

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ ГЕРМЕТИЗАТОРОВ И ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ПРОЦЕССАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СЕРИИ ВАСО

А. В. Радионов

ООО «Научно-производственное внедренческое предприятие «Феррогидродинамика»
ул. Большая Морская, 45/5, г. Николаев, 54030, Украина. E-mail: ferrohydrodynamica@gmail.com

Е. В. Харламова

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, м. Кременчук, 39600, Украина E-mail: ecol4207@mail.ru

Проведен анализ крупных аварий на объектах повышенной экологической опасности. Показано, что для многих видов технологического оборудования причиной формирования экологической опасности была неудовлетворительная работа уплотнений. Для решения указанной проблемы предлагается применить магнитожидкостные герметизаторы. Проведена сравнительная оценка уровня техногенного риска асинхронного электродвигателя серии ВАСО с применением магнитожидкостных герметизаторов и штатных уплотнений на различных режимах работы двигателя с учетом изменения частоты вращения вала и использования преобразователей частоты. Показано, что совместное применение магнитожидкостных герметизаторов и преобразователей частоты позволяет минимизировать уровень опасности на всех режимах работы электродвигателя.

Ключевые слова: экологическая безопасность, объекты повышенной экологической опасности, магнитожидкостный герметизатор, асинхронный электродвигатель, техногенный риск, преобразователь частоты, режим работы.

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ МАГНІТОРІДИННИХ ГЕРМЕТИЗАТОРІВ І ЧАСТОТНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ У ПРОЦЕСАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ СЕРІЇ ВАСО

О. В. Радіонов

ТОВ «Науково-виробниче впроваджувальне підприємство «Ферогідродинаміка»
вул. Велика Морська, 45/5, м. Миколаїв, 54030, Україна. E-mail: ferrohydrodynamica@gmail.com

О. В. Харламова

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна E-mail: ecol4207@mail.ru

Проведено аналіз значних аварій на об'єктах підвищеної екологічної небезпеки. Показано, що для багатьох видів технологічного обладнання причиною формування екологічної небезпеки була незадовільна робота ущільнень. Для вирішення вказаної проблеми запропоновано застосувати магніторідинні герметизатори. Проведена порівняльна оцінка рівня техногенного ризику асинхронного електродвигуна серії ВАСО із застосуванням магніторідинних герметизаторів і штатних ущільнень на різних режимах роботи двигуна з урахуванням зміни частоти обертання валу і використання перетворювачів частоти. Показано, що сумісне застосування магніторідинних герметизаторів і перетворювачів частоти дозволяє мінімізувати рівень екологічної небезпеки на всіх режимах роботи електродвигуна.

Ключові слова: екологічна безпека, об'єкти підвищеної екологічної небезпеки, магніторідинний герметизатор, асинхронний електродвигун, техногенний ризик, перетворювач частоти, режим роботи.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Объекты повышенной экологической опасности (ОПЕО) (нефтеперерабатывающие и нефтехимические предприятия, шахты, ТЭС и т.д.) представляют сферу высоких экологических рисков, которые могут создать катастрофы техногенного характера, различные аварии, угрозы жизни людей [1].

Для Украины проблема роста чрезвычайных ситуаций в промышленности усугубляется тем, что физическое и моральное старение оборудования в последнее время значительно опережает темпы его замены и обновления. Износ основных производственных фондов всех отраслей экономики на конец 2013 года составил 77,3%, а темп обновления фондов в этом же году всего 2,5% [2]. Это приводит к резкому увеличению количества оборудования со сверхнормативными сроками службы. В настоящее время в про-

мышленности применяется более 60% технологического оборудования в возрасте 20 лет и старше (для сравнения, в 1990г. – 11%). В ОПЕО этот показатель еще выше, так 95% энергоблоков ТЭС отработали свой расчетный ресурс. Свыше 96% шахт более 20 лет эксплуатируются без реконструкции, а две трети основного стационарного оборудования (вентиляторы главного проветривания, машины подъема и т.д.) превысили нормативный срок эксплуатации и требуют немедленной замены [3].

Поэтому условия экологической безопасности должны в первую очередь сводиться к безопасной и безаварийной работе машин, механизмов и технологического оборудования. Это согласуется с основным принципом управления экологической безопасностью [4,5].

Анализ крупных аварий последнего десятилетия в электроэнергетике и угольной промышленности в США, России, Франции, Индии, Италии и Украине показывает, что в большинстве случаев их непосредственными причинами были механические неисправности, а общей чертой техногенных катастроф, вызванных механическим повреждением, было начало аварии с повреждением вспомогательного, малозначительного элемента с последующим каскадным развитием в национальную катастрофу.

Для многих видов оборудования, широко применяющихся на вышеуказанных предприятиях (электродвигатели, редукторы, мешалки, вентиляторы и т.д.), причина неполадок чаще всего определяется надежностью подшипниковых узлов [6].

В свою очередь, до 90% случаев аварийных разрушений подшипниковых узлов вызвано неудовлетворительной работой уплотнений, невозможностью обеспечения практически полной герметичности [6].

Известно [7], что техногенная безопасность является одной из основных составляющих экологической безопасности. Проанализируем влияние асинхронных электродвигателей (АД) на техногенную безопасность оборудования ОПЕО. Это связано с тем, что асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором является основой большинства промышленных электроприводов. Однако их эффективному применению препятствует относительно высокая повреждаемость – 25...35% от общего числа установленных электродвигателей ежегодно [8].

Основное оборудование и АД жестко связаны между собой в едином технологическом цикле. Нарушение работы АД оказывают прямое воздействие на функционирование основного оборудования, что приводит как к аварийным ситуациям, так и к значительному материальному ущербу. Практика эксплуатации АД показывает, что увеличение срока службы и повышение надежности работы машин дает относительно больший экономический эффект, чем улучшение других технико-экономических показателей: к.п.д., коэффициент мощности, коэффициент использования и т.д. [9].

В последнее время проведены разработки, позволяющие существенно повысить степень экологической безопасности и надежность АД. При этом они не требуют серьезных капитальных затрат при внедрении и значительных изменений конструкции. Эти изменения вполне можно провести при плановом ремонте оборудования, одновременно осуществив и его модернизацию. Преимуществом такого подхода является возможность поэтапного внедрения новых технических решений. Одной из таких разработок являются магнитоэластичные герметизаторы (МЖГ), которые можно использовать для замены неудовлетворительно работающих штатных уплотнений АД. Отличительной особенностью МЖГ является достижение практически полной герметичности.

На надежность и работоспособность подшипниковых узлов оказывают влияние многочисленные факторы, среди которых: состояние окружающей среды (содержание вредных веществ, повышенная влажность), режимы работы, качество монтажных работ при соединении с рабочей машиной (несоосность ва-

лов, слабые фундаменты, вибрация), низкое качество подводимой электроэнергии (асимметрия и др.), механический износ и др.

В работе [10] был усовершенствован метод оценки техногенного риска, развитый за счет системного многоуровневого анализа герметизирующих устройств оборудования ОПЕО. Проведена сравнительная оценка уровня техногенной безопасности при применении МЖГ и традиционных уплотнительных систем с учетом влияния климатических факторов и режимов работы АД серии ВАСО, ВАСВ, АСВО [11].

Данные электродвигатели применяются для привода аппаратов воздушного охлаждения и массово эксплуатируются на химических, нефтеперерабатывающих предприятиях, при добыче и транспортировке природного газа. В разные годы было установлено около 3000 МЖГ. Большой статистический материал стал основанием для выбора электродвигателя ВАСО в качестве объекта исследования.

Однако неизученным остался вопрос связанный, с массовым использованием на приводе АВО частотных преобразователей (ПЧ), которые осуществляет следующие функции: автоматическое поддержание заданной температуры на выходе АВО путем включения/выключения определенного числа вентиляторов; частотное регулирование частоты вращения вентиляторов в зависимости от температуры окружающей среды; защита АВО от заклинивания теплообменных секций изменением частоты и направления вращения вентиляторов; плавный последовательный пуск группы электродвигателей [12].

Режимы работы АД с ПЧ характеризуются частыми пусками и реверсами, сопровождаются значительными тепловыми, коммутационными и механическими воздействиями на обмотку и механическими на подшипники, поэтому их относят к особо жестким условиям эксплуатации. При перемежающемся режиме (S8) кроме того допускается работа АД на нескольких скоростях вращения с разными величинами нагрузки на валу.

Целью работы является снижение уровня экологической опасности при замене традиционных уплотнений выходных валов асинхронных электродвигателей на магнитоэластичные герметизаторы с учетом влияния преобразователей частоты усовершенствованным методом оценки риска, включающим вероятность возникновения опасной ситуации и вероятность того, что опасная ситуация приведет к нанесению вреда.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Высокая достоверность и объективность информации работоспособности и надежности АД обеспечивается наблюдением в определенных условиях эксплуатации, учитывающих нагрузочные режимы, климатические воздействия и особенности технического обслуживания. При использовании этого метода сбора информации возникают следующие трудности: длительный период наблюдений за электродвигателями ВАСО, так как в целом их можно считать надежными и достаточно сложно

получить полную информацию о повреждениях за короткий промежуток времени; недостаточное количество контрольно-измерительной аппаратуры и квалифицированного обслуживающего персонала, способного качественно вести учет информации об отказах ВАСО; трудоемкость сбора информации об объемах исследования на различных предприятиях, территориально отдаленных друг от друга.

Несмотря на выше предложенное нами использован метод эксплуатационных наблюдений, так как только он позволяет системно решить следующие задачи:

- выявление наиболее “слабых” узлов и деталей, которыми определяется надежность и работоспособность АД в целом и причин возникновения их отказов;
- установление закономерности изменения надежности и работоспособности узлов АД под воздействием тех или иных условий окружающей среды;
- выявление недостатков проектирования, изготовления и эксплуатации;
- уточнение показателей надежности, установленных в нормативно-технической документации на конкретный тип ВАСО.

Для определения характера и причин повреждений электродвигателей ВАСО проведено системное изучение условий эксплуатации значительного количества двигателей в различных отраслях промышленности. При исследовании эксплуатационной надежности АД как с традиционными уплотнениями, так и с МЖГК. Собраны данные в электроремонтных цехах химических предприятий Северодонецка, Горловки, Одессы, Череповца, Гродно, Алмалыка и т.д.; нефтеперерабатывающих предприятиях Лисичанска, Кременчуга, Атырау, Киришей, Тобольска, Омска и т.д.; а также на газоперекачивающих станциях в Долине и Тюмени. Анализ статистического материала проводился с использованием методов математической статистики [13].

При исследовании повреждений АД приняты следующие допущения:

- АД в выборках аналогичные по конструкции;
- АД имеют аналогичные условия эксплуатации;
- выборки состоят из АД, имеющих разное время начала и конца эксплуатации;
- все отказавшие АД заменяются новыми, количество эксплуатируемых электродвигателей остается постоянным.

На основании анализа статистических данных о причинах преждевременного выхода электродвигателей из строя выделены в качестве «слабых звеньев» следующие элементы конструкций электродвигателя ВАСО: подшипниковый узел - повреждения составляют 73%, обмотка статора – 24%, ротор – 3% от общего числа отказов АД (выборка содержала АД только с применением традиционных уплотнений). Прочие повреждения АД были в интервалах погрешности и потому далее не рассматривались.

На рис. 1 представлена динамика характера повреждений электродвигателей ВАСО на химических и нефтеперерабатывающих заводах, за период 2000 – 2005 гг (в эти годы количество эксплуатирующихся электродвигателей было максимальным). Эти данные

хорошо коррелируются с результатами [14], где 80% повреждений связаны с подшипниками, 16% - с обмоткой статора и 4% - с ротором.

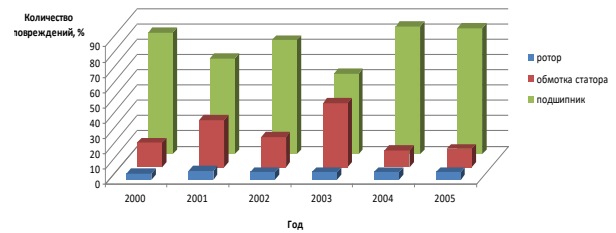


Рисунок 1 – Диаграмма характера повреждений электродвигателей ВАСО на химических и нефтеперерабатывающих заводах

Изучено влияние частоты вращения АД на степень техногенного риска. Рассматривались электродвигатели ВАСО с 14,24 и 34 парами полюсов (соответственно 450 об/мин, 250 об/мин и 176 об/мин) без применения ПЧ. Собрать статистический материал по эксплуатации АД с комплектацией ПЧ достаточно сложно, т.к. частота меняется автоматически в зависимости от большого числа факторов. Анализировались электродвигатели как со штатными уплотнениями, так и с МЖГ.

Оценку техногенного риска деталей и узлов оборудования при их эксплуатации, в частности, уплотнительных систем, проводим по формуле [10]:

$$R = K \times E \times A \times S. \quad (1)$$

где K – поправочный коэффициент учитывающий условия эксплуатации и обслуживания оборудования и т.д.; E – вероятность возникновения опасной ситуации; A – вероятность того, что опасная ситуация приведет к нанесению вреда; S – тяжесть последствий.

Вероятность возникновения опасной ситуации, зависящая от сезонных изменений климата [11], усреднялась за год.

С помощью формулы (1) проведена оценка техногенного риска для трех частот вращения при комплектации электродвигателей ВАСО штатными уплотнениями и МЖГ. Результаты исследований представлены на рис. 2

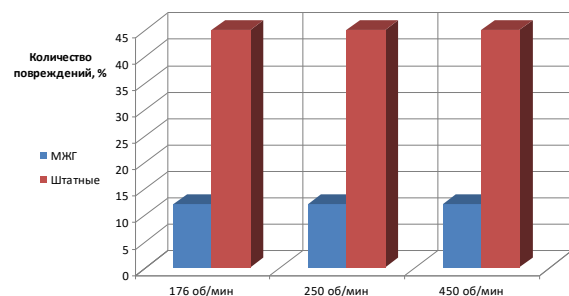


Рисунок 2 – Техногенный риск электродвигателей серии ВАСО в зависимости от частоты вращения вала: 1 – 176 об/мин; 2 – 250 об/мин; 3 – 450 об/мин

Из рис.2 следует, что частота вращения электродвигателя ВАСО не оказывает влияния на техногенный риск. Поэтому было решено провести общую оценку техногенного риска для кратковременных перемежающихся реверсных режимов работы S4, S5, S6, S7, S8. Режим S8 отличается от остальных тем, что при нем допускается работа двигателя на нескольких различных скоростях вращения. Остальные отличия с точки зрения условий эксплуатации несущественны и все рассматриваемые режимы относятся к жестким условиям эксплуатации.

На рис. 3 приведена оценка техногенного риска АД серии ВАСО для режима S8, а также для основных режимов работы АД: S1 – продолжительный режим работы; S2 – кратковременный режим работы; S3 – повторно кратковременный режим работы.

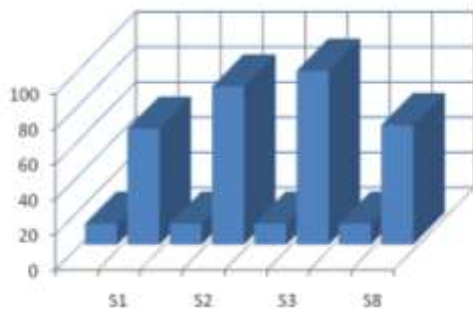


Рисунок 3 – Оценка техногенного риска электродвигателей серии ВАСО с применением штатных уплотнений и МЖГ в зависимости от режимов работы

Из рис.3 следует, что снижение общего количества последовательных включений-отключений АД, что характерно для режимов S2 и S3, за счет регулирования мощности изменением частоты вращения приводит к снижению риска техногенной безопасности электродвигателя. Уровень техногенной безопасности режима S8 с использованием ПЧ практически такой же, как и для режима S1. Для исследований, приведенных на рис.3 были использованы данные об отказах электродвигателей АО «СибурТюмень Газ». В [11] показано, что климатические условия Тюмени являются наиболее тяжелыми для эксплуатации электродвигателей ВАСО.

Совместное применение МЖГ и ПЧ позволяет добиться снижения уровня экологической опасности на всех режимах работы АД.

Проведен статистический анализ повреждений электродвигателей ВАСО на заводах, где уже продолжительное время все АД укомплектованы МЖГ. На его основании сделан вывод, что подшипниковый узел не является основной причиной преждевременного выхода электродвигателей из строя. Это хорошо иллюстрируется рис.4, где приведены причины выхода из строя электродвигателей по данным эксплуатации ПАО «Укртатнафта» (г. Кременчуг) за 1994 – 1998 гг (комплектация штатными уплотнениями) и за 2011 – 2016 гг (комплектация МЖГ).

«Узким местом» при эксплуатации ВАСО стала изоляция обмотки статора. По этой причине преждевременно вышло из строя 61% АД, из-за подшипни-

кового узла было зафиксировано 36% отказов и по другим причинам – 3% отказов. Данные по эксплуатации АД серии ВАСО со штатными уплотнениями хорошо согласуются с данными, приведенными на рис.1.

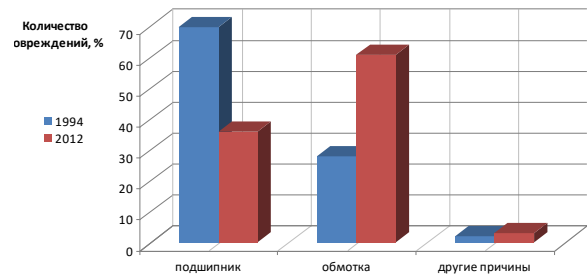


Рисунок 4 – Диаграмма характера повреждений электродвигателей серии ВАСО на ПАО «Укртатнафта» (Кременчуг) со штатными уплотнениями и МЖГ

ВЫВОДЫ.

1. Анализ крупных техногенных катастроф последнего десятилетия подтверждает, что в большинстве случаев их причинами были механические неисправности многих видов технологического оборудования (особенно их подшипниковых узлов), когда повреждение происходит из-за неудовлетворительной работы уплотнительных систем.

2. Применение МЖГК обеспечивает высокий уровень герметичности.

3. Изменение частоты вращения электродвигателей серии ВАСО не влияет на уровень их техногенной безопасности.

4. Совместное применение МЖГ и частотных преобразователей позволяет снизить уровень экологической опасности на всех режимах работы АД.

5. Снижение уровня техногенного риска АД серии ВАСО с МЖГ приводит к перераспределению повреждений электродвигателя по повреждениям подшипниковых узлов и обмоток статора при снижении абсолютных величин этих показателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харламова О.В., Мороз Н.М., Азаров С.И., Коваль О.О. Удосконалення наукових засад екологічного аудиту щодо об'єктів підвищеної екологічної небезпеки // Екологічна безпека. – 2015 – №20. – С. 26-31.

2. Обиход Г.О. Передумови визначення стратегічних векторів гарантування природно техногенної та екологічної безпеки в контексті сталого розвитку регіонів України / Г.О. Обиход // Reporter of the Priazovskiy state technical university. – 2015. – №29. – Р. 280-288.

3. Бондаренко В.І., Малашкевич Д.С. Сучасний стан розвитку вугільної галузі в Україні // Вісті Академії інженерних наук України. –№1 (43). – С. 14-22.

4. Malovanyu Myroslyav, Nikiforov Vladimir, Kharlamova Elena, Synelnikov Alexander. Production of renewable energy resources via complex treatment

of cyanobacteria biomass // *Chemistry & Chemical Technology*. – 2016. – №2. – P.251-254.

5. Вамболь В.В., Шмандій В.М., Вамболь С.О., Кондратенко О. М. Системний підхід до вирішення проблеми управління екологічною безпекою процесу утилізації відходів життєдіяльності // Науковий журнал «Екологічна безпека». – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип.1/2015 (19). – С. 7-11.

6. Белов С.А., Литвак В.В., Солод С.С. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС. – Томск: Изд-во НТЛ, 2008. – С. 218.

7. Petruk V.G., Kravets A.G. Carbon monoxide sensors based on SnOx nanoparticles. // *Technical Physics*. – 2007. – Vol. 52, Issue 2, – P. 231-234.

8. Черменский О.Н., Федотов Н.Н. Подшипники качения: справочник-каталог – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.

9. Никиян Н.Г. О влиянии климатических факторов и режимов работы на эксплуатационную надежность асинхронных двигателей [Текст] / Н.Г. Никиян, И.И. Ямансарин // Вестник ГИУА. Серия “Электротехника, энергетика”. – 2013. – Вып. 16, №1. – С. 27 – 36.

10. Радионов А.В. Оценка техногенного риска оборудования опасных производств системным многоуровневым анализом // Збірник наукових праць НУК. – 2015. – №4. – С. 82-90.

11. Радионов А.В. Оценка техногенного риска при замене традиционных уплотнений магнито-жидкостными герметизирующими комплексами с учетом климатических факторов // Збірник наукових праць НУК. – 2016. – №3. – С. 75-83.

12. Чернышев И.А., Чернышева Т.А. Исследование асинхронного частотно-регулируемого электропривода аппарата воздушного охлаждения газа // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2014. – № III-1 (19). – С. 115-121.

13. Ивановский Р.И. Теория вероятностей и математическая статистика. Основы, прикладные аспекты с примерами и задачами в среде Mathcad. – СПб.: БХВ – Петербург, 2008. – 528с.

14. Сафин Н.Р., Прахт В.А., Дмитриевский В.А. Диагностика неисправностей асинхронных двигателей на основе спектрального анализа токов статора // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2014. – №3 (57), – С. 34-40.

INCREASE OF LEVEL OF ECOLOGICAL SAFETY IN APPLYING MAGNETIC-FLUID AND HERMETIC FREQUENCY CONVERTERS IN THE OPERATION OF THE ELECTRIC MOTOR VASO SERIES

A. Radionov

"Research and Production Innovation Enterprise "Ferrohydrodynamica"
vul. Bolshaya Morskaya 45/5, Nikolaev, 54030, Ukraine E-mail: ferrohydrodynamica@gmail.com

O. Kharlamova

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva 20, Kremenchuk, 39600 Ukraine E-mail: ecol4207@mail.ru

Purpose. Decline of level of ecological danger of asynchronous electric motors, used as a drive of vehicles of the air cooling. **Methodology.** The improved method is conduct the estimation of technogenic risk at replacement of regular compressions of output billows of asynchronous electric motors on magnetic liquid hermetic taking into account influence of transformers of frequency. **Results.** It is set the statistical analysis of refuses of electric motors, that changes of frequency of rotation does not influence on the level of technogenic constituent of ecological safety. Joint application of magnetic liquid hermetic and frequency transformers allows to obtain the level of insignificant ecological danger on all modes of operations of electric motor. **Originality.** New technical solution (of magnetic liquid hermetic) is offered for replacement of regular compressions and his efficiency is well-proven for the decline of level of ecological danger due to providing practically of complete impermeability. **Practical value.** Magnetic liquid hermetic is inculcated more than on 150 dangerous production objects of countries of the CIS. They promote reliability and capacity of electric motor considerably, reduce the level of technogenic risk. *References 14, no tables, figures 4.*

Key words: ecological safety, objects of the increased ecological danger, magnetic fluid sealers, asynchronous electric motor, technogenic risk, frequency converter, operation mode.

REFERENCES

1. Kharlamova, O.V., Moroz, N.M., Azarov, S.I., Koval, O.O. (2015), "Improving the scientific principles on ecological audit of objects of high ecological danger", *Ekologichna bezpeka*, Vol. 20(20), pp. 26-31.

2. Obihod G.O. (2015), "Preconditions for defining the strategic vectors of course guaranteeing technological and environmental safety in the context of sustainable development of regions of Ukraine", *Reporter of the Priazovskiy state technical university*, no. 29, pp. 280-288.

3. Bondarenko, V.I., Malashkevich, D.S. (2016), "The current state of the coal industry in Ukraine",

Vesti Akademii inzhenernih nauk Ukraini, no.1 (43), pp. 14 -22.

4. Malovanyu, M., Nikiforov, V., Kharlamova, E., Synelnikov, A. (2016), "Production of renewable energy resources via complex treatment of cyanobacteria biomass", *Chemistry & Chemical Technology*. no.2, pp. 251-254.

5. Vambol', V.V., Shmandiy, V.M., Vambol', S.O. (2015), "The systematic approach to solving the problem of management of ecological safety during process of biovaste products utilization", *Ekologichna bezpeka*, Vol. 1/2015 (19), pp. 7-11.

6. Belov, S.A., Litvak, V.V., Solod, S.S. (2008), *Nadezhnost' teploenergeticheskogo oborudovaniya TJeS*, [Терлоенергетическоho reliability of equipment TES], Izd-vo NTL, Tomsk, Russia.
7. Petruk, V. G., Kravets, A. G. (2007), "Carbon monoxide sensors based on SnOx nanoparticles". *Technical Physics*, Vol. 52, Issue 2, pp. 231-234;
8. Chermenskij, O.N. and Fedotov, N.N., (2003), *Podshipniki kachenija*, [Rolling bearings], spravochnik-katalog, Mashinostroenie, Moscow, Russia.
9. Nikijan, N.G., Jamansarin, I.I. (2013), "The influence of climatic factors and modes of operation on the operational reliability of induction motors", *Vestnik GIUA. Serija "Jelektrotehnika, jenergetika"*,. iss. 16, no. 1, pp. 27-36.
10. Radionov, A.V. (2015), "Assessment of the risk of dangerous anthropogenic production equipment system multilevel analysis", *Zbirnik naukovih prac' NUK*, no. 4, pp. 82-90.
11. Radionov, A.V. (2015), "Assessment of the risk by replacing the traditional magnetic-seal sealing complexes taking into account climatic factors", *Zbirnik naukovih prac' NUK*, no. 3, pp. 75 – 83.
12. Chernyshev, I.A. and Chernysheva, T.A., (2014), "Investigation of asynchronous frequency-controlled electric air cooler gas", *Uchenye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tehničeskogo universitet*, no. III-1 (19), pp. 115-121.
13. Ivanovskij R.I (2008), *Teorija verojatnostej i matematičeskaja statistika. Osnovy, prikladnye aspekty s primerami i zadachami v srede Mathcad*, [Theory of Probability and Mathematical Statistics. Basics, practical aspects with examples and problems in Mathcad], SPb.: BHV, Peterburg, Russia.
14. Safin, N.R., Praht, V.A., Dmitrievskij, V.A. (2014), "Fault diagnosis of induction motors based on the spectral analysis of stator currents", *Jenergobezopasnost' i jenergobereženie*. no. 3 (57), pp. 34 – 40.