

DOI 10.15589/jnn20160318
УДК 621.318
P15

**TECHNICAL RISK ASSESSMENT WHEN REPLACING
THE TRADITIONAL SEAL WITH MAGNETIC SEALING COMPLEXES
TAKING INTO ACCOUNT CLIMATIC FACTORS**

**ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОГО РИСКА ПРИ ЗАМЕНЕ ТРАДИЦИОННЫХ
УПЛОТНЕНИЙ МАГНИТОЖИДКОСТНЫМИ ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИМИ
КОМПЛЕКСАМИ С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

Oleksandr V. Radionov
ferrohydrodynamica@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1112-5146

А. В. Радионов,
канд. техн. наук

*«Scientific-industrial Enterprise» Ferrohydrodynamica» LTD, Mykolaiv
ООО «НПВП «Феррогидродинамика», г. Николаев*

Abstract. Various types of seals are widely used in the asynchronous motors (AM), but it is often not possible to achieve an acceptable seal. The solution of this problem is possible using magnetic sealing complexes. A comparison of the average failure rate of the AM series VASO showed that the failure rate depends on the seasonal climatic changes and reaches a maximum in winter when completing AM with gland seals, and does not change during the year when completing AM with MSC. It has been confirmed that the operation of AM with MSC practically does not depend on climatic factors and reduces the technogenic risk level of sealing system when replacing gland seal with MSC in 4...7 times.

Keywords: technogenic risk; magnetic sealing complex; safety; climatic factor.

Аннотация. Рассмотрены условия эксплуатации асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым ротором, являющимся на сегодняшний день основой большинства промышленных электроприводов. Показано, что выбор АД по климатическому исполнению и степени защиты IP достаточно затруднителен. Подтверждено, что эксплуатация АД с МЖГК практически не зависит от климатических факторов и позволяет снизить уровень техногенного риска уплотнительной системы при замене сальникового уплотнения на МЖГК в 4...7 раз.

Ключевые слова: техногенный риск; магнитожидкостный герметизирующий комплекс; безопасность; климатический фактор.

Анотація. Розглянуто умови експлуатації асинхронного двигуна (АД) з короткозамкненим ротором, що є на сьогоднішній день основою більшості промислових електроприводів. Показано, що вибір АД по кліматичному виконанню і ступеня захисту IP досить скрутний. Підтверджено, що експлуатація АД з МЖГК практично не залежить від кліматичних факторів і дозволяє знизити рівень техногенного ризику ущільнювальної системи при заміні сальникового ущільнення на МЖГК в 4...7 разів.

Ключові слова: техногенний ризик; магніторідинний герметизуючий комплекс; безпека; кліматичний фактор.

REFERENCES

- [1] Azizov Kh. F., Grebenyuk G. N., Khodzhaeva G. K. *Prakticheskie rekomendatsii po otsenke geoekologicheskikh riskov vozniknovenie avariynykh situatsiy pri transportirovke nefteproduktov: Monografiya* [Practical recommendations for the assessment of geo-environmental risk of accidents during transportation of petroleum products]. Nizhnevartovsk, Nizhnevart. gumanit. un-t Publ., 2012. 80 p.
- [2] Krasnykh B. A., Martynyuk V. F., Sergienko T. S. *Analiz avariyy i neschastnykh sluchaev na obektakh gazovogo nadzora* [Analysis of accidents at gas facilities supervision]. Moscow, Analiz opasnostey Publ., 2003. 320 p.
- [3] Belov P. G. *Sistemnyy analiz i modelirovanie opasnykh protsessov v tekhnosfere* [System analysis and modeling of hazardous processes in the Technosphere]. Moscow, Akademiya Publ., 2003. 506 p.
- [4] Viktorov A. A., Ksenofontov A. I., Morozova Ye. Ye., Viktorov A. A. *Ekologicheskie riski zdorovyu naseleniya: Monografiya* [Environmental risks to human health]. Moscow, NIYaU MIFI Publ., 2014. 152 p.
- [5] Galyuchenko A. M., Lvov O. S. *Obzor privodov ventilyatorov gradiren* [Drives overview of cooling tower fans]. *Khimicheskaya tekhnika* [Chemical engineering], 2003, no. 10, pp. 32 – 34.

- [6] Safin N. R., Prakht V. A., Dmitrievskiy V. A. *Diagnostika neispravnostey asinkhronnykh dvigateley na osnove spektralnogo analiza tokov statora* [Fault diagnosis of induction motors based on the spectral analysis of stator currents]. *Energobezопасnost i energosberezhenie* [Energy security and energy efficiency], 2014, no. 3 (57), pp. 34–40.
- [7] Ivanovskiy R. I. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya 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]. Saint-Petersburg, BKhV Publ., 2008. 528 p.
- [8] Konyukhov N. N. *Problematika povysheniya nadezhnosti i energoeffektivnosti elektrodvigateley na promyshlennyykh predpriyatiyakh Donbassa* [The issue of increasing the reliability and efficiency of electric motors in industrial enterprises of Donbass]. *Visnyk SevNTU. Vyp. 106 : Mekhanika, energetika, ekologiya: zb. nauk. prats* [SevNTU Journal. Vol. 106: Mechanics, energy, environment]. Sevastopol, SevNTU Publ., 2010, pp. 89–93.
- [9] Kurbatova O. V., Pavlyuchenko V. M. *Montazh i remont gornyykh mashin i elektrooborudovaniya* [Installation and repair of machines and electrical equipment]. Vladivostok, DVG TU Publ., 2004. 286 p.
- [10] Nikiyan N. G., Yamansarin I. I. *O vliyaniy klimaticheskikh faktorov i rezhimov raboty na ekspluatatsionnyuyu nadezhnost asinkhronnykh dvigateley* [The influence of climatic factors and modes of operation on the operational reliability of induction motors] *Vestnik GIUA. Seriya «Elektrotehnika, energetika»* [Bulletin of SEUA. Series 'Electrical Power Engineering'], 2013, vol. 16, no. 1, pp. 27–36.
- [11] Radionov A. V. *Opyt ekspluatatsii magnitozhidkostnykh germetizatorov v promyshlennoy energetike* [Experience in operating magnetic-sealers for industrial energy] *Girnichaya elektromekhanika ta avtomatika* [Mining electrical engineering and automation]. Dnipropetrovsk, 2011, vol. 87, pp. 134–138.
- [12] Radionov A. V. *Opyt ekspluatatsii magnitozhidkostnykh germetizatorov na neftepererabatyvayushchikh zavodakh stran SNG* [Experience in operating magnetic-sealers in refineries CIS] *Khimicheskaya tekhnika* [Chemical engineering], 2015, no. 10, pp. 11–17.
- [13] Radionov A. V. *Otsenka tekhnogennogo riska oborudovaniya opasnykh proizvodstv sistemnym mnogourovnevnyy analizom* [Assessment of technogenic risk of hazardous manufactures equipment using multilevel system analysis] *Zbirnyk naukovykh prats NUK – Collection of scientific publications of NUS*, 2015, no. 4, pp. 82–90.
- [14] Raspopov A. V. *Razrabotka metodov povysheniya nadezhnosti tsekhovykh elektrotekhnicheskikh kompleksov khimicheskikh proizvodstv* [Development of methods for improving the reliability of shop electrical systems of chemical plants] Dissert. autoref. Moscow, MEI (Tekhnicheskii universitet) Publ., 1995. 20 p.
- [15] Khodakov V. Ye., Sokolova N. A., Chernyy S. G. *Vliyaniye prirodno-klimaticheskikh faktorov na sotsialno-ekonomicheskie i proizvodstvennyye sistemy: monografiya* [Influence of climatic factors on the socio-economic and production systems]. Kherson, Grin D.S. Publ., 2013. 354 p.
- [16] Khomutov S. O. *Sistema podderzhaniya nadezhnosti elektricheskikh dvigateley na osnove kompleksnoy diagnostiki i effektivnoy tekhnologii vosstanovleniya izolyatsii* [Maintaining system reliability of electric motors through a comprehensive diagnosis and effective insulation recovery technology]. Barnaul, ООО «MTsEOR» Publ., 2015.
- [17] Filippetti F., Belini A., Capolino G.-A. Condition Monitoring and Diagnosis of Rotor Faults in Induction Machines State of Art and Future Perspectives. Published in conference WEMDCD'2013, March, 11-12, IEEE, pp. 196 – 209.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Экологическая и техногенная безопасность опасных производств непосредственно зависит от надежной работы электрооборудования. К опасным производствам относят предприятия химической, нефтеперерабатывающей, горнодобывающей, энергетической, газотранспортной отраслей и подобные.

Электрооборудование и электроснабжение являются частью сложной технической системы, от работоспособности которой зависит эффективная работа объекта в целом. Из-за выхода из строя электрооборудования происходит около 11% от общего количества взрывов и пожаров на химических предприятиях,

а также неисправности в электрооборудовании являются одной из главных причин для еще примерно 60% аварий [14].

Асинхронный двигатель (АД) с короткозамкнутым ротором сегодня является основой большинства промышленных электроприводов. Однако их эффективному применению препятствует относительно высокая повреждаемость — 25..35% от общего числа установленных электродвигателей ежегодно [16]. Любой выход из строя АД приводит к большому материальному ущербу, связанному с простым технологических процессов, ремонтом вышедшего из строя электродвигателя и т.д. В худшем случае отказ

электродвигателя при последующем его каскадном развитии приводит к авариям и катастрофам.

Согласно данным работы [5] стоимость ремонта АД в любом случае составляет не менее 15% стоимости нового электродвигателя, а если ремонт производит завод-изготовитель, то заказчику это обойдется до 70% стоимости электродвигателя. Но это только стоимость самого ремонта. Работы по демонтажу и монтажу электродвигателя могут стоить до 20% стоимости электродвигателя.

Ущерб от аварийного выхода из строя АД является величиной вероятностной, зависит, в первую очередь, от дальнейшего развития аварийной ситуации. Однако анализ данных эксплуатации электродвигателей ВАСО более чем на 100 предприятиях показывает, что финансовые потери при аварии в разы превышают стоимость ремонта [12].

При оценке работоспособности и техногенного риска АД достаточно часто считают, что они защищены от всех воздействий, являющихся внешними по отношению к АД, за исключением токовых, тепловых и механических нагрузок. Однако такое допущение неверно. Электродвигатели всегда находятся во взаимосвязи с окружающей средой, которая может существенно влиять на их работоспособность, поскольку они должны безотказно функционировать в любое время года и в любых климатических условиях.

Микроклиматическое районирование земного шара, исполнения, категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования технических изделий в части воздействия климатических факторов внешней среды (в том числе электрических машин) установлены нормативными документами [8]. Общие требования сводятся к тому, что АД должен сохранять параметры в процессе и/или после воздействия климатических факторов, значения которых устанавливаются приведенными выше стандартами. Сложность их выполнения заключается в том, что работоспособность и безотказность электродвигателя

в эксплуатации зависят от сезонных климатических закономерностей, а в отдельных регионах — и от суточных. В этих условиях подобрать электродвигатель по степени защиты IP и климатическому исполнению затруднительно. Необходимо также учитывать, что оптимальный выбор АД — это всегда компромиссная задача, где степень защиты IP и климатическое исполнение являются всего лишь двумя из более полутора десятков рассматриваемых факторов. По этой причине в электродвигателях широко применяются различные типы уплотнений, но добиться приемлемой герметизации часто не удается.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Изучение влияния климатических факторов на надежность и работоспособность машин представляет значительный интерес и привлекает к себе все большее внимание исследователей [2, 3, 10].

Детали и узлы любой электрической машины подвержены влиянию различных видов климатических воздействий, которые могут вызывать определенного вида отказы и интенсифицировать потоки отказов (рис. 1). Климатические факторы оказывают негативное воздействие на АД не только в период эксплуатации, но и в периоды простоя и хранения.

Практика эксплуатации АД свидетельствует о том, что они используются в разных климатических условиях. Характерными особенностями являются низкие температуры и высокая влажность воздуха в зимнее время, высокая интенсивность ветровых потоков, высокие температуры воздуха в летние месяцы, континентальность климата и т.д. [1, 4, 9, 15].

В работе [13] отмечалось, что вопросам оценки рисков при модернизации отдельных узлов технологического оборудования в настоящее время практически не уделяется внимания. Задача этой работы — изучение влияния замены традиционных (штатных) уплотнений магнитожидкостными герметизирующими

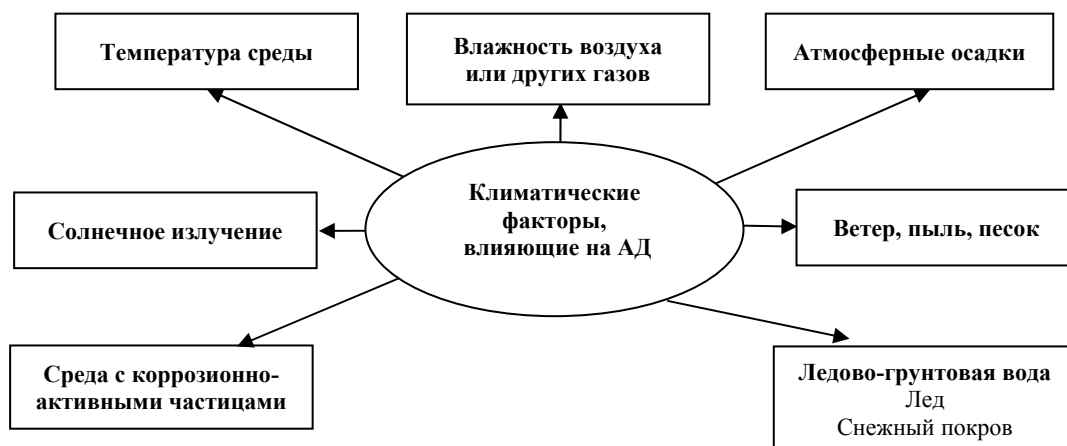


Рис. 1. Классификация климатических факторов, влияющих на электродвигатель

комплексами (МЖГК) на техногенную безопасность усовершенствованным методом оценки техногенных рисков с помощью системного многоуровневого анализа.

Исходя из вышеизложенного, данный метод оценки техногенного риска следует применить с учетом условий и климатических особенностей различных районов.

Оценку техногенного риска предпочтительней провести на примере АД, служащих приводом аппаратов воздушного охлаждения (АВО) и вентиляторных градирен. Асинхронные электродвигатели серии ВАСО, ВАСВ, АСВО массово эксплуатируются на химических и нефтеперерабатывающих заводах, на предприятиях по транспорту и добыче газа и т.д. На эти электродвигатели в разные годы было установлено около 3000 МЖГ. Большой статистический материал и опыт эксплуатации от климатических условий Крайнего севера до субтропиков послужили основанием для выбора электродвигателя ВАСО в качестве объекта исследования [11, 12]. При этом необходимо отметить, что климатические факторы (особенно относительная влажность, запыленность воздуха, воздействие окружающей среды во время простоев) достаточно затруднительно учесть при ускоренных испытаниях АД. Поэтому достоверные показатели дают только анализ статистических данных.

Необходимость учета природно-климатических условий (ПКУ) при изготовлении МЖГК лишь однажды была включена в техническое задание на их разработку. Такое требование выдвигалось нефтеперерабатывающим заводом в г. Атырау (Казахстан). Это связано с неблагоприятными ПКУ, которыми характеризуется Прикаспийский регион. Этот регион отличается резко континентальным климатом, проявляющим в значительных изменениях годовых (до +43 °С летом и до -43 °С зимой) и суточных (перепад может достигать более 20 °С) температур и в неустойчивости климатических показателей во времени. В целом климат – засушливый, среднее количество осадков небольшое, но осадки носят ливневый характер. От 18 до 50 дней в году в регионе, преимущественно в весенне-летний период, наблюдаются пылевые солончаковые бури. Туманы преобладают в холодное время года 25 – 45 дней в году, зима с устойчивым снежным покровом и частыми гололедами.

Необходимо отметить, что все выделенные неблагоприятные погодные явления характерны и для климата различных регионов Украины [15].

ЦЕЛЮЮ РАБОТЫ является снижение уровня техногенного риска. Для этого необходимо оценить техногенный риск при замене традиционных уплотнений выходных валов асинхронных электродвигателей на магнитожидкостные герметизирующие комплексы с учетом климатических условий усовер-

шенствованным методом оценки риска, включающим вероятность возникновения опасной ситуации и вероятность того, что опасная ситуация приведет к нанесению вреда.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Высокая достоверность и объективность информации о 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 невозможно получить достаточное количество их отказов за небольшой 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 значительно отдаленных друг от друга.

Несмотря на перечисленные трудности, был принят метод эксплуатационных наблюдений, так как только он на основании информации об отказах АД 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 отказов электродвигателей ВАСО было проведено системное изучение условий эксплуатации значительного количества двигателей с учетом ПКУ в различных отраслях промышленности. При исследовании эксплуатационной надежности за период с 1992 по 2015 год были рассмотрены АД как с традиционными уплотнениями, так и с МЖГК. Данные об отказах были собраны 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. Всего был собран и обработан статистический материал о более чем 4000 вышедших из строя

электродвигателей ВАСО. Анализ статистического материала проводился с использованием методов математической статистики [7]. Данные о среднемесячной относительной влажности, температуре воздуха, продолжительности выпадения росы и т.д. брались из архивов метеостанций.

При исследовании отказов 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.

Анализируемые АД подвергаются комплексному воздействию теплоты, вибрации, пыли, влаги и т. д. Так, колебания температуры в течение года в разных климатических зонах составляют от плюс 40 до минус 55 °С), колебания относительной влажности – от 15 до 100%, запыленности воздуха – в случае песчаных бурь до 800...900 мг/м³.

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. 2 представлены диаграмма характера повреждений электродвигателей ВАСО на химических и нефтеперерабатывающих заводах Украины и средней полосы России, за период 2000–2005 гг. (так как в эти годы количество эксплуатирующихся электродвигателей было максимальным). Эти данные хорошо коррелируются с результатами, приведенными в [6], где 80% отказов связаны с повреждениями подшипников, 16% — с обмоткой статора и 4% — с ротором, а также с данными, обсуждавшимися на первом семинаре по проектированию, управлению и диагностике электрических машин WEMDCD’2013, где повреждения подшипников составили 69%, обмоток статора — 21%, ротора — 7% и повреждения, связанные с соединительными муфтами вентилятора — 3% [17].

Далее было изучено влияние сезонных изменений ПКУ на интенсивность отказов АД. Методом математической статистики были обработаны все известные данные об отказах электродвигателей ВАСО в разных климатических условиях на территориях Украины, России, Беларуси, Казахстана и Узбекистана, причем анализировались электродвигатели только со штатными уплотнениями. Результаты исследований приведены в табл. 1.

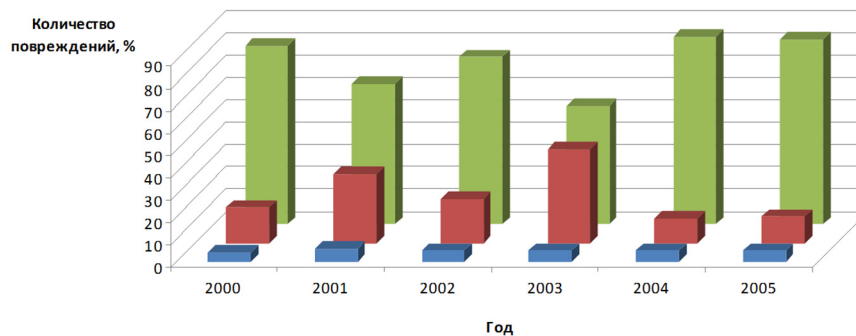


Рис. 2. Диаграмма характера повреждений электродвигателей ВАСО на химических и нефтеперерабатывающих заводах Украины и средней полосы России за пять лет:

■ — ротор; ■ — обмотка статора; ■ — подшипник

Таблица 1. Среднемесячные интенсивности отказов электродвигателей ВАСО

Компоненты анализа	Месяцы											
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Средняя интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-5}, \text{ч}^{-1}$	13,5	11,8	10,6	11,5	7,8	11,1*	14,8*	15,8*	6,3	9,8	12,1	16,5
Коэффициент вариации интенсивности отказов, %	77	47	61	49	79	40	56	36	97	73	56	59

Примечание: * эксплуатация с водяным орошением.

Высокие значения коэффициентов вариации объясняются тем, что статистически обрабатывались результаты работы АД в разных условиях эксплуатации, причем анализировались электродвигатели серии ВАСО — разной мощности и разных заводов — производителей (Н. Каховка, Тирасполь, Лысьва, Сафоново) для снижения влияния технологии изготовления. Это было сделано для увеличения объема выборки. Из рассмотрения табл. 1 видно, что интенсивность отказов значительно выше в самые жаркие и холодные месяцы года. Однако необходимо учитывать, что в период высоких летних температур многие заводы применяют установку систем увлажнения воздуха, состоящую из насосной станции, распределителей и форсунок. За счет высокого давления в системе вода распыляется до высокой степени дисперсности, что обеспечивает ее испарение на протяжении относительно короткого пути от воздухозабора до поверхности оребренных труб. Однако это значительно ухудшает эксплуатационные условия АД. Относительно низкие значения интенсивности отказов в мае и сентябре можно объяснить тем, что в это время чаще всего нефтеперерабатывающие и химические предприятия проводят капитальные ремонты с полной остановкой производства.

При проведении комплексного анализа статистических данных по отказам АД было выявлено преобладание фактора влажности воздуха по сравнению со всеми другими факторами, связанными с климатическими условиями. В значительно меньшей степени на износ АД влияют воздействие агрессивных газов и пыли.

Поэтому рассмотрено негативное воздействие выделенных факторов на работоспособность и надежность электродвигателей ВАСО.

Влага проникает вовнутрь АД главным образом через выходной вал из-за недостаточно эффективной работы уплотнения. Анализ статистических данных показал, что взрывозащищенные электродвигатели выходят из строя по причине отказов подшипниковых узлов точно так же, как и АД общепромышленного назначения, даже несмотря на то, что они проектируются более надежными, в том числе это касается и уплотнительного узла.

Чаще всего влага проникает вовнутрь АД в те периоды, когда последний находится в неработающем состоянии. Особенно интенсивно этот процесс идет во время остывания электродвигателя после его работы, так как возникает разница давлений между воздухом внутри АД и снаружи, при этом воздух засасывается внутрь АД. При нагревании давление воздуха внутри АД повышается, и воздух выходит наружу. При последующих включениях — отключениях АД — цикл повторяется. Понижение температуры электродвигателя практически всегда сопровождается выпадением росы.

Длительное воздействие высокой влажности вызывает смыв смазки с верхнего подшипникового узла, коррозию металлических деталей, набухание и гидролиз органических материалов изоляции. Продуктом гидролиза являются органические кислоты, разрушающие материалы и интенсифицирующие коррозию. Наличие во влажной атмосфере промышленных газов и пыли приводит к прогрессирующей коррозии.

При этом влажный воздух (иногда вместе с пылью) всасывается, в основном, через подшипниковые узлы, что подтверждает дефектация отказавших электродвигателей ВАСО с традиционными уплотнениями. Смазка всех подшипников либо полностью смыта, либо сильно загрязнена.

Под воздействием влаги происходит изменение электрических, физико-механических и химических свойств электроизоляционных материалов в стороны их ухудшения. Из-за постоянного изменения относительной влажности среды при эксплуатации (суточные колебания относительной влажности среды, изменения влажности электроизоляционных материалов обмотки при работе и простое электродвигателей) влага проникает в материал то на одну, то на другую глубину, при этом наружные и внутренние слои ее разбухают в разной степени. Вследствие этого в поверхностном слое обмотки изоляции образуются мелкие трещины, которые способствуют интенсивному проникновению влаги внутрь материала, при этом электрические характеристики электроизоляционного материала ухудшаются, а механическая прочность уменьшается и тем быстрее, чем больше частота изменений относительной влажности воздуха.

В электродвигателях серии ВАСО в основном применяют сальниковые уплотнения. Опыт многолетней эксплуатации показал недостаточную надежность данных типов уплотнений: вода попадает внутрь подшипникового узла, что приводит к значительному уменьшению его работоспособности и надежности по выше приведенным причинам. Ремонт электродвигателей типа ВАСО возможен только в условиях специализированного участка электроремонтного цеха предприятия. Механический контакт сальника с валом приводит к его изнашиванию, что вызывает необходимость наплавки и обработки вала или его замены.

В работе [13] была предложена формула для оценки техногенного риска при эксплуатации оборудования:

$$R = K \cdot E \cdot A \cdot S, \quad (1)$$

где K — поправочный коэффициент учитывающий условия эксплуатации и обслуживания оборудования и т.д.; E — вероятность возникновения опасной си-

туації; A — вероятность того, что опасная ситуация приведет к нанесению вреда; S — тяжесть последствий.

Данная оценка техногенного риска требует уточнения, т.к. параметры E и A являются также функцией от ПКУ и их сезонных изменений. Коэффициенты, учитывающие влияние климатических условий, определялись на основании статистической обработки интенсивности отказов для различных условий эксплуатации. Анализ результатов показал, что учет ПКУ повышает риск техногенных аварий и для различных регионов и времен года его значение колеблется в пределах 1...1,20.

Уточненную формулу для оценки техногенного риска оборудования можно записать в следующем виде:

$$R = K \cdot (K_{ос1} \cdot E) \cdot (K_{ос2} \cdot A) \cdot S, \quad (2)$$

где $K_{ос1}$ и $K_{ос2}$ — коэффициенты, учитывающие влияние природно-климатических условий в данный момент времени соответственно на вероятность возникновения опасной ситуации и на вероятность того, что опасная ситуация приведет к нанесению вреда.

На рис. 3 приведена оценка техногенного риска АД серии ВАСО для шести регионов с различными климатическими условиями в зависимости от времени года. Оценка риска проводилась как для АД со штатным уплотнением, так и для МЖГК.

Из рис. 3 видно, что наиболее тяжелым является зимний режим с большими отрицательными температурами окружающей среды, высокой относительной влажностью воздуха с чередующимися включениями-отключениями АД. Именно поэтому для электродвигателей серии ВАСО, эксплуатирующихся в Тюмени, ввиду ненадежной работы штатного уплотнения, техногенный риск приближается к верхней границе терпимого риска (категория терпимого риска $30 \leq R \leq 125$) и здесь уже необходимо проводить мероприятия по снижению риска. Наличие пылевых бурь в Алматы и Атырау несколько увеличивают техногенный риск. Внедрение МЖГК во всех рассматриваемых случаях позволяет свести техногенный риск до категории незначительного ($15 \leq R$) за счет практически полного предотвращения попадания влаги внутрь электродвигателя. Это позволяет в 4...7 раз снизить уровень техногенного риска уплотнительных систем.

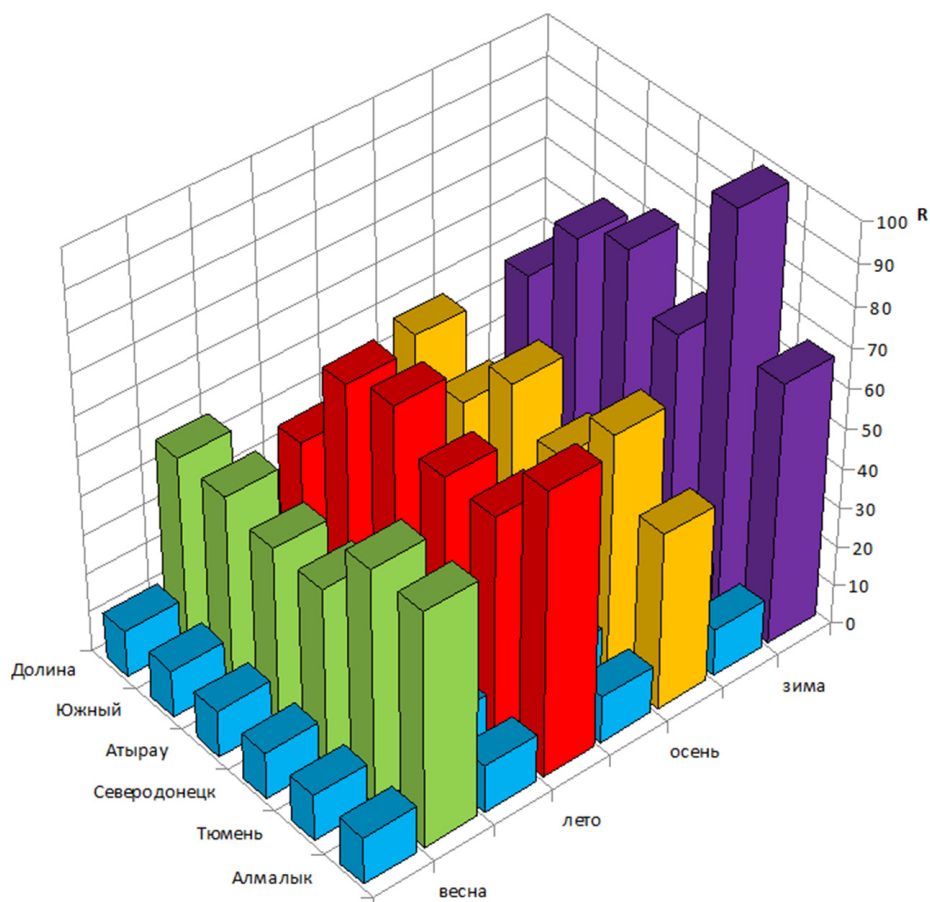


Рис. 3. Оценка техногенного риска АД серии ВАСО с применением сальниковых уплотнений и МЖГК:

■ — с применением МЖГК

ВЫВОДЫ. 1. Сравнением среднемесячной интенсивности отказов электродвигателей ВАСО установлено, что при комплектации их сальниковыми уплотнениями интенсивность отказов зависит от сезонных изменений климатических условий и достигает максимального значения в зимний период, а с МЖГК не изменяется в течение года.

2. Показано, что влияние орошения при эксплуатации двигателей при комплектации их сальниковыми уплотнениями повышает интенсивность отказов в летние месяцы года, а с МЖГК не изменяется.

3. Подтверждено, что эксплуатация асинхронных двигателей с МЖГК практически не зависит от климатических факторов и позволяет снизить уровень техногенного риска уплотнительной системы при замене сальникового уплотнения на МЖГК в 4...7 раз.

4. Снижение уровня техногенного риска асинхронных двигателей с МЖГК приводит к перераспределению отказов электродвигателя по повреждению подшипниковых узлов и обмоток статора при снижении абсолютных величин этих показателей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Азизов, Х. Ф.** Практические рекомендации по оценке геоэкологических рисков возникновения аварийных ситуаций при транспортировке нефтепродуктов : Монография [Текст] / Х. Ф. Азизов, Г. Н. Гребенюк, Г. К. Ходжаева // Нижневартовск : Изв-во Нижневарт. гуманит. ун-та, 2012. — 80 с.
- [2] Анализ аварий и несчастных случаев на объектах газового надзора [Текст] / Б. А. Красных, В. Ф. Мартынюк, Т. С. Сергиенко и др. // М. : Анализ опасностей, 2003. — 320 с.
- [3] **Белов, П. Г.** Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере [Текст] / П. Г. Белов // М. : Академия, 2003. — 506 с.
- [4] **Викторов, А. А.** Экологические риски здоровью населения: Монография [Текст] / А. А. Викторов, А. И. Ксенофонов, Е. Е. Морозова // М. : НИЯУ МИФИ, 2014. — 152 с.
- [5] **Галюченко, А. М.** Обзор приводов вентиляторов градирен [Текст] / А. М. Галюченко, О. С. Львов // Химическая техника. — 2003. — № 10. — С. 32–34.
- [6] Диагностика неисправностей асинхронных двигателей на основе спектрального анализа токов статора [Текст] / Н. Р. Сафин, В. А. Прахт, В. А. Дмитриевский и др. // Энергобезопасность и энергосбережение. — 2014. — № 3 (57), май — июнь. — С. 34–40.
- [7] **Ивановский, Р. И.** Теория вероятностей и математическая статистика. Основы, прикладные аспекты с примерами и задачами в среде Mathcad. — СПб. : БХВ — Петербург, 2008. — 528 с.
- [8] **Конюхов, Н. Н.** Проблематика повышения надежности и энергоэффективности электродвигателей на промышленных предприятиях Донбасса [Текст] / Н. Н. Конюхов // Вісник СевНТУ. Вип. 106 : Механіка, енергетика, екологія : з. наук. пр. — Севастополь : Вид-во СевНТУ, 2010. — С. 89–93.
- [9] **Курбатов, О. В.** Монтаж и ремонт горных машин и электрооборудования [Текст] : учеб. пособие / О. В. Курбатов, В. М. Павлюченко. — Владивосток : Изд-во ДВГТУ, 2004. — 286 с.
- [10] **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.
- [11] **Радионон, А. В.** Опыт эксплуатации магнитоэлектрических герметизаторов в промышленной энергетике [Текст] / А. В. Радионон // Гірнична електромеханіка та автоматика. — Дніпропетровськ, 2011. — Вип. 87. — С. 134–138.
- [12] **Радионон, А. В.** Опыт эксплуатации магнитоэлектрических герметизаторов на нефтеперерабатывающих заводах стран СНГ [Текст] / А. В. Радионон // Химическая техника. — 2015. — № 10. — С. 11–17.
- [13] **Радионон, А. В.** Оценка техногенного риска оборудования опасных производств системным многоуровневым анализом [Текст] / А. В. Радионон // Збірник наукових праць НУК. — 2015. — № 4. — С. 82–90.
- [14] **Распопов, А. В.** Разработка методов повышения надежности цеховых электротехнических комплексов химических производств [Текст] / автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. В. Распопов. — М. : МЭИ (Технический университет), 1995. — 20 с.
- [15] **Ходаков, В. Е.** Влияние природно-климатических факторов на социально-экономические и производственные системы: монография [Текст] / В. Е. Ходаков, Н. А. Соколова, С. Г. Черный // Херсон : Гринь Д. С., 2013. — 354 с.
- [16] **Хомутов, С. О.** Система поддержания надежности электрических двигателей на основе комплексной диагностики и эффективной технологии восстановления изоляции [Электронный ресурс] : монография / С. О. Хомутов. — Электронные данные. — Барнаул : ООО «МЦЭОР», 2015. — 1 эл. опт. диск (CD-R); 12 см.
- [17] **Filippetti F.** Condition Monitoring and Diagnosis of Rotor Faults in Induction Machines State of Art and Future Perspectives [Text] / F. Filippetti, A. Belini, G.-A. Capolino // Published in conference WEMDCD'2013, March, 11–12, IEEE. — Pp. 196–209.

© О. В. Радіонов

Надійшла до редакції 29.07.2016

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК д-р техн. наук, проф. М. І. Радченко