

ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ И ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Комплексный подход к определению технического состояния технологического оборудования

к.т.н. доц. Параев С.А., д.т.н. проф. Кардашев Г.А.
Университет машиностроения
8(499)267-19-59

Аннотация. Изложена реализация комплексного подхода, основанного на учёте вероятностных свойств технического состояния технологического оборудования на примере оценки технического состояния цилиндрикоконического гидроциклона с использованием метода Байеса. Приводятся диагностические признаки и связанные с ними диагнозы состояния. Обсуждаются результаты оценок вероятностей состояния в зависимости от сочетания выбранных признаков.

Ключевые слова: гидроциклон, вероятностная оценка состояния, диагностические признаки, метод Байеса

Известно, что безопасность и надежность технологического оборудования определяется его техническим состоянием [1]. Достоверные результаты контроля и диагностики [2, 3] позволяют правильно прогнозировать остаточный ресурс оборудования, получать экономический эффект за счет обоснованного повышения эффективности производств, сокращения затрат на техническое обслуживание, уменьшения потерь от простоев, отказов, преждевременных выходов в ремонт и т.д. [4]. Вопросы технической диагностики постоянно обсуждаются на международных конференциях [5], страницах книг [6] и журналов [7, 8].

С позиций теории технической диагностики [9] техническое состояние может быть найдено только с определенной точностью, т.е. подчиняется законам теории вероятности [10]. Однако, существующие в настоящее время методы расчета ресурса оборудования [11, 12] не учитывают вероятностных свойств диагностических признаков технического состояния, а учитывают только статистику отказов, аварий и инцидентов, и т.д. Это приводит к неадекватности оценок технического состояния и, следовательно, к снижению уровня безопасности технологического оборудования.

Для устранения указанных недостатков необходимо разрабатывать новые комплексные подходы, которые учитывали бы вероятностные свойства технического состояния.

В настоящей работе приведен пример реализации предлагаемого подхода для вероятностной оценки технического состояния цилиндрикоконического гидроциклона [13]. Вероятностные расчеты проведены с использованием метода Байеса [9, 14].

Цилиндрикоконические гидроциклоны нашли широкое применение для разделения фракций суспензий, очистки оборотной воды и т.д. за счет невысокой стоимости, удобства в эксплуатации, высокой производительности и малого потребления электроэнергии. Выбор данного объекта обусловлен простотой его конструкции, отсутствием движущихся частей, что позволяет составить типовую диагностическую модель для определённого класса аппаратов химической и смежных с ней областей производства.

Одна из конструкций подобных аппаратов представлена на рисунке 1. Гидроциклон состоит из цилиндрической части 4, закрытой сверху крышкой 2, и конусов 5 и 6. Исходная суспензия подается в гидроциклон под избыточным давлением по питающему входному патрубку 8, установленному тангенциально к корпусу непосредственно под крышкой 2. Разгрузка сгущенного продукта производится через нижний сливной патрубок (песковый наса-

док) 7, а осветленный продукт выводится из гидроциклона через верхние сливные патрубки 1, 3. Под действием центробежной силы инерции, возникающей за счет интенсивного вращательного движения потока суспензии, сравнительно крупные и тяжелые частицы материала твердой фазы отбрасываются к внутренней стенке аппарата, перемещаются по спиральной траектории в конические части 5, 6 и разгружаются через нижний сливной патрубок 7. Частицы же более тонких классов радиальным потоком жидкости передвигаются к оси аппарата и выносятся восходящим осветленным потоком, выходящим через верхние сливные патрубки 1, 3.

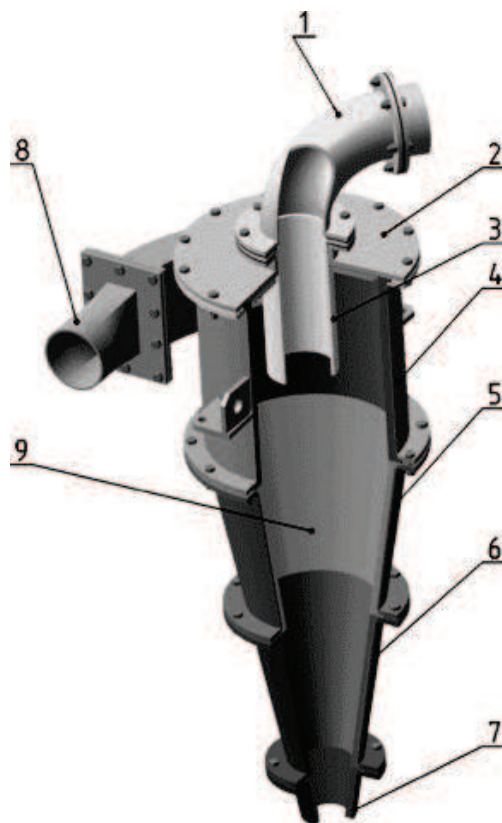


Рисунок 1. Цилиндрикониический гидроциклон: 1, 3 – верхние сливные патрубки; 2 – крышка; 4 – цилиндрическая часть; 5, 6 – коническая часть; 7 – песковая насадка; 8 – питающий (входной) патрубок; 9 – футеровка внутренней поверхности корпуса

Технологическая схема очистки оборотной воды показана на рисунке 2. Некоторая часть оборотной воды, расход которой регулируется вентилями 3 и 4, поступает на очистку в цилиндрикониический гидроциклон 5 с приемным бункером 6. Все частицы твердой фазы с диаметром больше граничного зерна разделения собираются в приемном бункере 6, а частицы с диаметром меньше граничного зерна разделения возвращаются в оборотную воду. Таким образом, чем меньше значения диаметра граничного зерна разделения, тем выше степень извлечения твердой фазы в приемный бункер 6 гидроциклона 5 и, следовательно, меньшее количество твердой фазы будет циркулировать в оборотной воде.

В качестве диагностических признаков были выбраны: признак k_1 – повышение концентрации твердой фазы в исходной смеси, признак k_2 – понижение давления на входе в аппарат и признак k_3 –отсутствие признаков k_1 и k_2 .

Наличие этих признаков может быть связано со следующими диагнозами или состояниями:

- состояние D_1 : изменение состава исходной смеси, поступающей из блока технологического оборудования;
- состояние D_2 : образование трещин в сварных швах и течей во фланцевых соединениях

арматуры;

- состояние D_3 : отсутствуют состояния D_1 и D_2 .

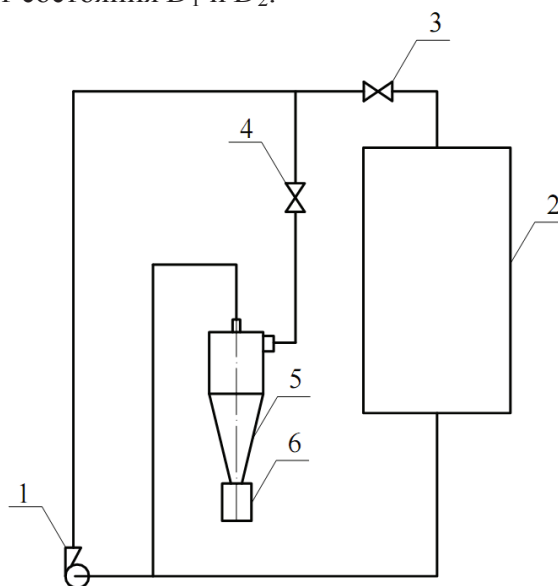


Рисунок 2. Технологическая схема очистки оборотной: 1–насосная станция; 2– блок технологического оборудования; 3, 4 –вентили; 5 –цилиндрикоконический гидроциклон (батарея ультрагидроциклонов); 6– бункер сбора механических примесей

Исходя из опыта эксплуатации подобных установок известно, что:

- признак k_1 встречается в состоянии D_1 в 35% случаев, а в состоянии D_2 в 30% случаев;
- признак k_2 встречается в состоянии D_1 в 60% случаев, а в состоянии D_2 в 45% случаев;
- признак k_1 в состоянии D_3 не наблюдается, а признак k_2 наблюдается в 3% случаев.

Известно, также, что:

- 7% гидроциклонов встречается в состоянии D_1 ;
- 8% гидроциклонов встречается в состоянии D_2 ;
- 85% гидроциклонов вырабатывают ресурс в состоянии D_3 .

Исходя из указанных выше данных, по формуле Байеса, проведем вероятностный анализ состояний D_1 , D_2 , D_3 в зависимости от наличия признаков k_1 , k_2 , k_3 :

$$P(D_i/K^*) = \frac{P(D_i)P(K^*/D_i)}{\sum_{s=1}^n P(D_s)P(K^*/D_s)}, \quad (1)$$

где: K^* – комплекс признаков $k_1, k_2, \dots, k_n$;

$P(D_i/K^*)$ – вероятность диагноза D_i после того, как стали известны результаты обследования по комплексу признаков K^* ,

$P(D_i)$ – вероятность диагноза D_i , определяемая по статистическим данным,

$P(K^*/D_i)$ – вероятность появления комплекса признаков K^* у объектов с состоянием D_i ;

$\sum_{s=1}^n P(D_s)P(K^*/D_s) = P(K^*)$ – вероятность появления комплекса признаков K^* у объектов с любым состоянием.

1. Рассчитаем вероятности состояний D_1 , D_2 и D_3 гидроциклона, когда обнаружены оба признака k_1 и k_2 , т.е. имеем комплекс признаков K^* .

Вероятность состояния D_1 равна:

$$P(D_1/(k_1 \cdot k_2)) = (0,07 \cdot 0,35 \cdot 0,6) / (0,07 \cdot 0,35 \cdot 0,6 + 0,08 \cdot 0,3 \cdot 0,45 + 0,85 \cdot 0 \cdot 0,03) = 0,57.$$

Вероятность состояния D_2 равна:

$$P(D_2/k_1 \cdot k_2) = (0,08 \cdot 0,3 \cdot 0,45) / (0,07 \cdot 0,35 \cdot 0,6 + 0,08 \cdot 0,3 \cdot 0,45 + 0,85 \cdot 0 \cdot 0,03) = 0,43.$$

Вероятность состояния D_3 равна: $P(D_3/k_1 \cdot k_2) = 0$.

2. Рассчитаем вероятности состояний D_1 , D_2 и D_3 , если обследование показало, что концентрация твердой фазы в исходной смеси не увеличилась (*признак k_1 отсутствует*), но давление на входе в аппарат понизилось (*признак k_2 наблюдается*). Отсутствие признака k_1 есть признак наличия противоположного события $\bar{k}_1$ и вероятность этого события равна:

$$P(\bar{k}_1/D_i) = 1 - P(k_1/D_i). \quad (2)$$

Расчеты вероятности состояний D_1 , D_2 и D_3 дают следующие результаты:

$$1) P(D_1/\bar{k}_1 \cdot k_2) = (0,07 \cdot 0,65 \cdot 0,6) / (0,07 \cdot 0,65 \cdot 0,6 + 0,08 \cdot 0,7 \cdot 0,45 + 0,85 \cdot 1 \cdot 0,03) = 0,35$$

$$2) P(D_2/\bar{k}_1 \cdot k_2) = (0,08 \cdot 0,7 \cdot 0,45) / (0,07 \cdot 0,65 \cdot 0,6 + 0,08 \cdot 0,7 \cdot 0,45 + 0,85 \cdot 1 \cdot 0,03) = 0,32$$

$$3) P(D_3/\bar{k}_1 \cdot k_2) = (0,85 \cdot 1 \cdot 0,03) / (0,07 \cdot 0,65 \cdot 0,6 + 0,08 \cdot 0,7 \cdot 0,45 + 0,85 \cdot 1 \cdot 0,03) = 0,33$$

3. Рассчитаем вероятности состояний D_1 , D_2 и D_3 в том случае, когда оба признака k_1 и k_2 отсутствуют, т.е. имеем признак k_3 :

$$P(D_1/\bar{k}_1 \cdot \bar{k}_2) = (0,07 \cdot 0,65 \cdot 0,4) / (0,07 \cdot 0,65 \cdot 0,4 + 0,08 \cdot 0,7 \cdot 0,55 + 0,85 \cdot 1 \cdot 0,97) = 0,021.$$

$$P(D_2/\bar{k}_1 \cdot \bar{k}_2) = (0,08 \cdot 0,7 \cdot 0,45) / (0,07 \cdot 0,65 \cdot 0,4 + 0,08 \cdot 0,7 \cdot 0,55 + 0,85 \cdot 1 \cdot 0,97) = 0,029.$$

$$P(D_3/\bar{k}_1 \cdot \bar{k}_2) = (0,85 \cdot 1 \cdot 0,97) / (0,07 \cdot 0,65 \cdot 0,4 + 0,08 \cdot 0,7 \cdot 0,55 + 0,85 \cdot 1 \cdot 0,97) = 0,95.$$

Результаты расчетов удобно представить в виде гистограммы на рисунке 3.

Из представленных результатов можно сделать следующие выводы.

1. При заданных вероятностях повышения концентрации твердой фазы в исходной смеси (признак k_1) и понижения давления на входе в гидроциклон (k_2) вероятность изменения состава исходной смеси, поступающей из блока технологического оборудования, равна 0,57 (состояние D_1), а вероятность наличия трещин в сварных швах и течей равна 0,43 (состояние D_2). При этом ни один гидроциклон не вырабатывает свой ресурс, т.к. вероятность этого (состояние D_3) равна нулю.
2. При отсутствии признака k_1 и наличии признака k_2 вероятности всех состояний D_1 , D_2 , D_3 примерно равны и находятся в пределах $0,32 \div 0,35$.
3. При отсутствии обоих признаков k_1 и k_2 вероятность состояния D_3 равна 0,95, что больше вероятности 0,85, когда гидроциклоны вырабатывают свой ресурс. При этом вероятности состояний D_1 и D_2 отличны от нуля, т.е. рассматриваемые признаки для них не являются детерминирующими.

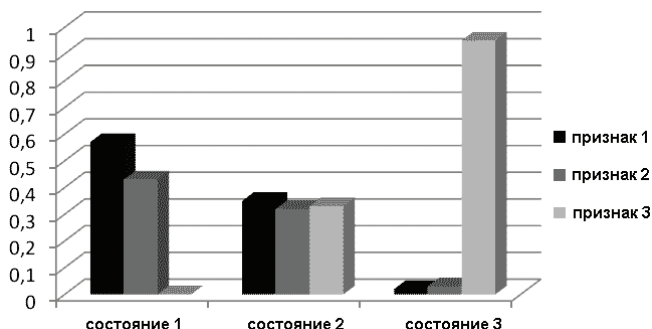


Рисунок 3. Вероятность состояний D_1 , D_2 , D_3 для различных сочетаний диагностических признаков k_1 , k_2 , k_3

Выводы

Приведенные данные носят полуколичественный характер и показывают, в основном, тенденции изменения технического состояния данной системы в зависимости от его вероят-

ностных свойств.

Реальное число признаков технических состояний несоизмеримо больше рассмотренных выше, они имеют сложную иерархическую структуру и динамику. В частности, для данной установки в расчетах не учтены следующие диагностические признаки, заметно влияющие на эффективность ее работы.

1. Диаметр гидроциклона: производительность гидроциклона и крупность перелива повышаются с увеличением диаметра, обычно производительность гидроциклона с большим диаметром низка и содержание крупных частиц в переливах больше. так что часто используется батарейный гидроциклон.
2. Давление подачи: давление на входе в основном влияет на объем переработки и классификации частиц по крупности: при высоком давлении на входе в аппарат количество крупных частиц снижается, а объем переработки повышается. Однако такой способ увеличивает потребность в больших мощностях и может привести к быстрому износу оборудования, так что для нормальной работы необходимо обеспечивать стабильную подачу давления.
3. Диаметр входного патрубка: обычно он составляет 0.08~0.25 диаметра гидроциклона, причем, если данная величина больше, тогда объем переработки больше, а эффективность очистки ниже.
4. Диаметр песковой насадки: с увеличением диаметра песковой насадки, количество слива уменьшается, и крупность слива становится меньше; в противном случае, количество слива увеличивается и содержание крупных частиц становится больше.
5. Длина обечайки гидроциклона: длина обечайки влияет на время действия центробежной силы к пульпам, обычно высота цилиндра в 0,6 – 1,0 раз больше диаметра.
6. Угол конуса гидроциклона: угол конуса гидроциклона в основном влияет на процесс классификации частиц по крупности, большой угол конуса уменьшает высоту оборудования, крупные частицы легко поступают в слив, а маленький угол конуса приведет к более медленному освобождению от крупных частиц.
7. Характеристики исходных материалов: исходная концентрация и дисперсный состав оказывают прямое влияние на концентрацию и крупность готового продукта. чем больше плотность исходной жидкости, тем мельче крупности классификации. при высокой концентрации исходной суспензии и высоким содержанием в ней илов, вязкость и плотность суспензии увеличиваются, более того увеличивается и сила сопротивления движения в ней частиц, что сделает очистку от крупных частиц более грубой.
8. Результаты обследования неразрушающими методами контроля: качество материала отдельных узлов и деталей зависит от наличия несоответствий типа дефектов, отклонений в размерах и др.,
9. Результаты проверки используемых конструкционных материалов: наличие несоответствий требованиям НТД.
10. Результаты измерений рабочих параметров: наличие несоответствий требованиям технического регламента на установку и т.д.

Указанные признаки можно включить в диагностическую матрицу технического состояния, проводить ее корректировку и обучение. Для этого вводятся поправки к априорным вероятностям диагнозов $P(D_i)$ и $P(k_{js}/D_\mu)$ [9]:

$$P(D_\mu) = \begin{cases} \frac{N_i}{N+1} = P(D_i) \frac{N}{N+1}; i = 1, 2, \dots, n; i \neq \mu; \\ \frac{N_\mu + 1}{N+1} = P(D_\mu) \frac{N}{N+1} + \frac{1}{N+1}; i = \mu. \end{cases} \quad (3)$$

$$P(k_{js}/D_{\mu}) = \begin{cases} P(k_{js}/D_{\mu}) \frac{N_{\mu j}}{N_{\mu j} + 1}; & s \neq r; \\ P(k_{js}/D_{\mu}) \frac{N_{\mu j}}{N_{\mu j} + 1} + \frac{1}{N_{\mu j} + 1}; & s = r. \end{cases} \quad (4)$$

где: N – общее число объектов, использованных для составления диагностической матрицы; N_i – число объектов с диагнозом D_i , N_{ij} – число объектов с диагнозом D_i и признаком k_j .

Предлагаемый подход применим не только для определения технического состояния машин и агрегатов, но и для диагностирования технологий и производственных процессов, когда в качестве диагнозов и признаков будут использоваться технологические параметры самого процесса.

Область применения и возможности данного подхода могут быть существенно расширены, например, при использовании физических методов интенсификации процессов химической технологии и др. [15]. Для применения предлагаемого комплексного подхода необходимо накапливать базу статистических данных об вероятностных свойствах технического состояния, эволюции его диагностических признаков в процессе эксплуатации оборудования, т.к. такие сведения в литературе в настоящее время практически отсутствуют.

С применением данного подхода создаются условия для целенаправленного влияния на эффективность работы оборудования, поиска новых источников сокращения материальных затрат, повышения качества продукции, эффективности управления [16] и уровня безопасности производств в нефтегазовой и химической промышленности.

Литература

1. Надежность и эффективность в технике. Справочник под ред. В.Р. Авдуевского, т.9, 1987
2. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник, под ред. Клюева В.В. М.: Машиностроение 1995г. 448 с.
3. Шубин В.С., Рюмин Ю.А. Надежность оборудования химических и нефтеперерабатывающих производств. – Учебник для студентов вузов. – М.: Химия, Колос, 2006. – 359 с.
4. Абрамов А.В., Албагачиев А.Ю., Белобородов С.М., и др. Моделирование эксплуатационных процессов в технических системах, – М.: Издательский дом "СПЕКТР", 2014. 240 с
5. 13-я Международная выставка и конференция "Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности - NDT RUSSIA", г. Москва
6. Бигус Г. А., Даниев Ю. Ф., Быстрова Н. А. и др. Диагностика технических устройств, – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014 – 615, с. : ил.
7. Контроль. Диагностика. Журнал Российского общества по неразрушающему контролю и технической диагностике (РОНКТД).
8. Международный журнал по контролю и диагностике на русском языке «Территория NDT»
9. Биргер И. А. Техническая диагностика. – М.: «Машиностроение», 1978.– 240 с.
10. Вентцель Е.С. Теория вероятностей, – М.: Наука, Физматгиз, 1969. – 576 с.
11. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
12. РД 14-001-99 Руководящий документ. Методические указания по техническому диагностированию и продлению срока службы стальных баллонов, работающих под давлением
13. Батуров В.И., Лейбовский М.Г. Гидроциклоны: Конструкции и применение. – М.: ЦЕНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1973. – 59 с.
14. Труханов В.М., Матвеев А.М. Надежность сложных систем на всех этапах жизненного цикла. – М.: Издательский дом "СПЕКТР", 2012. – 664 с.
15. Кардашев Г.А. Физические методы интенсификации процессов химической технологии, – М.: Химия, 1990. – 208 с.
16. Кардашев Г.А., Мокрова Н.В. О принципах автоматизации управления и интенсификации сложных ХТС // Вестник Саратовского государственного технического университета, 2011, № 4 (62), т. 4.