

2 МЕТОДИ І ПРИЛАДИ КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

УДК 622.673.1: 681.514.54

DOI 10.31471/1993-9981-2020-2(45)-32-39

ДОСТОВЕРНОСТЬ И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ В МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ

В.В. Лопатин

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук
України, вул. Сімферопольська 2а, м. Дніпро, 49005.
тел. (0562) 46-01-51, факс (0562) 46-24-26, vlor@ukr.net

Гірські і нафтогазові підприємства (ГНПП) України експлуатують потенційно небезпечне обладнання різних виробників, яке знаходиться на межі вироблення ресурсу, тому потрібне створення методів і засобів технологічного контролю, що відповідає нормативно-правовим актам і галузевим стандартам. Найбільш перспективними засобами технологічного контролю ГНПП є мобільні системи контролю (МСК). Процес виробничого контролю мобільними системами контролю ГНПП обумовлений граничними можливостями, закладеними фізичними процесуальними явищами які формують конкретний виробничий контроль. Викладена точка зору автора, що він розуміє під термінами перебраковка і недобраковка в МСК і свої погляди на інші істотні питання достовірності контролю. Запропоновано для підвищення достовірності адресного інструментального контролю провідників жорсткої армування шахтного стовбура використовувати коефіцієнт варіації глибини корозії для конкретної шахти. Детально розглянуто методику та технологія трипараметричного контролю МСК в загальному вигляді. Запропоновано використовувати діаграму Ісікава для виявлення причинно-наслідкових взаємозв'язків між факторами і наслідками в досліджуваній задачі контролю для знаходження оптимального варіанту вирішення. Викладена оригінальна точка зору технологічного контролю і запропоновано новий підхід визначення показників достовірності контролю ГНПП. Запропоновано використовувати аналіз бюджету невизначеності МСК для поліпшення методики контролю і підвищення точності МСК.

Ключові слова: мобільні системи контролю (МСК), достовірність контролю, оцінка інформативності, коефіцієнт варіації, бюджет невизначеності, діаграма Ісікава.

Mining and oil and gas enterprises (MOGE) of Ukraine operate potentially hazardous equipment of various manufacturers that are on the verge of developing a resource, therefore it is necessary to create methods and means of technological control that comply with regulatory legal acts and industry standards. The most promising means of technological control of MOGE are mobile control systems (MCS). The process of production control by mobile control systems of MOGE is determined by the maximum capabilities inherent in the physical process phenomena that form a specific production control. The author's point of view is stated that he understands the terms re-refining and non-refining in the MCS and his views on other significant issues of the reliability of control. It is proposed to use the coefficient of variation of the depth of corrosion for a specific mine to increase the reliability of targeted instrumental control of conductors of rigid reinforcement of a mine shaft. The methodology and technology of three-parameter control of MCSs in general are examined in detail. It is proposed to use the Ishikawa diagram to identify causal relationships between factors and consequences in the control problem under study in order to find the optimal solution. An original point of view of technological control is stated and a new approach is proposed for determining the reliability indicators of MOGE control. It is proposed to use the analysis of the budget for the uncertainty of MCSs to improve the control methodology and increase the accuracy of MCSs.

Key words: mobile control systems (MCS), reliability of control, assessment of information content, coefficient of variation, uncertainty budget, Ishikawa diagram.

Горные и нефтегазовые предприятия (ГНПП) Украины эксплуатируют потенциально опасное оборудование различных производителей находящееся на грани выработки ресурса, поэтому мутребуется

создание методов и средств технологического контроля, отвечающим нормативно-правовым актами отраслевым стандартам. Наиболее перспективными средствами технологического контроля ГНПП являются мобильные системы контроля (МСК). Процесс производственного контроля мобильными системами контроля ГНПП обусловлен предельными возможностями, заложенными физическими процессуальными явлениями которые формируют конкретный производственный контроль. Изложена точка зрения автора, что он понимает под терминами перебраковка и недобраковка в МСК и свои взгляды на другие существенные вопросы достоверности контроля. Предложено для повышения достоверности адресного инструментального контроля проводников жесткой армировки шахтного ствола использовать коэффициент вариации глубины коррозии для конкретной шахты. Подробно рассмотрена методика и технология трехпараметрического контроля МСК в общем виде. Предложено использовать диаграмму Исикавы для выявления причинно-следственных взаимосвязей между факторами и последствиями в исследуемой задаче контроля для нахождения оптимального варианта решения. Изложена оригинальная точка зрения технологического контроля и предложен новый подход определения показателей достоверности контроля ГНПП. Предложено использовать анализ бюджета неопределенности МСК для улучшения методики контроля и повышения точности МСК.

Ключевые слова :мобильные системы контроля (МСК),достоверность контроля, оценка информативности, коэффициент вариации,бюджет неопределенности, диаграмма Исикавы.

Формулировка проблемы.

Экономический кризис, спровоцированный пандемией каронавируса, ставит серьезные задачи достоверности контроля на горных и нефтегазовых предприятиях. Горные и нефтегазовые предприятия Украины имеют ряд своих существенных особенностей и специфики связанной с безопасностью и охраной труда. Специфика и сложность контроля технологических процессов в горной отрасли заключается в проблематичности использования приборов и оборудования без отраслевой (ведомственной) экспертизы на соответствие нормативно-правовым актам и отраслевым стандартам Украины (СОУ)с согласованием и утверждением актов отраслевой (ведомственной) приемки другую специфику [1-3].

Процесс производственного контроля мобильными системами контроля (МСК)на горных и нефтегазовых предприятиях (ГНПП) обусловлен предельными возможностями, заложенными физическими процессуальными явлениями которые формируют конкретный производственный контроль [1-3]. Практика автора убедительно показала, что не существует аккуратных и последовательных применений математических знаний в технике производственного контроля на ГНПП. Бытует заблуждение и мнение о том, что для получения правильного ответа по конкретному производственному контролю на ГНПП вполне достаточно аккуратно и последовательно

применить известный вычислительный метод, что на практике, как правило, не работает. Например, на одном из производственных совещаний было сообщение, что вероятность аварии подъемного сосуда равна 10^{-6} за один час его работы. Понятно, что результат 10^{-6} получен делением взятых за определенный промежуток времени аварий для определенной группы времени подъемных сосудов на общее число их работы. Автор считает, что к выводам, полученным подобным образом, нужно относиться как кне имеющим точный количественный смысл, т.к. затруднительно определить, вероятность какого именно события они характеризуют: слишком различны подъемные сосуды и условия их работы, чтобы можно было все промежутки их работы часовой длительностью считать ансамблем статистически однородных экспериментов. Не верифицированные вероятностные модели контроля на ГНПП оказываются на практике абсолютно бесполезными, могущими претендовать на некоторую «истинность» в «общем» или «целом». С точки зрения автора причина бытующего заблуждения связана с принципиальной неясностью понятия статистического ансамбля и в логических и последовательных противоречиях математической статистики.

Как известно достоверность контроля является основным показателем эффективности любого неразрушающего контроля (НК) [4, 5]. Под достоверностью

контроля МСК, автором понимается вероятность принятия безошибочных решений, по результатам НК с помощью МСК. Таким образом, в МСК устанавливаются конкретные параметры объекта контроля ГНПП, чтобы оценить возможности контроля МСК с вероятностной точки зрения.

Существует несколько взглядов и научных подходов определения показателей достоверности контроля [4-14]. Поэтому автор излагает свою точку зрения, что он понимает под терминами перебраковка и недобраковка в МСК и свои взгляды на другие существенные вопросы достоверности контроля.

Изложение основного материала и результаты исследований

В отличие от приведенного выше примера, неопределенность контроля мобильными системами контроля (МСК) является имеющую точный количественный смысл, количественную меру и оценку качества контроля параметра МСК достоверностью того, насколько надежной является полученный МСК результат. С точки зрения автора, перебраковка в МСК – ошибка первого рода с математической точки зрения и риск поставщика с практической (ложный брак). То есть МСК определяет объект контроля дефектным, когда параметры объекта контроля не выходят за рамки допустимых технических параметров на данный объект. Недобраковка в МСК - ошибка второго рода с математической точки зрения и риск потребителя с практической (скрытый брак). То есть МСК определяет объект контроля годным к эксплуатации, когда параметры объекта существенно выходят за рамки допустимых технических параметров на данный объект контроля.

Таким образом, неопределенность в МСК означает увеличение степени достоверности результата контроля. Количественная оценка неопределенности МСК осуществляется двумя подходами:

- с применением закона распределения неопределенности контроля (если он известен);

- по методу Монте-Карло (когда распределение значительно отличается от нормального).

Стандартная неопределенность МСК выражается средним квадратичным отклонением, а расширенная неопределенность выражается интервалом, рассчитанным на основании ряда экспериментальных данных (по методу А) или на основании дополнительной информации (по методу В).

Исходными данными для оценивания стандартной неопределенности МСК по типу А являются выборка многократного контроля (измерений) $x_{i1}, \dots, x_{in}; i = 1, \dots, m$. На

основании этой выборки рассчитывается среднее арифметическое \bar{x}_i по формуле (1), которое является оценкой входной величины X_i ,

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{g=1}^n x_{ig}. \quad (1)$$

Стандартная неопределенность, связанная с оценкой \bar{x} является экспериментальным стандартным отклонением среднего значения и равна положительному квадратному корню из экспериментальной дисперсии среднего значения.

Стандартная неопределенность $u(x_i)$ вычисляется по формуле

$$u(x_i) = u_A(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{g=1}^n (x_{ig} - \bar{x}_i)^2}. \quad (2)$$

для результата измерения $x_i = \bar{x}_i$, вычисленного как среднее арифметическое.

Как известно, достоверность контроля, характеризующая степень соответствия его результатов фактическому техническому состоянию объекта, определяется двумя показателями: точностью и доверительной вероятностью. Например, с целью определения возможности дальнейшей безопасной эксплуатации проводников жесткой армировки (ПЖА) шахтного ствола автором были проведены коррозионные исследования и ультразвуковая толщинометрия ПЖА [6].

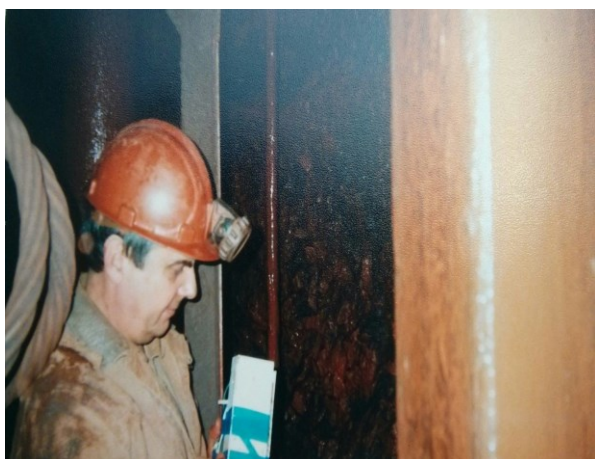


Рисунок 1. Шахтный эксперимент по эффективному обнаружению дефектов вкоробчатых ПЖА экспериментальной аппаратурой



Рисунок 2. Сквозное повреждение коробчатого ПЖА

При адресном контроле (мониторинге) ПЖА [6] возникает вопрос о достаточном и необходимом числе контрольных замеров (рис 1-2). Как известно, контроль в условиях шахтного ствола очень трудоемкая операция, которая парализует на время контроля транспортную цепочку «забой – поверхность». Сплошной контроль ПЖА в экстремальных условиях шахтного ствола практически парализует шахту и ставит её в трудное экономическое положение. Поэтому инструментальному контролю подвергают только ПЖА подвергающиеся повышенным нагрузкам и коррозии. Автор предлагает для повышения достоверности инструментального контроля ПЖА использовать коэффициент вариации глубины коррозии для конкретной шахты, v_k . Коэффициент вариации v_k можно достаточно точно определить на

демонтированных проводниках ПЖА для конкретной шахты. Из практики коэффициент вариации 0,1 – 0,4. (см. табл.1).

Таблица 1. Возможное процентное превышение изменения глубины коррозии ПЖА при доверительной вероятности 0,95

Отношение площади контролируемого участка к площади проводника (б/м)	v_k (б/м)			
	0,1	0,2	0,3	0,4
2	27,3	68,4	132	235
10	37,2	89,4	173	331
100	42,6	103	211	407

Как видно из табл.1 при известном коэффициенте вариации глубины коррозии v_k для конкретной шахты можно с приемлемой точностью для практики (30-50%) проводить мониторинг ПЖА по однократному контрольному замеру ультразвуковым толщиномером. Например, типа ЕРОСН 6LT фирмы Olympus, совместимым с МСК (рис 3).

Необходимо отметить, что при контроле одного и того же параметра одним МСК или одинаковыми методами данные контроля (параметры) должны согласовываться между собой в пределах, определяемых теорией ошибок.

Если такого согласия нет, т.е. возникает, например, корреляция между близкими во времени контрольными измерениями, то это тревожная информация о работе МСК. Поэтому, нами часто в методиках измерения МСК применяется случайный выбор объектов или точек измерения (рандомизация) для контрольной группы измерений, поскольку иным путем нельзя оценить влияние (действие) какого-то фактора в объекте контроля.

При этом средние значения существенных параметров объекта контрольных измерений, составляющих экспериментальную и контрольную группу измерений, не должны статистически значимо отличаться. Возникают существенные проблемы анализа, когда параметров, по которым производится сравнение, не один, а

много, причем их значения независимы. Мы стараемся избегать подобной ситуации гибким изменением методики контроля МСК.

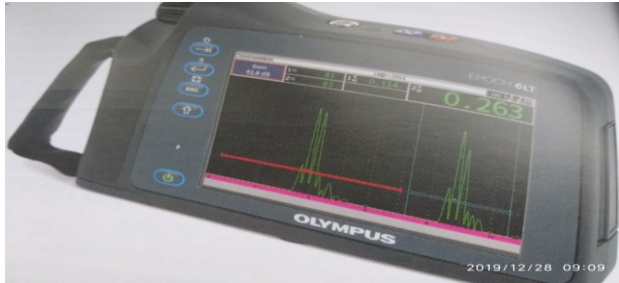


Рисунок 3. Толщиномер типа EPOCH 6LT фирмы Olympus.

Рассмотрим трехпараметрический контроль МСК. По известным методикам, например [15-18] сформируем выборки энтропийного преобразования и будем их в дальнейшем использовать для сравнительного анализа информативности контролируемых параметров и оценки принимаемых МСК решений. Понятно, что получим три оценки принимаемых МСК решений. При рассмотрении принятия решений МСК по разности двух контролируемых параметров получим тоже три оценки. Однако следует учитывать оценку, когда используются все три контролируемых параметра. Таким образом, получаем семь возможных одномерных оценок. Понятно, что в этих семи оценках не учитываются корреляционные связи между выборками различных параметров. Поэтому автор считает необходимым анализ информативности разностей двумерных энтропийных преобразований. Таким образом, получаем по известным методикам семь двумерных оценок, которые учитывают корреляционные связи между выборками различных параметров. Аналогичным образом при необходимости получаем семь трехмерных оценок. По результатам трехпараметрического контроля проводится оценка информативности контролируемых МСК параметров для их анализа и подготовки данных для поддержки принятия решений в МСК. Автор считает, что оценка информативности контролируемого МСК параметра менее 0.5- сомнительна и свидетельствует о малой информативности

данного контролируемого параметра. С точки зрения автора, использование сомнительного параметра ухудшает вероятность принятия решения и оценку контроля МСК, что полностью подтверждается его многолетней практикой на ГНПП.

Общеизвестно, чем проще теоретическая наука, тем шире область ее применения и наоборот. Поэтому, автор сторонник необходимо-достаточных и простых моделей в МСК. Практика автора показывает, что для правильной оценки условной вероятности ошибок первого и второго рода в МСК необходимо всегда в результате контрольного замера обязательно показывать неопределенность замера, а также неопределенность измерительного преобразователя МСК. С точки зрения автора термин «неопределенность» – мера сомнений в том, насколько точно результат контроля представляет значение контролируемого МСК параметра. Неопределенность в МСК является количественной мерой того, насколько надежна оценка контроля и предполагает увеличение степени достоверности контроля. Итоговую оценку суммарной стандартной неопределенности результата контроля МСК - «бюджет неопределенности» получают из неопределенностей контролируемых параметров включающих данные по каждому контролируемому параметру и его вкладе в результат контроля.

Важно отметить, что бюджет неопределенности МСК относится к определенному результату контроля. Однако, разработанный алгоритм бюджета неопределенности, изложенный в методике расчета неопределенности, можно применять ко всем контрольным замерам, проведенным с использованием того же метода и того же МСК. А так как бюджет неопределенности МСК содержит информацию об относительных величинах вкладов всех контролируемых параметров в неопределенность, то данная информация является основным источником для улучшения методики контроля и повышения точности МСК. С целью обобщения источников неопределенности контролируемых МСК параметров и выявления источников неопределенности автор считает

целесообразным использовать диаграмму Исикавы для выявления причинно-следственных взаимосвязей между факторами и последствиями в исследуемой задаче контроля для нахождения оптимального варианта решения. С точки зрения автора, только в случае, когда достоверно математическое описание физических явлений, предопределяющее процесс контроля на ГНПП, может быть сформулирована задача компенсации их искажающего влияния путем построения соответствующего вычислительного метода в МСК. Только в этом случае можно гарантировать оценку контролируемого МСК параметра по заданным границам его допустимых значений («в допуске», «за допуском»), что очень важно на горных и нефтегазовых предприятиях (ГНПП). Необходимо помнить об обязательной государственной метрологической аттестации (допуске) МСК действующей на всех ГНПП Украины.

Таким образом, автор придерживается мнения, что построение матрицы оценки достоверности в МСК будет эффективной только в случае использования норм допустимости на конкретном объекте контроля и оценки возможности этого контроля с вероятностной точки зрения. В своих работах автор неоднократно высказывал данную точку зрения, подтвержденную практикой на ГНПП.

Выводы

Изложена оригинальная точка зрения технологического контроля и предложен новый подход определения показателей достоверности МСК контроля ГНПП

Для повышения достоверности инструментального контроля ПЖА предложен адресный контроль (мониторинг) ПЖА с использованием коэффициента вариации глубины коррозии для конкретной шахты.

Предложено использовать диаграмму Исикавы для выявления причинно-следственных взаимосвязей между факторами и последствиями в исследуемой задаче контроля для нахождения оптимального варианта решения.

Рассмотрен эффективный метод для решения задач классификации и оценки

информативности в МСК при многопараметрическом контроле объектов ГНПП по экспериментальным контрольным замерам в условиях полной статистической неопределённости.

Предложено использовать анализ бюджета неопределенности МСК для улучшения методики контроля и повышения точности МСК.

Литература

1. Лопатин В. В., Обеспечение необходимой точности мобильных систем контроля в горной и нефтегазовой отраслях / В. В. Лопатин // Методи та прилади контролю якості. Науково-технічний журнал - Івано - Франківськ - № 2 (37), 2016, С. 5-13

2. Лопатин В. В., Мобильные системы контроля в горной и нефтегазовой отраслях / В. В. Лопатин // Методи та прилади контролю якості. Науково-технічний журнал - Івано - Франківськ - № 2 (39), 2017, С. 83-90.

3. Лопатин В. В., Оптимизация структуры мобильной системы контроля / В. В. Лопатин // Методи та прилади контролю якості. Науково-технічний журнал - Івано - Франківськ - № 2 (42), 2018, С. 25-33.

4. Generazio E.R. Validating design of experiments for determining probability of detection capability for fracture critical applications // Materials Evaluation. Vol. 69. No 12. Pp 1399-1407.

5. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення: ДСТУ 2389-94. – К.: Держстандарт України, 1994. – 24 с.

6. Лопатин В. В. Гавруцкий А.Е. Опыт ультразвукового адресного мониторинга жесткой армировки шахтного ствола/ Научно-технический, производственный и экономический журнал «Уголь Украины» № 9-10, 2017, С.51-56.

7. МИ 1317–2004. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров.

8. Levin S.F. The problem of confidence probability / S.F. Levin // Measurement Techniques. – 2008. – V. 51, No 9. – P. 967-975.

9. Левин С.Ф. Неопределенность в узком и широком смысле результатов поверки средств измерений // Измерительная техника. 2007. № 9. С. 15–19.

10. Левин С.Ф. Проблема доверительной вероятности // Измерительная техника. 2008. № 9. С. 33–39.

11. Левин С.Ф. Нерешенные проблемы неопределенности // Главный метролог. 2009. № 4. С. 13–24.

12. Левин С.Ф. Нерешенные проблемы «Руководства по выражению неопределенности измерения» // Метрология. 2009. № 6. С. 3–21.

13. Левин С.Ф. Неопределенность как параметр распределения вероятностей: Прикладная нормативно математическая точка зрения // Главный метролог. 2010. № 5. С. 10–20.

14. Рабинович С. Г. О необходимости создания новых рекомендаций по оцениванию погрешностей и неопределенностей измерений // Системы обработки информации. 2010. № 4(85). С. 23–26.

15. Куренков, Н. И. Энтропийный подход к решению задач классификации многомерных данных [Текст] / Н. И Куренков, С. Н Ананьев // Информационные технологии. Ежемесячный теоретический и прикладной научно-технический журнал. – 2006.– № 8. – С. 50-55.

16. Xu Rui. Survey of clustering algorithms [Text] / Rui Xu, D. Wunsch II // IEEE Transactions on Neural Networks. – 2005. – V. 16, № 3. – P. 645.

17. Jenssen, R. An Information Theoretic Approach to Machine Learning [Text] : Diss. for the Deg. of Dr.Scientiarum / R. Jenssen ; Department of Physics University of Tromso. – Tromso, 2005. – 179 p.

18. Fedorovich, A. Classification of facilities multi parameters experimental measurements of their parameters [Text] / A. Fedorovich // European science review. – 2015. – № 7-8. – P. 140-142.

References

1. Lopatyn V. V., Obespechenye neobkhodimoi tochnosti mobylnykh system kontroliia v hornoi y nefte hazovoi otrasliakh / V. V. Lopatyn // Metody ta prylyady kontroliiu

yakosti. Naukovo-tekhnichnyi zhurnal - Ivano - Frankivsk - № 2 (37), 2016, S. 5-13

2. Lopatyn V. V., Mobylnye systemy kontroliia v hornoi y nefte hazovoi otrasliakh / V. V. Lopatyn // Metody ta prylyady kontroliiu yakosti. Naukovo-tekhnichnyi zhurnal - Ivano - Frankivsk - № 2 (39), 2017, S. 83-90.

3. Lopatyn V. V., Optymyzatsiia struktury mobylnoi systemy kontroliia / V. V. Lopatyn // Metody ta prylyady kontroliiu yakosti. Naukovo-tekhnichnyi izhurnal - Ivano - Frankivsk - № 2 (42), 2018, S. 25-33.

4. Generazio E.R. Validating design of experiments for determining probability of detection capability for fracture critical applications // Materials Evaluation. Vol. 69. No 12. Pp 1399-1407.

5. Tekhnichne diahnostuvannia ta kontrol tekhnichnoho stanu. Terminy ta vyznachennia: DSTU 2389-94. – K.: Derzhstandart Ukrainy, 1994. – 24 s.

6. Lopatyn V. V., Havrutskyi A.E. Opyt ultrazvukovoho adresnoho monytorynha zhestkoi armirovky shakhtnoho stvola / Nauchno-tekhnycheskyi, proyzvodstvennyi y ekonomycheskyi zhurnal «Uhol Ukrainy» № 9-10, 2017, S.51-56.

7. MY 1317–2004. Rezultaty y kharakterystyky pohreshnosti yzmerenyi. Formy predstavleniia. Sposoby yspolzovaniia pry uspytanyiakh obraztsov produktsyy y kontrole ykh parametrov.

8. Levin S.F. The problem of confidence prob-ability / S.F. Levin // Measurement Techniques. – 2008. – V. 51, No 9. – P. 967-975.

9. Levyn S.F. Neopredelennost v uzkom y shyrokom smysle rezultatov poverky sredstv yzmerenyi // Yzmeritelnaia tekhnika. 2007. № 9. S. 15–19.

10. Levyn S.F. Problema doverytelnoi veroiatnosti // Yzmeritelnaia tekhnika. 2008. № 9. S. 33–39.

11. Levyn S.F. Nereshennyye problemy neopredelennosti // Hlavnyi metroloh. 2009. № 4. S. 13–24.

12. Levyn S.F. Nereshennyye problemy «Rukovodstva po vyrazheniyu neopredelennosti yzmereniia» // Metrolohiia. 2009. № 6. S. 3–21.

13. Levyn S.F. Neopredelennost kak parametr raspredeleniia veroiatnosti:

Prıkladnaia normatyvno matematycheskaia tochka zreniia // Шляхы метролог.

2010. № 5. S. 10–20.

14. Rabynovych S. H. O neobkhodymosti sozdaniia novykh rekomendatsyi po otsenyvaniu pohreshnosteï y neopredelennosteï yzmerenyi // Systemy obrobky informatsii. 2010. № 4(85). S. 23–26.

15. Kurenkov, N. Y. Энтропийны podkhod k resheniyu zadach klasyfykatsyy mnohomernykh dannyyh [Tekst] / N. Y Kurenkov, S. N Ananov // Ynforma-tsyonnye tekhnolohyy. Ezhemesiachny teoretichesky y prykladnoi nauchno-tekhnychesky zhurnal. – 2006.– № 8. – S. 50-55.

16. XuRui. Survey of clustering algorithms [Text] /RuiXu, D. Wunsch II // IEEE Transactions on Neural Networks. – 2005. – V. 16, № 3. – P. 645.

17. Jenssen, R. An Information Theoretic Approach to Machine Learning [Text] : Diss. for the Deg. of Dh.Scientiarum / R. Jenssen ; Department of Physics University of Tromso. – Tromso, 2005. – 179 p.

18 .Fedorovich, A. Classification of facilities multi parameters experimental measurements of their parameters [Text] / A. Fedorovich // European sciencereview. – 2015. – № 7-8. – P. 140-142.