

2. Макогон Ю. Ф. Природные газовые гидраты: распространение, модели образования, ресурсы // Российский химический журнал, Т. 48, – № 3, 2003. – С. 70-79.
3. Sloan E. D., Koh C. A., Sum A. K., Ballard A. L., Shoup G. J., Mullen N. Mc., Creek J. L., and T. Palermo. Hydrates: State of the Art Inside and Outside Flowlines. JPT • DECEMBER. 2009.
4. Шабаров А. Б., Ширишова А. В., Данько М. Ю. и др. Экспериментальное исследование газогидратообразования пропан-бутановой смеси // Вестник ТюмГУ. – № 6. – 2009. – С. 73-82.
5. Ширишова А. В., Данько М. Ю. Рост и диссоциация газогидратов в водонефтяных эмульсиях Известия вузов. Нефть и газ. – 2011. – № 5. – С. 95-101.
6. Безверхий П. П., Мартынец В. Г. и Матизен Э. В. Коэффициент диффузии метана. Процесс растворения газа. Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. 2002. Приложение к спецвыпуску № 10. – С.181-183.
7. Амеликин С. В., Мельников В. П., Нестеров А. Н. Кинетика роста газовых гидратов в разбавленных растворах ингибиторов-неэлектролитов // Коллоид.журн., – Т. 62. – 2000. – № 4. – С. 450-455.

Сведения об авторах

Шабаров Александр Борисович, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Механика многофазных систем», Тюменский государственный университет, г. Тюмень, e-mail: kaf_mms@utmn.ru

Ширишова Альбина Вольфовна, к. ф.-м. н., доцент кафедры «Механика многофазных систем», Тюменский государственный университет, г. Тюмень, e-mail: albstain@gmail.ru

Гашева Светлана Сергеевна, аспирант кафедры «Механика многофазных систем», Тюменский государственный университет, г. Тюмень, тел. 89129941585, e-mail: GashevaSS@gmail.ru

Shabarov A. B., Doctor of Technical Sciences, professor, head of the chair «Mechanics of multiphase systems», Tyumen State University, e-mail: kaf_mms@utmn.ru

Shirshova A. W., Candidate of Sciences in Physics and Mathematics, associate professor of the chair «Mechanics of multiphase systems», Tyumen State University, e-mail: albstain@gmail.ru

Gasheva S. S., postgraduate of the chair «Mechanics of multiphase systems», Tyumen State University, phone: 89129941585, e-mail: GashevaSS@gmail.ru

Машины, оборудование и обустройство промыслов

УДК 519.254+658.588.1+658.284+004.9

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА AUTOMATIC SYSTEM OF PREDICTION OF PETROLEUM COMPLEX HEAT-MECHANIC EQUIPMENT RESIDUAL LIFE

В. В. Ващилин, С. М. Чекардовский, А. Н. Старовойтов

V. V. Vashchilin, S. M. Chekardovsky, A. N. Starovoytov

ООО «Научно-производственное объединение «Град», Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень

Ключевые слова: *система расчета остаточного ресурса, фактическое техническое состояние тепломеханического оборудования*

Key words: *system of calculation of equipment remaining life, actual technical condition of heat-mechanic equipment*

На сегодняшний день технико-экономическая ситуация характеризуется фактором превышения процента износа оборудования над перевооружением — около 60–70 % оборудования на объектах нефтегазового комплекса исчерпало свой парковый ресурс. Несмотря на это, собственники оборудования стремятся к сохранению и повышению эффективности эксплуатации изношенного оборудования, а также к сокращению сроков и объемов ремонтных работ. Данные факторы предполагают полноценное применение методов диагностики технического состояния оборудования и прогнозирование остаточного ресурса.

Большинство применяемых на сегодняшний день методов диагностики и оценки остаточного ресурса предполагает привлечение квалифицированных специалистов и использование переносного узкоспециализированного оборудования. Учитывая стремление к малолюдным технологиям, недостаточное количество квалифицированного персонала, повсеместное применение автоматизации технологических процессов обостряет фактор недооценки возможностей стационарных систем контроля и методов обработки информации, содержащейся в мониторинге параметров.

В данной ситуации в достаточной степени актуальной становится разработка методов прогнозирования остаточного ресурса, использующих информацию стационарных систем контроля параметров.

Проблема определения остаточного ресурса (суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние) [1] с учетом современных тенденций развития компьютерных технологий не утратила необходимости в развитии и требует постоянного совершенствования и нововведений. Наиболее важными факторами современных разработок в этой области являются:

- формирование методик на базе современных штатных систем контроля параметров с высокой степенью дискретизации показаний;
- выполнение операций методики в процессе эксплуатации оборудования на основе данных, получаемых в режиме реального времени;
- незамедлительная реакция алгоритмов на изменение условий эксплуатации (режим работы) и возможность оптимизации режимов работы оборудования на основании полученных результатов.

На сегодняшний день наиболее распространены методы расчета остаточного ресурса, основанные на паспортных данных производителя оборудования (общая наработка на отказ) или на анализе общего коррозионно-эрозионного износа и усталости металла основных элементов оборудования [2]. Данные методы, несмотря на обширность применения, имеют ряд недостатков:

- проведение трудоемких экспертиз и оценка физико-химических свойств материалов;
- необходимость вывода из эксплуатации оборудования;
- временной интервал от момента тестов до заключения эксперта;
- отсутствие учета режимных условий эксплуатации.

Данной проблематикой подтверждается актуальность разработки методов расчета остаточного ресурса, основанных на обработке информации стационарных систем контроля параметров оборудования [3].

При анализе перечня эксплуатационных параметров оборудования наиболее информативным, в достаточной мере характеризующим фактическое техническое состояние оборудования, является анализ среднеквадратического значения виброскорости. Широко известно, что данный параметр адекватно характеризует большинство неисправностей и дефектов оборудования в процессе эксплуатации, включая абразивный износ узлов и деталей механизмов [4].

С применением данного параметра для расчета остаточного ресурса реализуется ряд преимуществ по сравнению с имеющимися методами:

- реализация метода на базе современных штатных систем контроля параметров с частотой дискретизации значений до 0,1 секунды;
- выполнение операций методики в процессе эксплуатации оборудования без необходимости вывода из эксплуатации оборудования, а соответственно — без издержек по причине простоя оборудования;
- выполнение алгоритмов методики и предоставление результатов динамически, в режиме реального времени;

- адекватная реакция алгоритмов не только на естественный износ элементов механизма, но и на изменение условий эксплуатации (режимов работы);
- возможность оптимизации режимов работы оборудования на основании полученных результатов.

Применяя математические методы анализа временного тренда можно спрогнозировать время достижения параметром предельно допустимого значения [6]. Это в полной мере соответствует определению остаточного ресурса — суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние.

Необходимо отметить, что подобная методика оценки остаточного ресурса описана в РД 153-39ТН-008-96 [5], документ разработан Институтом проблем транспорта энергоресурсов (ИПТЭР). Методика характеризуется реализацией графического построения (рис.1.) на основе статистических данных. Данный метод был взят за основу, и в последующем времени разработан собственный математический алгоритм для реализации его в качестве элемента программного обеспечения.

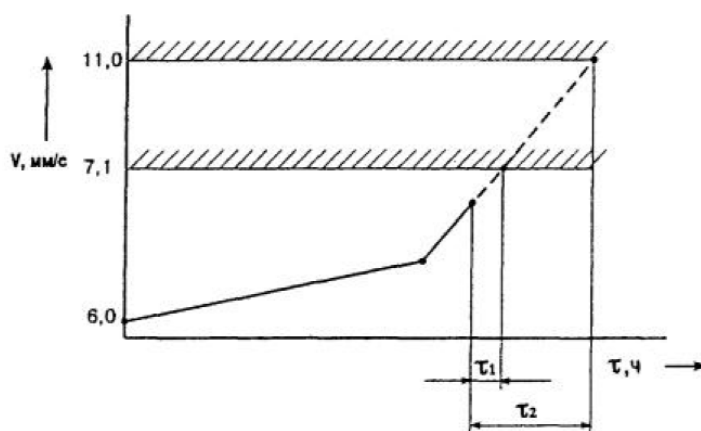


Рис. 1. Иллюстрация графического метода расчета остаточного ресурса по вибрационным показателям согласно РД 153-39ТН-008-96

В процессе разработки алгоритма, после анализа графического метода построения согласно РД 153-39ТН-008-96, «прямая реализации методики» выявила следующие недостатки:

- при введении «прямого» алгоритма в систему расчета остаточного ресурса с учетом нелинейного характера изменения вибрации агрегата отсутствует адекватность прогноза на скоротечные вибрационные процессы;
- длительная задержка, а зачастую отсутствие фиксации всплесков (пиковых значений) вибрации;
- отсутствие реакции алгоритма прогнозирования на изменение режима работы агрегата.

На основании вышеуказанных недостатков подтвердилась необходимость разработки дополнительного комплекса математических алгоритмов и условий для адаптации методики к реальным процессам эксплуатации оборудования в соответствии с актуальными требованиями.

Основными исходными данными для расчета остаточного ресурса в рамках экспериментальной части данной тематики являлись среднеквадратичные значения виброскорости от стационарных пьезоакселерометров, расположенных на четырех подшипниковых опорах агрегата в трех взаимоперпендикулярных направлениях (рис. 2).

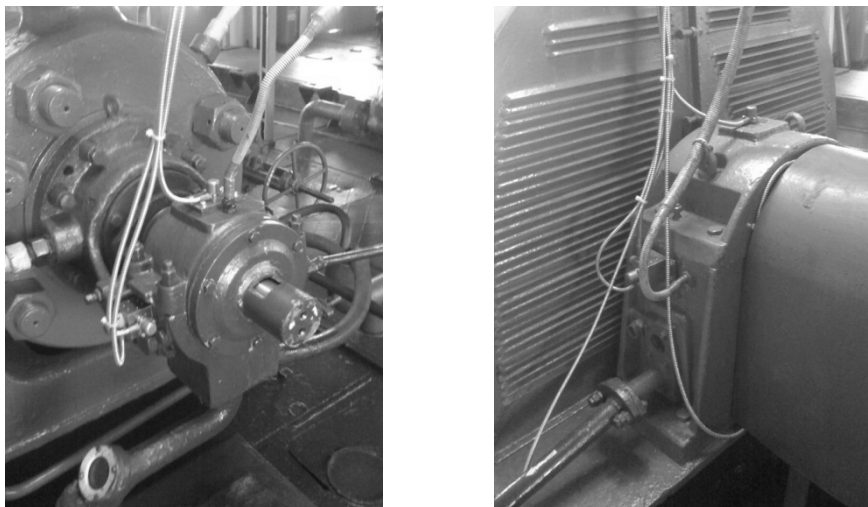


Рис. 2. Фактические места установки стационарных пьезоакселерометров системы контроля СКЗ виброскорости подшипниковых опор (на рисунке слева направо, задний подшипник № 4 насоса и задний подшипник № 2 электродвигателя)

Описание математической методики расчета остаточного ресурса. Для вычисления остаточного ресурса, а именно — прогнозирования времени достижения предельного состояния оборудования с момента начала контроля, посредством стационарной аппаратуры контроля вибрации насосного агрегата (на примере насосного агрегата ЦНС-240) используются значения СКЗ виброскорости (частота дискретизации 0,5 секунды) по каждому направлению замера подшипниковой опоры агрегата.

Тренд СКЗ виброскорости для ОР (остаточный ресурс) формируется с шагом 900 секунд (x_i) по среднеарифметическим значениям (y_i). Среднеарифметические значения получаются посредством усреднения 1 800 значений между шаговыми интервалами. Значения адаптированы под ЦНС-240 эмпирическим путем.

Исходные данные: x_i — номер усреднения (например x_1 — за первые 15 минут); y_i — результат усреднения значений уровня СКЗ виброскорости за период времени x_i .

Для расчета ОР используются последние 6 значений ($x_1 y_1; x_6 y_6$). Для построения линейной аппроксимирующей прямой имеем уравнение:

$$y = ax + b. \quad (1)$$

Находим значение коэффициентов a, b :

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n y_i (x_i - x_{cp})}{n \sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2} \quad (2)$$

где $n = 6$ (для нормального распределения параметра во времени), x_{cp} — среднеарифметическое значение номеров отсчетов

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - x_i x_{cp} \right)}{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2} \quad (3)$$

По итогам полученных коэффициентов ($a = \text{const}$, $b = \text{const}$ для каждого массива переменных) получаем расчетные значения координат оси «у» для построения линейной аппроксимирующей прямой:

$$y_i = ax_i + b. \quad (4)$$

Для построения линии прогноза по полученному уравнению (4) рассчитываем значения y_i до достижения значений уставок (предельное значение параметра, характеризующее зону вибрационного состояния). В нашем частном случае (для ЦНС-240) согласно ГОСТ ИСО 10816-1-97 данный тип агрегата относится к 3 классу оборудования и имеет предельно допустимые значения для зон состояния (уставки): включительно до 4,5 мм/с (эксплуатация без ограничений); свыше 7,1 мм/с (длительная эксплуатация не рекомендуется; требуется принятие мер по снижению вибрации); свыше 11,2 мм/с (эксплуатация не допускается). Время рассчитывается по количеству отсчетов с шагом 900 секунд после последнего фактического значения. Далее рассчитываем время до достижения уставки 7,1 мм/с:

$$T_{7,1} = \left(\left(\frac{7,1 - \epsilon}{a} \right) - K_{\phi} \right) \cdot H, \quad (5)$$

где $T_{7,1}$ (сек) — время до достижения уставки 7,1 мм/с; a , b — коэффициенты для построения линейной аппроксимации; K_{ϕ} — количество отсчетов по факту до начала прогноза; H , (сек) — шаг тренда.

Аналогично рассчитывается время до достижения уставки 11,2 мм/с.

В условиях нормальной эксплуатации агрегата с допустимыми значениями СКЗ виброскорости (до 4,5 мм/с) показания ОР не отображаются. При построении тренда каждые 900 секунд рабочий диапазон значений для ОР смещается на одно значение.

Для повышения «чувствительности» задаем условие:

- если в течение 900 секунд (1 шаг) происходит увеличение значения на 17 % (эмпирические данные по опыту эксплуатации данного типа агрегата), то диапазон выборки ОР сокращается на одно значение (с 6 точек до 5, включая последнее значение), временной шаг сокращается на 17 %;
- если в течение 15 секунд значение увеличивается на 1 мм/с, то усредненное значение сразу выводится для расчета, не дожидаясь конца периода 900 секунд, и рабочий диапазон ОР сокращается до 2 последних усредненных значений;
- расчет времени достижения следующей уставки ограничен 30 сутками.

В рамках разработки и опытно-промышленной эксплуатации системы расчета остаточного ресурса технологического оборудования нефтегазового комплекса на базе стационарных систем контроля вибрационных параметров, на объекте КНС-4 Усть-Балыкского месторождения проведены мероприятия по внедрению методики расчета остаточного ресурса на трех насосных агрегатах ЦНС-240 на базе стационарной системы контроля вибрационных параметров «Вибробит-300» производства ООО НПП «Вибробит» (рис. 3).

Ожидаемый эффект от внедрения методики прогнозирования остаточного ресурса:

- предотвращение аварийных ситуаций и внеплановых остановок оборудования, а в результате снижение издержек из-за простоя оборудования;
- эффективный подтверждаемый расчет остаточного ресурса агрегата ЦНС-240;
- оптимизация планирования сроков и объемов ремонтных работ;
- повышение эффективности эксплуатации агрегатов ЦНС-240 за счет выбора оптимального режима работы агрегата (в частности, вибрационного состояния).

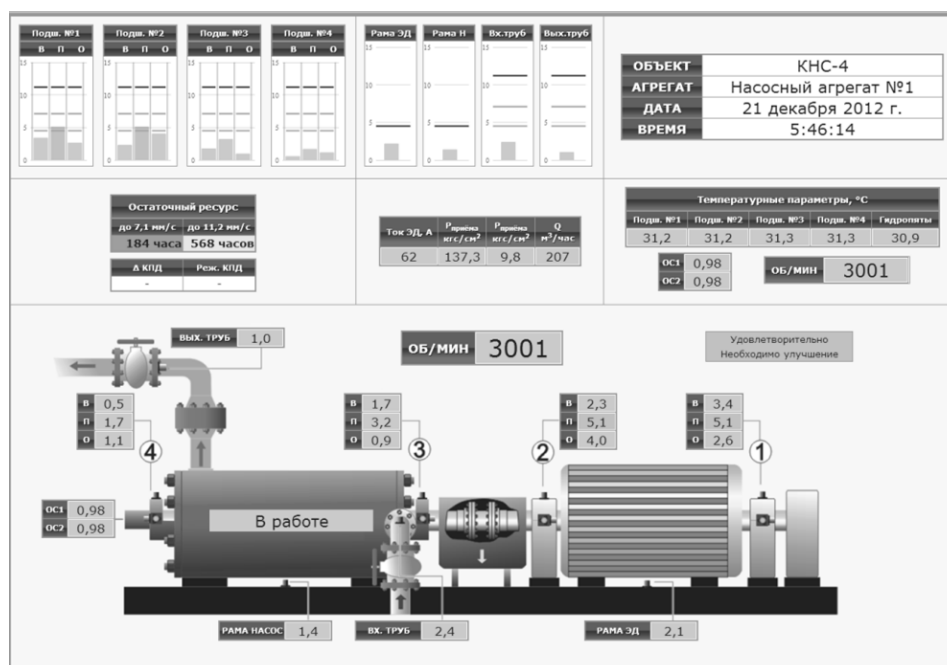


Рис. 3. Фактический интерфейс системы расчета остаточного ресурса

Полученные предварительные результаты опытно-промышленных испытаний описываемой разработки позволяют говорить о целесообразности внедрения данной разработки в области эксплуатации, ремонта и модернизации тепломеханического оборудования нефтегазового комплекса.

Список литературы

1. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения 01.07.90 – С. 8.
2. МООР 98 Методика определения остаточного ресурса технологического оборудования нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических производств. Волгоград, 1998 – С. 32.
3. Антонюк Б. Д. Разработка экспертных систем искусственного интеллекта в США / Б. Д. Антонюк. – М.: ВНИИСИ, 1986. – С. 54-57.
4. Воеводин В. В. Численные методы алгебры. Теория и алгоритмы. М.: Наука, 1966. – С. 224.
5. РД 153-39ТН-008-96 Руководство по организации эксплуатации и технологии технического обслуживания и ремонта оборудования и сооружений нефтеперекачивающих станций. – Уфа, 1997.
6. Илюхин К. Н. Разработка методов оценки технического состояния оборудования системы теплоснабжения: Дис. ... канд. техн. наук / Тюменская государственная архитектурно-строительная академия. – Тюмень, 2001.

Сведения об авторах

Ващилин Василий Викторович, заместитель технического директора, ООО «Научно-производственное объединение «Град», тел. 89044937093, e-mail: vasily.vashchilin@gmail.com

Чекардовский Сергей Михайлович, к. т. н., доцент кафедры «Транспорт углеводородных ресурсов», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень тел. 8(3452)201931, e-mail: ldgtd@mail.ru

Старовойтов Александр Николаевич, технический директор ООО «Научно-производственное объединение «Град», тел. 89044967388

Vaschiling V. V., Deputy Technical Director of LLC «Scientific-production association, Grad», phone: 8(904)4937093, e-mail: vasily.vashchilin@gmail.com

Chekardovski S. M., Candidate of Technical Sciences, associate professor of the chair «Transport of hydrocarbon resources», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 8(3452)201931, e-mail: ldgtd@mail.ru

Starovoitov A. N., Technical Director of LLC «Scientific-production association, Grad», phone: 89044967388