. Развитие диаграммы Фармера может повысить качество менеджмента ресурсоспособности ОГП, что позволяет делать сравнительный анализ о свойствах риска в различных предположениях о зависимости вероятности исходных событий аварий (отказов) и уשרбов.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маловик К.Н. Развитие научных основ повышения качества оценивания и прогнозирования ресурсных характеристик сложных объектов. Дис...канд. техн. наук. – Львов, 2013. – 332 с.

2. Маловик К.Н. Повышение качества оценивания ресурсоспособности оборудования АЭС // Вопросы атомной науки и техники (ВАНТ). – 2013 – № 5. – С. 69–73.

3. Елисеева М.А., Маловик К.Н. Прогнозирование остаточного ресурса сложных объектов методом гиперслучайных величин / Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния технических объектов. Мониторинг, диагностика и прогнозирование остаточного ресурса технических объектов: Материалы 5-й международной научно-технической конференции 24–25 сентября 2014 г. – Могилев: Белорусско-Российский университет, 2014. – С. 221–223.

4. Мирошниченко А.Н. Применение теории наследственности при оценивании остаточной дефектности трубопроводов АЭС / Наука и образование в XXI веке: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 31 октября 2014 г. Часть 17. – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2014. – С. 94–95.

5. Шевченко Е.Н. Математические модели техногенного риска от объектов обустройства нефтегазовых месторождений // Вестник кибернетики. – 2012. – № 11. – С. 76–80.

6. Маловик К.Н., Елисеева М.А. Оценка технического риска при мониторинге и устойчивой эксплуатации сложных объектов // Устойчивое развитие. Технологии охраны окружающей среды. – 2014 – № 20 август. – Болгария, Варна: Международная ассоциация «Устойчивое развитие» (МАУР). – С. 125–130. **ГИАБ**

Елисева Мария Александровна – преподаватель, аспирант, e-mail: marysia\_a\_a@mail.ru,  
Маловик Константин Николаевич – доктор технических наук, доцент,  
руководитель Института нанотехнологий информационно-измерительных  
и специализированных компьютерных систем, e-mail: konstmalovik@mail.ru,  
Мирошниченко Андрей Николаевич – преподаватель, аспирант,  
e-mail: miron0978@rambler.ru,  
299015, Севастополь, Россия.  
Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности.

---

UDC 519.21.001.8

### MANAGEMENT OF A RESOURCEABILITY OF THE EQUIPMENT OF MINING

Eliseeva M.A.<sup>1</sup>, Lecturer, Graduate Student, e-mail: marysia\_a\_a@mail.ru,  
Malovik K.N.<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor,  
Head of Institute of Technology of Measurement and Evaluation, e-mail: konstmalovik@mail.ru,  
Miroshnichenko A.N.<sup>1</sup>, Lecturer, Graduate Student, e-mail: miron0978@rambler.ru,  
<sup>1</sup> Sevastopol National University of Nuclear Energy and Industry, 299015, Sevastopol, Russia.

---

*In article approaches and the content of management of a resourceability of the equipment of mining which indicators have to have high quality of estimation and forecasting are considered. Scientific problems of estimation of a resourceability of the equipment of mining for which elimination the defining components of management of a resourceability of the equipment of mining are allocated and considered are formulated:*

- Improvement of technology of resource design;
- Application of infologicheskyy model for estimation of a resourceability;
- Expert estimation and forecasting of before the negative (before the defective) and limit states;
- Further development of the chart of Farmer for improvement of quality of estimation of risks at control of a resourceability of the equipment of mining.

*On the basis of the moved research and the analysis of approaches of management of a resourceability of the equipment of mining, it is possible to draw a conclusion that application of entropy criterion of degradation allows to predict area of hereditary refusals that minimizes forecast errors at management of a resourceability of the equipment of mining; development of the chart of Farmer can increase quality of management of a resourceability of the equipment of mining that allows to do the comparative analysis about properties of risk in various assumptions of dependence of probability of initial events of accidents (refusals) and damages.*

*Key words: equipment of mining, management of a resourceability, forecasting, hereditary refusals, Farmer's chart, risk.*

### REFERENCES

1. Malovik K.N. *Razvitie nauchnykh osnov povysheniya kachestva otsenivaniya i prognozirovaniya resursnykh kharakteristik slozhnykh ob"ektov* (Development of scientific bases of improvement of quality of estimation and forecasting of resource characteristics of difficult objects), Candidate's thesis, Lviv, 2013, 332 p.
2. Malovik K.N. *Voprosy atomnoy nauki i tekhniki (VANT)*. 2013, no 5, pp. 69–73.
3. Eliseeva M.A., Malovik K.N. *Sovremennyye metody i pribory kontrolya kachestva i diagnostiki sostoyaniya tekhnicheskikh ob"ektov. Monitoring, diagnostika i prognozirovanie ostatochnogo resursa tekhnicheskikh ob"ektov: Materialy 5-y mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii 24–25 sentyabrya 2014 g.* (Materials of the 5th international scientific and technical conference. Modern methods and devices of quality control and diagnostics of a condition of technical objects, 24–25 September 2014), Mogilev, Belorussko-Rossiyskiy universitet, 2014, pp. 221–223.
4. Miroshnichenko A.N. *Nauka i obrazovanie v XXI veke: sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 31 oktyabrya 2014 g. Chast' 17* (Collection of scientific works on materials of the International scientific and practical conference Science and education in the XXI century, 31 October 2014), Tambov, ООО «Konsaltingovaya kompaniya Yukom», 2014, pp. 94–95.
5. Shevchenko E.H. *Vestnik kibernetiki*. 2012, no 11, pp. 76–80.
6. Malovik K.N., Eliseeva M.A. *Ustoychivoe razvitie. Tekhnologii okhrany okruzhayushchey sredy*. 2014 № 20 August, pp. 125–130.