УДК 539.3: 624.04

В.Н. Костюков, V.N. Kostyukov, e-mail: post@dynamics.ru
А.П. Науменко, A.P. Naumenko, e-mail: post@dynamics.ru
ООО «НПЦ «Динамика», г. Омск, Россия
Ltd. «SPC «Dynamics», Omsk, Russia

ОЦЕНКА РИСКА ВЫБОРА НОРМАТИВНЫХ ВЕЛИЧИН ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ

RISK ASSESSMENT SELECTION GUIDELINE VALUES OF DIAGNOSTIC SIGNS

В докладе рассмотрены вопросы выбора метода определения величин нормативных значений диагностических признаков на основе теории принятия статистических решений. Приведен пример расчета вероятностей пропуска дефекта и ложной тревоги, риска пропуска отказа при выборе величины нормативного признака различными методами принятия решений.

The report discusses the method of determination of quantities normative value of the diagnostic indicators on the basis of decision theory and statistical decisions. The example of calculation of the probability of crossing of the defect and false alarms, the risk of missing the failure to select the size of the regulatory characteristic of different methods of decision making.

Ключевые слова: *риски, мониторинг, диагностика, техническое состояние*

Key words: *risks, monitoring, diagnostics, technical condition*

Актуальность. В общем случае на основе совокупности диагностических признаков (ДП), каждый из которых с определенной вероятностью характеризует состояние диагностируемого объекта, необходимо построить решающее правило, с помощью которого предъявленная совокупность признаков была бы отнесена к одному из возможных состояний (диагнозов) [1, 2, 3, 4]. В частном случае необходимо провести выбор одного из двух диагнозов (дифференциальная диагностика или дихотомия), например, «исправное состояние» и «неисправное состояние» [5, 6, 7].

Целью работы является выявление методов оценки нормативных значений диагностических признаков на основе теории принятия статистических решений и рисков, которые можно использовать в системах вибродиагностического мониторинга [8, 9, 10, 11].

Предпосылки решения проблемы. Методы статистических решений, такие как, методы минимального риска, минимального числа ошибочных решений, минимакса, Неймана-Пирсона, наибольшего правдоподобия, позволяют выбрать решающее правило исходя из условий оптимальности, например, из условия минимального риска, минимизация одной из ошибок постановки диагноза при заданном уровне другой.

Оценки стоимости ошибок часто неизвестны, а их достоверное определение часто связано с большими трудностями. Поэтому центром проблем является обоснованный выбор допустимого уровня ошибок на основе, предыдущего опыта или интуитивных соображений. Анализ отказов и ремонтов поршневых компрессоров *НХК* показывает [1, 8], что отказы клапанов составляют 36% от всего объема отказов, а стоимость ремонта – до 50% от общей стоимости. Таким образом, дальнейшее решение задачи следует провести именно для клапанов.

Для оценки стоимости вероятностей пропуска дефекта и ложной тревоги в качестве исходных данных примем следующее:

1. Технологический комплекс – установка гидроочистки дизельных топлив производительностью 250 т./ч., установка работает 8000 часов в год.

2. Отпускная цена дизельного топлива Евро-3 (Евро-4) – 9300 руб./т.

3. Объект – два непрерывно работающих четырехцилиндровых компрессора, имеющих по две полости нагнетания в каждом цилиндре, при этом каждая полость нагнетания имеет по одному всасывающему и нагнетательному клапанам, в случае отказа одного из клапанов – нагнетание газа в данной полости не происходит. Производительность одной полости нагнетания – 6,25 % от общей производительности двух компрессоров.

4. Стоимость одного клапана – 16 тыс. руб., наработка на отказ – 8000 час.

Оценка стоимости принятия решений:

1. Стоимость перебраковки клапана: 16000 руб./8000 ч.=2 руб./ч., т.е. при перебраковке клапана (клапан отправили в ремонт за один час до его поломки) стоимость недовыработки его ресурса составит 2 руб./ч.

2. Стоимость недобраковки (клапан не работает в течение часа эксплуатации компрессора, при этом производительность технологической установки снизилась на 6,25%) 145 312 руб.

3. Отношение стоимостей – 72 656, что позволяет с учетом всех неучтенных факторов, уменьшающих данное отношение, принять относительную стоимость пропуска дефекта C_{12}=1, а стоимость ложной тревоги C_{21}=0,001.

Решение задачи. Вероятность принятия ошибочного решения слагается из вероятностей ложной тревоги и пропуска дефекта. Если приписать «цены» этим ошибкам и принять, что цены правильных решений есть C_{11} и C_{22}, которые для сравнения со стоимостью потерь (ошибок) принимаются отрицательными, то получим выражение для среднего риска (ожидаемая величина потери)

$$R = C_{11}P_1\int_{-\infty}^{x_0} f(x/D_1)dx + C_{21}P_1\int_{x_0}^{\infty} f(x/D_1)dx + C_{12}P_2\int_{-\infty}^{x_0} f(x/D_2)dx + C_{22}P_2\int_{x_0}^{\infty} f(x/D_2)dx.$$

где $f(x_0/D_1)$ – плотность вероятности для исправного состояния; $f(x_0/D_2)$ – плотность вероятности для неисправного состояния; диагноз D_1 соответствует исправному состоянию, D_2 – дефектному состоянию объекта; C_{21} – цена ложной тревоги; C_{12} – цена пропуска дефекта (первый индекс – принятое состояние, второе – действительное).

Величина x – текущее (измеренное) значение диагностического признака, – является случайной и потому приведенное равенства представляют собой среднее значение (математическое ожидание) риска.

В [] рассчитаны параметры функций распределений диагностических признаков неисправностей клапанов поршневых компрессоров для состояний «требует принятия мер» (ТПМ) и «недопустимо» (НДП). Функции распределения для одного из признаков *Apv*2 приведены ниже.

$$\text{ТПМ: } F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{28,93}\right)^{7,333}\right]; \text{ НДП: } F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{42,3977}\right)^{10,755}\right]$$

Расчеты для диагностического признака *Apv*2 (табл. 2) показывают, что минимальный риск R при принятии решений и наименьшую вероятность пропуска дефекта $P(H_{12})$ дают методы минимакса и минимального риска, что соответствует граничному значению x_0=(22…26,7) м/с^2. Для остальных методов величина среднего риска составляет 0,0016…0,0068. В тоже время минимальную вероятность ложной тревоги $P(H_{21})$ дают оценки методами минимального числа ошибочных решений $P(H_{21})$=0,0013 и Неймана-Пирсона $P(H_{21})$=0,0091.

Таблица 2

Метод	x_0, м/с^2	$P(H_{21})$	$P(H_{12})$	R
Минимального риска	26,7	0,55	0,00021	0,00076
Минимального числа ошибочных решений	37,4	0,0013	0,0068	0,0068
Наибольшего правдоподобия	34	0,884	0,0026	0,0035
Минимакса	22	0,80	0,000073	0,00087
Неймана-Пирсона	32,5	0,091	0,0016	0,0017

Анализ полученных результатов. Расчет средних значений вероятности пропуска дефекта $P(H_{12})$, ложной тревоги $P(H_{21})$ и риска пропуска отказа *Risk* для восьми диагностических признаков неисправностей клапанов позволил провести сравнение различных методов выбора граничных величин диагностических признаков (рис. 1).

Методы **минимакса** и **минимального риска** показали наименьшую вероятность пропуска дефекта $P(H_{12})$ и величину риска пропуска отказа *Risk*, однако, вероятность ложной тревоги $P(H_{21})$ лежит в пределах от 0,19 до 0,41, что ведет к перебраковке исправных клапанов.

Метод **минимального числа ошибочных решений** дает сопоставимые величины вероятности пропуска дефекта ($P(H_{12}$=0,0037) и риска пропуска отказа (*Risk*=0,0032), при достаточно низкой величине вероятности ложной тревоги ($P(H_{21})$=0,0054).

Метод **наибольшего правдоподобия** дает максимальную величину вероятности ложной тревоги ($P(H_{21})$=0,75).

Метод **Неймана-Пирсона** имеет почти в полтора раза меньшие значения величины вероятности пропуска дефекта ($P(H_{12})$=0,0022) и риска пропуска отказа (*Risk*=0,0022) по сравнению с методом минимального числа ошибочных решений, но при этом имеет в пять раз большую величину вероятности ложной тревоги ($P(H_{21})$=0,025).

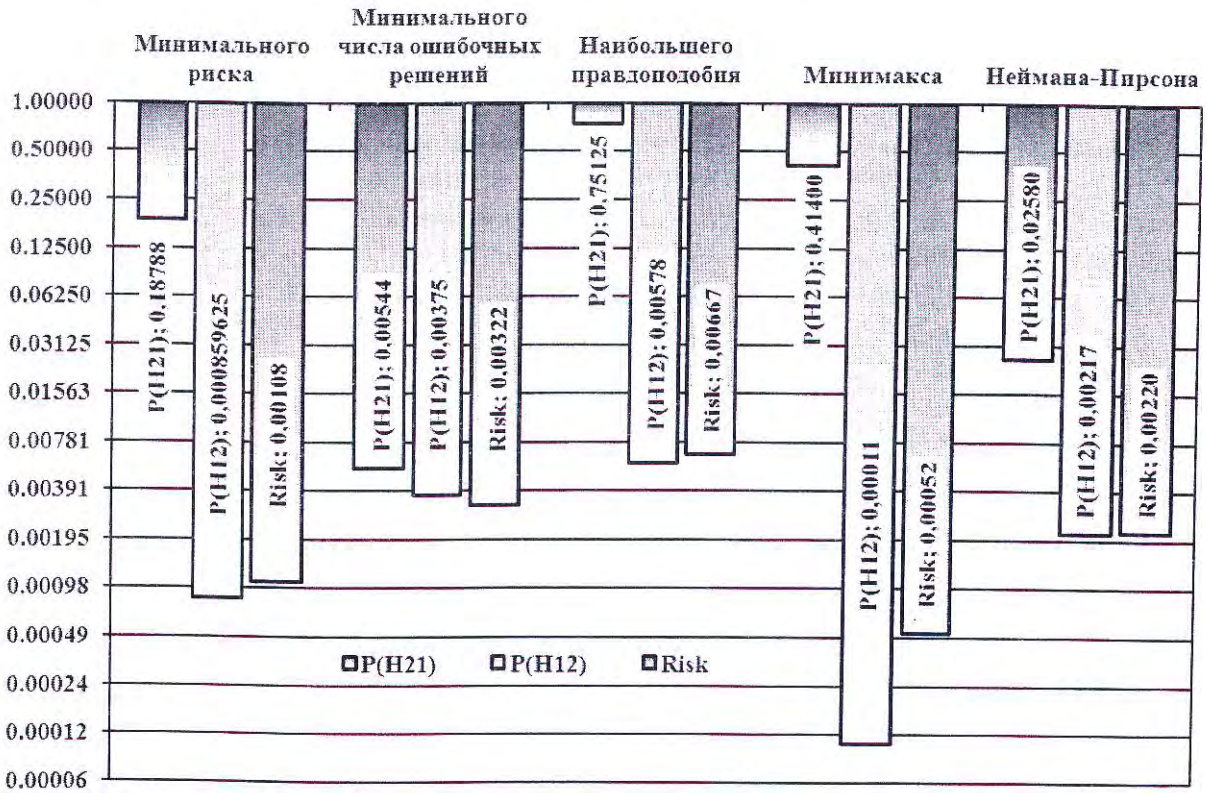


Рис. 1. Величины риска пропуска отказа R с учетом стоимостей пропуска дефекта и ложной тревоги, вероятности пропуска неисправности $P(H_{12})$ и ложной тревоги $P(H_{21})$ при оценке граничного значения диагностического признака различными методами

Но применение метода минимального числа ошибочных решений оправданно в том случае, если цены ложной тревоги и пропуска дефекта соизмеримы [5]. В данном случае цена пропуска дефекта значительно больше цены ложной тревоги.

В методе Неймана – Пирсона задается допустимая вероятность ложной тревоги и тем самым минимизируется вероятность пропуска дефекта [], что и необходимо.

Расчеты методом Неймана-Пирсона для анализа эффективности принятия решения о состоянии объекта диагностирования по полученным функциям распределения показывают (рис. 2), что минимум риска пропуска отказа соответствует вероятности диагностического признака в пределах от 0,93 до 0,95.

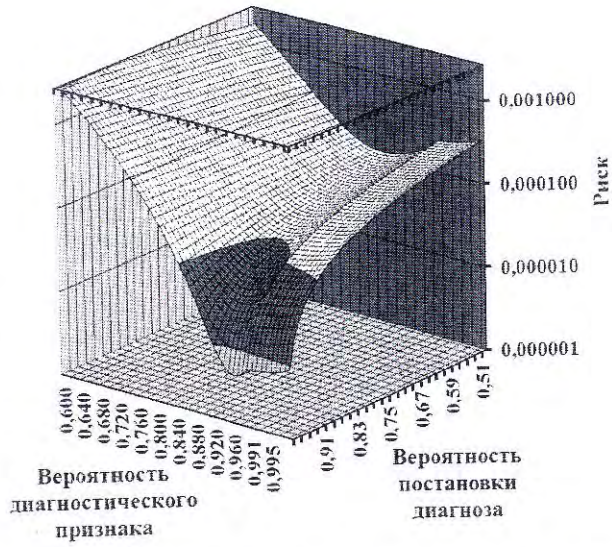


Рис. 2. Зависимости величины риска пропуска отказа с учетом стоимостей пропуска дефекта и ложной тревоги от вероятности правильности постановки диагноза и вероятности диагностического признака

Выводы. Анализ использования статистических методов принятия решений для оценки граничных величин диагностических признаков показал, что при сравнимых ценах ложной тревоги и пропуска дефекта целесообразно использовать метод минимального числа ошибочных решений. Если же стоимость пропуска дефекта значительно выше стоимости ложной тревоги, то целесообразно использовать метод Неймана-Пирсона. Выбор граничных значений диагностических признаков по их функциям распределения для различных состояний объекта диагностирования следует выбирать при величине вероятности от 0,93 до 0,95.

Библиографический список

1. Науменко А. П. Научно-методические основы вибродиагностического мониторинга поршневых машин в реальном времени : дис. на соиск. ученой степ. д-ра техн. наук :05.11.13 / А. П. Науменко. – Омск, 2012. – 423 с.

2. Костюков В. Н. Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин: учеб. пособие / В. Н. Костюков, А. П. Науменко. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. – 360 с.

3. Пат. 2337341 Российская Федерация, МПК G01M15/14, G01M7/02. Способ вибродиагностики технического состояния поршневых машин по спектральным инвариантам / Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Науменко А.П. ; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью НПЦ "Динамика" - Научно-производственный центр "Диагностика, надежность машин и комплексная автоматизация". – № 2007113529; заявл. 11.04.07; опубл. 27.10.08, Бюл. № 30.

4. Костюков В. Н. Вибродиагностика поршневых компрессоров /В. Н. Костюков, А.П. Науменко // Компрессорная техника и пневматика. – 2002. – № 3. – С. 30–31.

5. Биргер И.А. Техническая диагностика / И.А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.

6. Костюков, В.Н. Стандарты в области мониторинга технического состояния оборудования опасных производств / В.Н. Костюков, А.П. Науменко, Ан.В. Костюков, С.Н. Бойченко, Ал.В. Костюков // Безопасность труда в промышленности. – 2012. – № 7. – С. 30–6.

7. Костюков В.Н. Нормативно-методическое обеспечение диагностики и мониторинга поршневых компрессоров /В.Н. Костюков, А.П. Науменко // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 5. – С.66–70.

8. Костюков, В.Н. Проблемы и решения безопасной эксплуатации поршневых компрессоров / В. Н. Костюков, А.П. Науменко //Компрессорная техника и пневматика. – 2008. – № 3. – С. 21-28.

9. Костюков, В.Н. Система контроля технического состояния машин возвратно-поступательного действия /В. Н. Костюков, А.П. Науменко // Контроль. Диагностика. – 2007. – № 3 (105). – С. 50-59.

10. Костюков В.Н. Анализ современных методов и средств мониторинга и диагностики поршневых компрессоров. Ч. 1. / В. Н. Костюков, А. П. Науменко // В мире неразрушающего контроля. – 2010. – № 1. – С. 64–70.

11. Костюков В.Н. Анализ современных методов и средств мониторинга и диагностики поршневых компрессоров. Ч. 2. / В. Н. Костюков, А. П. Науменко // В мире неразрушающего контроля. – 2010. – № 2. – С. 28–36.

УДК 622.24

В.Н. Костюков, V.N Kostyukov, e-mail:post@dynamics.ru
А.В. Костюков, A.V. Kostyukov, e-mail:post@dynamics.ru
А.А. Синицын, A.A. Sinichin, e-mail:post@dynamics.ru
Е.В. Тарасов, E.V. Tarasov, e-mail:post@dynamics.ru
ООО "НПЦ «Динамика», г. Омск, Россия
Ltd. "SPC "Dynamics", Omsk, Russia

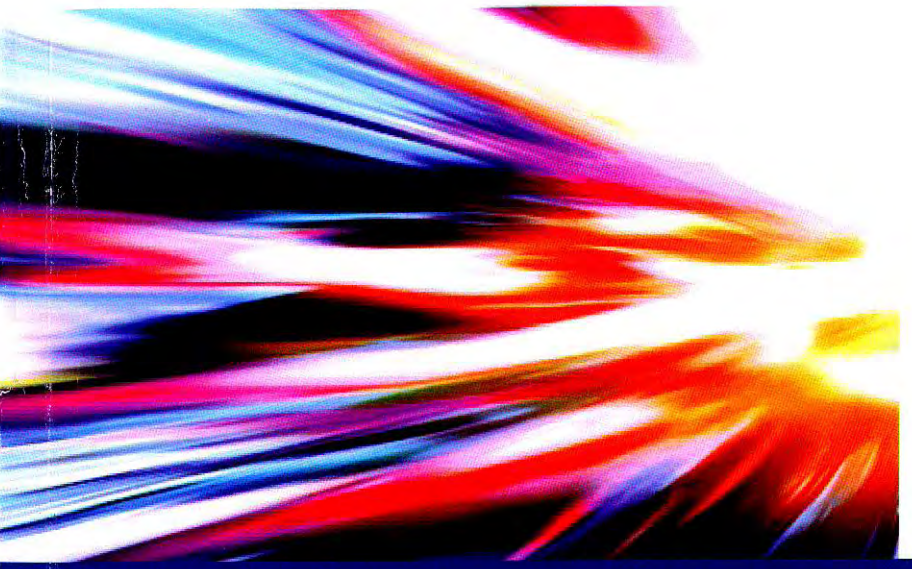
ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АГРЕГАТОВ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

RELIABILITY ASSESSMENT OF SAFETY OF UNITS PETROCHEMICAL COMPLEX

Решение проблемы безопасной и надежной эксплуатации машинных агрегатов опасных производств нефтехимических комплексов (НХК) напрямую связано с мониторингом рисков в их эксплуатации. Для мониторинга рисков опасных производственных объектов необходимо оценивать характеристики надежности оборудования в реальных условиях его эксплуатации, знать время средней наработки машинных агрегатов до зарождения дефекта и до перехода в опасное техническое состояние. Анализ надежности технологических установок НХК показывает, что на динамическое оборудование приходится более 70% отказов [1, 2, 3]. Решением проблем безопасной и надежной эксплуатации машинных агрегатов непрерывных опасных производств нефтехимических комплексов является определение средней наработки агрегатов с учетом их работы в различных технических состояниях.

Solving the problem of safe and reliable operation of machine units hazardous industries petrochemical complexes is directly related to the monitoring of risks in their operation. To monitor risks of hazardous production facilities need to assess the performance of equipment reliability in real operating conditions , namely, the mean time to know the time machine units to defect nucleation and the transition to a dangerous (emergency) technical condition . In addition, the reliability analysis of technological installations petrochemical complexes shows that dynamic equipment accounts for more than 70 % of failures [1, 2, 3]. Thus the important problems of safe and reliable operation of machine aggre-

ISSN 2310-9793



Омский
государственный
технический
университет

ДИНАМИКА СИСТЕМ, МЕХАНИЗМОВ И МАШИН

№ 4, 2014

Радиотехнические системы, устройства и СВЧ-технологии, информационно-телекоммуникационные системы и безопасность

Вибродиагностика, мониторинг, риски

Техносферная безопасность

ISSN 2310-9793

ДИНАМИКА СИСТЕМ, МЕХАНИЗМОВ И МАШИН

DYNAMICS OF SYSTEM, MECHANISMS AND MASHINES (DYNAMICS)

Шесть номеров в год
с периодичностью один раз в два года

№ 4, 2014

Учредитель:

Омский государственный технический университет

Редакционная коллегия:

В. В. Шалай, доктор технических наук
Е. А. Андреева, доктор технических наук
П. Д. Балакин, доктор технических наук
С. В. Бирюков, доктор технических наук
А. В. Бубнов, доктор технических наук
Ю. А. Бурьян, доктор технических наук
В. Н. Горюнов, доктор технических наук
А. А. Колоколов, доктор физ.-мат. наук
А. В. Косых, доктор технических наук
В. И. Левченко, доктор технических наук
Ю. К. Машков, доктор технических наук
А. П. Моргунов, доктор технических наук
В. И. Потапов, доктор технических наук
В. Ф. Фефелов, кандидат химических наук

Главный редактор:

А. В. Косых,
первый проректор –
проректор по научной работе ОмГТУ

© ОмГТУ, 2014

Технические редакторы:

О. И. Бабенко
Р. Х. Багаутдинова
М. А. Галега
М. С. Романовская
М. А. Федорова
И. М. Чумаченко
И. В. Шукшина

Язык публикаций:
русский, английский

Дата и номер договора о включении рецензируемого научного издания в систему Российского индекса научного цитирования:
213-04/2014 от 14.04.2014

Адрес в РИНЦ:
http://elibrary.ru/title_about.asp?id=50500

Адрес редакции:
644050, г. Омск, пр. Мира, 11, каб. 203а
Контактный телефон:
8 (381-2) 65-35-36
e-mail: fap_omsk@omgtu.ru
Телефон для рекламодателей: 65-35-36

В журнал вошли материалы конференции «Динамика систем, механизмов и машин», которая проводится в ОмГТУ с 1995 г.

Дата создания журнала 2014 г.

Печатается в авторской редакции

Компьютерная верстка *О. Г. Белименко*

Подписано в печать 16.10.14. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Отпечатано на дупликаторе. Усл. печ. л. 18,00. Уч.-изд. л. 18,00.
Тираж 200 экз. Заказ 594.

Издательство ОмГТУ. 644050, г. Омск, пр. Мира, 11; т. 23-02-12.
Типография ОмГТУ