

Газовая промышленность



ISSN 0016-5581

февраль

02/718/2015



Новые технологии в нефтегазовой отрасли

Совершенствование работ по балластировке трубопроводов

**Экологическая политика при добыче углеводородов
на Крайнем Севере**

Прогнозирование технического состояния газотурбинных энергетических установок в процессе эксплуатации

В.В. Рыбалко (Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, РФ, Санкт-Петербург)
E-mail: ribalco@rambler.ru

Статья посвящена решению одной из актуальных задач контроля и прогнозирования технического состояния (ТС) газотурбинных энергетических установок в процессе их эксплуатации. Алгоритм прогнозирования разработан на основе анализа и специальной обработки эксплуатационной информации установок. Техническое состояние установок могут прогнозировать на персональных компьютерах специалисты, имеющие подготовку по некоторым специфическим вопросам математической статистики. Процедура контроля и прогнозирования ТС может быть формализована и реализована в системах автоматического управления установками.

Ключевые слова: газотурбинные энергетические установки, прогнозирование, обеспечение безотказной работы.

Контроль и оценка технического состояния газотурбинных установок в процессе эксплуатации на газоперекачивающих станциях ОАО «Газпром» выполняются операторами с использованием систем автоматического управления (САУ). Часто процедура оценки технического состояния в эксплуатации возлагается только на операторов, так как существующие САУ не всегда могут качественно решать подобные задачи и тем более не могут прогнозировать работоспособность установок.

При решении важной и актуальной задачи прогнозирования работоспособного состояния технических объектов следует отметить, что прогнозирование возможно только при возникновении постепенных отказов, которые развиваются в течение определенного времени. Понятно, что внезапные отказы прогнозировать практически невозможно. Впрочем, определенная доля внезапных отказов установок в процессе эксплуатации может проявляться из-за недостаточного

уровня САУ или слабой квалификации операторов.

Для решения задачи прогнозирования работоспособного состояния следует использовать массив зарегистрированных параметров энергетических установок. В качестве примера рассмотрены параметры газотурбинных двигателей четвертого поколения ГТД 4РМ, установленных на некоторых объектах ОАО «Газпром».

Для иллюстрации алгоритма прогнозирования ТС использована матрица параметров $Y[1: N_0, 1: p]$, где p – число анализируемых параметров; N_0 – число строк матрицы параметров в эксплуатационной документации (рис. 1). Данная матрица используется при анализе ТС как базовый блок параметров, характеризующих заведомо работоспособное состояние объекта.

Для базового массива параметров рассчитывается индикатор технического состояния D_0 . Алгоритм вычисления индикатора изложен в работах [1, 2].

В основе этого алгоритма лежит разложение матрицы Y параметров объекта на матрицу главных компонент $F[1: N_0, 1: p]$ и матрицу факторных нагрузок $A[1: p, 1: p]$

$$Y = FA. \quad (1)$$

Установлено, что ортогональный базис главных компонент F обладает свойствами, необходимыми для распознавания технического состояния объекта [3, 4, 5], а ортогональная матрица факторных нагрузок $A[1: p, 1: p]$ содержит важную диагностическую информацию, которая позволяет решать «задачу синтеза и увязки прогнозов параметров объекта» [6]. Для базового массива параметров обозначим эту матрицу A_0 . В соответствии с основным принципом исследовательского прогнозирования информация в матрице A_0 и ее структура сохраняются на интервале прогноза технического состояния объекта [3, 6].

Кроме того, установлено, что информация в матрице F аккумулирует отклонения параметров объекта от нормативных значений, если эти отклонения накапливаются и вызваны постепенными отказами. Для базового массива параметров объекта матрицу главных компонент обозначим F_0 .

При прогнозировании технического состояния двигателя выполняется экстраполяция исходной матрицы Y от уровня N_0 до величины N_n путем увеличения числа строк. Эта операция осуществляется за несколько этапов [2, 4]. Первоначально увеличивается размер столбцов матрицы F_0 до величины F_n авторегрессионным методом Бурга с применением также процедуры



Рис. 1. Структура массива параметров газотурбинного двигателя

сглаживания данных по методу скользящей медианы. Эти процедуры реализованы в математическом пакете Mathcad в виде встроенных операторов predict (*, *, *) и medsmooth (*, *) [5].

На основе полученной в результате этой операции (экстраполяции) матрицы главных компонент $F_n[N_0: N_n, 1: p]$, и базовой матрицы факторных нагрузок A_0 можно вычислить матрицу параметров объекта на интервале прогноза

$$Y_n = F_n A_0. \quad (2)$$

Эта матрица содержит важную информацию о работоспособности объекта в про-

гнозируемый период эксплуатации. Путем исследования матрицы Y_n методом факторного анализа можно рассчитать индикатор прогноза технического состояния объекта D_n . Близость индикаторов D_n и D_0 будет характеризовать техническое состояние анализируемого объекта на интервале прогноза такое же, как на базовом интервале контроля.

На рис. 2 представлено значение индикаторов технического состояния двигателя ГТД 4РМ для исходного состояния и на прогнозируемый период. Для подтверждения работоспособности методики прогноза выделен массив параметров двигателя размером 20 строк, который характеризует его заведомо работоспособное состояние.

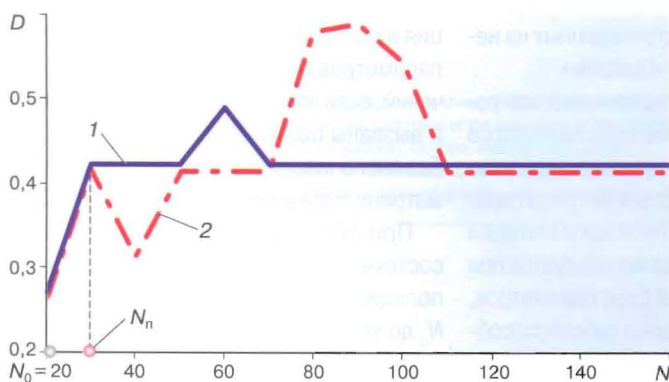


Рис. 2. Индикаторы оценки и прогноза ТС двигателя ГТД 4РМ:
1 – D_n – индикатор прогноза ТС двигателя; 2 – D_0 – индикатор фактического состояния двигателя

Кроме того, дополнительно выполнена оценка ТС двигателя по всему массиву параметров.

Как показано на рис. 2, на период прогноза в 30 строчек матрицы зарегистрированных параметров (30 ч наработки ГТД) получено хорошее соответствие фактической и прогнозной оценок ТС.

При увеличении глубины прогноза (увеличении N_n) расхождение фактического и прогнозируемого показателей ТС растет. Это позволяет утверждать, что при наработке объекта 20 ч в течение следующих 10 ч он будет работоспособен. Еще раз следует отметить, что этот прогноз относится к возможным появлениям постепенных отказов объекта.

Для одного из однокомпрессорных двигателей типа ГТД 4РМ, в котором имитировался постепенный отказ, был реализован изложенный алгоритм оценки и прогнозирования технического состояния. Параметрический отказ имитировался в виде тренда нескольких параметров. Результаты анализа показаны на рис. 3.

Как показано на рис. 3, при наработке объекта 30 ч ($N_n = 30$) зафиксирован параметрический отказ, который ликвидирован к моменту контроля 40 ч ($N = 40$). Видно, что индикатор D_n прогноза ТС вполне корректно фиксирует процесс появления отказа на интервале наработки 30 ч, а также со сдвигом по времени отражает этап восстановления работоспособности.

Рассмотренный метод оценки и прогнозирования ТС энергетических установок на основе анализа и прогноза предложенного индикатора состояния позволяет уверенно распознавать явные тренды од-

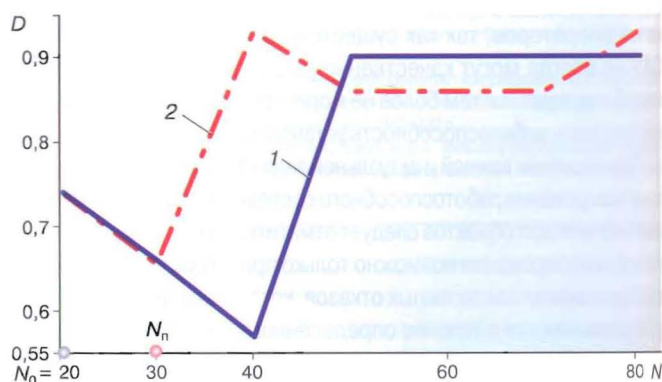


Рис. 3. Индикаторы оценки и прогноза ТС двигателя при возникновении постепенных отказов:
1 – D_n – индикатор прогноза ТС двигателя; 2 – D_0 – индикатор фактического состояния двигателя

ного или нескольких параметров в режиме реального времени. Кроме того, данный алгоритм дает возможность прогнозировать работоспособное состояние объектов на определенный период наблюдения. Важным достоинством предложенного метода прогноза ТС является то, что для специалистов (операторов установок) появляется возможность предотвращать параметрические отказы путем их своевременного обнаружения и проведения соответствующих профилактических работ.

Таким образом, методика оценки и прогнозирования технического состояния ГТД в эксплуатации является важной составляющей перспективной процедуры интеллектуального диагностирования. Она может быть применена для различных энергетических объектов, для которых регулярно фиксируются параметры рабочего процесса. Реализация данной методики требует выполнения ряда изложенных вычислительных процедур и программного их осуществления.

Список литературы

1. Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И. Многомерные статистические методы: учеб. для вузов. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 352 с.
2. Рыбалко В.В. Диагностирование объектов промышленной энергетики // Научно-технические ведомости СПб ГПУ. – Наука и образование. – 2012. – № 3–2 (154). – С. 70–77.
3. Халафян А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных. – М.: Бином-Пресс, 2008. – 512 с.
4. Дуброва Т.А. Статистические методы прогнозирования: учеб. пособие для вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 206 с.
5. Дьяконов В.П. Энциклопедия Mathcad 2001i и Mathcad 11. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 832 с.
6. Теория прогнозирования и принятия решений: учеб. пособие / Под ред. С.А. Саркисяна. – М.: Высшая школа, 1977. – 350 с.

Gas turbine online status assessments

Rybalko V.V. (Saint-Petersburg State Marine Technical University, RF, St. Petersburg)
E-mail: ribalko@rambler.ru

This paper focuses on solutions to one of the most critical issues involved in gas turbine technical status monitoring, control, and prediction under continued operation. It presents an innovative prediction algorithm built around analysis and focused processing of turbine-related operation data flow. Turbine technical status predictions could be computed by professionals who are knowledgeable of some focal areas of mathematical statistics. The underlying procedures for turbine technical status monitoring and prediction could be formalised – converted into algorithms – and implemented as part of existing process control systems.

Keywords: gas turbines, prediction, operation, failsafe operation, algorithms, monitoring.

References

1. Dubrov A.M., Mkhitarian V.S., Troshin L.I. *Mnogomernye statisticheskiye metody*. Ucheb. dlya vuzov [Multivariate statistical methods. Textbook]. Moscow, Finansy i Statistika Publ., 2003. 352 p.

2. Rybalko V.V. Diagnostirovaniye ob'ektov promyshlennoy energetiki [Diagnosing of the objects of industrial power engineering]. *Nauchnotekhnicheskiye vedomosti SPb GPU. Nauka i obrazovaniye*, 2012, no. 3–2 (154), pp. 70–77.
3. Khalafyan A.A. *Statistica 6. Statisticheskiy analiz dannykh* [Statistical analysis of data]. Moscow, BinomPress Publ., 2008. 512 p.
4. Dubrova T.A. *Statisticheskiye metody prognozirovaniya*: Ucheb. posobiye dlya vuzov [Statistical methods of forecasting. Textbook]. Moscow, YUNITIDANA Publ., 2003. 206 p.
5. D'yakonov V.P. *Entsiklopediya Mathcad 2001i i Mathcad 11* [Encyclopedia Mathcad 2001i and Mathcad 11]. Moscow, SOLONPress Publ., 2004. 832 p.
6. *Teoriya prognozirovaniya i prinyatiya resheniy*. Ucheb. posobiye [The theory of forecasting and decision-making. Textbook]. Ed. by Sarkisyan S.A. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1977. 350 p.



Новости отрасли

Влияние инфраструктурных проектов на экономику

«Круглый стол» «Реализация крупных инфраструктурных проектов в условиях макроэкономических шоков: проблемы и перспективы металлургической отрасли» состоялся в Аналитическом центре при Правительстве Российской Федерации. Эксперты рассмотрели принципы формирования цены на металлопродукцию инфраструктурного предназначения, практику их применения в условиях стабильности, а также возможные механизмы адаптации и снижения негативных последствий.

Эксперты отметили, что в течение 2014 г. наблюдалось значительное падение номинального обменного курса рубля к основным мировым валютам. Это привело к усилению дисбаланса на рынках сырьевой продукции, где высоки импортная и экспортная составляющие: импортная продукция для российских потребителей стала дороже, а экспортные рынки – более привлекательными. По мнению специалистов, это особенно заметно на рынке металлургической продукции.

По словам начальника Управления по стратегическим исследованиям в энергетике Аналитического центра Александра Курдина, продукция металлургической отрасли является ключевой составляющей крупных инфраструктурных проектов, среди которых строительство газо- и нефтепроводов. Условия закупки продукции, включая механизмы формирования цен на нее, способность этих механизмов учитывать мировую конъюнктуру и макроэкономическую ситуацию играют важнейшую роль для реализации данных проектов, полагает эксперт.

«Для выхода экономики из стагнации и рецессии необходимо обращать внимание на состояние инфраструктуры, поскольку инфраструктурные проекты принесут значительный и долгосрочный эффект российской экономике, – полагает Александр Курдин. – Но только в том случае, если они организованы эффективно и будут пользоваться спросом».

Также специалист напомнил участникам мероприятия о недавнем закрытии крупнейшего проекта «Южный поток». «Главная проблема в том, что уже были заключены контракты с крупнейшими российскими металлургическими компаниями. И что с этим делать, пока непонятно. Пока только идет процесс адаптации к новым условиям», – сказал эксперт, добавив, что сегодня цены на газ не стабильны, инфраструктурные проекты под угрозой, поэтому неизвестно, насколько действующая рыночная система работоспособна. Возможно, что металлургическим компаниям нужны дополнительные гарантии.

«Практически 99,9 % объемов потребностей энергетической отрасли обеспечивается российскими предприятиями трубной продукции, – сообщил председатель Координационного совета Ассоциации производителей труб Иван Шабалов. – Но эта отрасль очень кредитоемкая, компаниям трудно закрывать проценты, поэтому получается, что процентная ставка убивает все технологические возможности предприятий».

Эксперт отметил, что вопросы процентной ставки и меняющегося курса доллара уже решены между Газпромом и трубными компаниями, они работают по определенной формуле цены. Также Иван Шабалов полагает, что для обеспечения технологической стабильности при реализации данных проектов необходимо понимать систему планирования. По его мнению, у государства в системе планирования инфраструктурных проектов должны быть более жесткие требования.

По информации Аналитического центра при Правительстве РФ

ного или нескольких параметров в режиме реального времени. Кроме того, данный алгоритм дает возможность прогнозировать работоспособное состояние объектов на определенный период наблюдения. Важным достоинством предложенного метода прогноза ТС является то, что для специалистов (операторов установок) появляется возможность предотвращать параметрические отказы путем их своевременного обнаружения и проведения соответствующих профилактических работ.

Таким образом, методика оценки и прогнозирования технического состояния ГТД в эксплуатации является важной составляющей перспективной процедуры интеллектуального диагностирования. Она может быть применена для различных энергетических объектов, для которых регулярно фиксируются параметры рабочего процесса. Реализация данной методики требует выполнения ряда изложенных вычислительных процедур и программного их осуществления.

Список литературы

1. Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И. Многомерные статистические методы: учеб. для вузов. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 352 с.
2. Рыбалко В.В. Диагностирование объектов промышленной энергетики // Научно-технические ведомости СПб ГПУ. – Наука и образование. – 2012. – № 3–2 (154). – С. 70–77.
3. Халафян А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных. – М.: Бином-Пресс, 2008. – 512 с.
4. Дуброва Т.А. Статистические методы прогнозирования: учеб. пособие для вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 206 с.
5. Дьяконов В.П. Энциклопедия Mathcad 2001i и Mathcad 11. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 832 с.
6. Теория прогнозирования и принятия решений: учеб. пособие / Под ред. С.А. Саркисяна. – М.: Высшая школа, 1977. – 350 с.

Gas turbine online status assessments

Rybalko V.V. (Saint-Petersburg State Marine Technical University, RF, St. Petersburg)
E-mail: ribalko@rambler.ru

This paper focuses on solutions to one of the most critical issues involved in gas turbine technical status monitoring, control, and prediction under continued operation. It presents an innovative prediction algorithm built around analysis and focused processing of turbine-related operation data flow. Turbine technical status predictions could be computed by professionals who are knowledgeable of some focal areas of mathematical statistics. The underlying procedures for turbine technical status monitoring and prediction could be formalised – converted into algorithms – and implemented as part of existing process control systems.

Keywords: gas turbines, prediction, operation, failsafe operation, algorithms, monitoring.

References

1. Dubrov A.M., Mkhitarayan V.S., Troshin L.I. *Mnogomernye statisticheskiye metody*. Ucheb. dlya vuzov [Multivariate statistical methods. Textbook]. Moscow, Finansy i Statistika Publ., 2003. 352 p.

2. Rybalko V.V. Diagnostirovaniye ob'ektov promyshlennoy energetiki [Diagnosing of the objects of industrial power engineering]. *Nauchnotekhnicheskiye vedomosti SPb GPU. Nauka i obrazovaniye*, 2012, no. 3–2 (154), pp. 70–77.
3. Khalafyan A.A. *Statistica 6. Statisticheskii analiz dannykh* [Statistical analysis of data]. Moscow, BinomPress Publ., 2008. 512 p.
4. Dubrova T.A. *Statisticheskiye metody prognozirovaniya*: Ucheb. posobiye dlya vuzov [Statistical methods of forecasting. Textbook]. Moscow, YUNITIDANA Publ., 2003. 206 p.
5. D'yakonov V.P. *Entsiklopediya Mathcad 2001i i Mathcad 11* [Encyclopedia Mathcad 2001i and Mathcad 11]. Moscow, SOLONPress Publ., 2004. 832 p.
6. *Teoriya prognozirovaniya i prinyatiya resheniy*. Ucheb. posobiye [The theory of forecasting and decision-making. Textbook]. Ed. by Sarkisyan S.A. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1977. 350 p.



Новости отрасли

Влияние инфраструктурных проектов на экономику

«Круглый стол» «Реализация крупных инфраструктурных проектов в условиях макроэкономических шоков: проблемы и перспективы металлургической отрасли» состоялся в Аналитическом центре при Правительстве Российской Федерации. Эксперты рассмотрели принципы формирования цены на металлопродукцию инфраструктурного предназначения, практику их применения в условиях стабильности, а также возможные механизмы адаптации и снижения негативных последствий.

Эксперты отметили, что в течение 2014 г. наблюдалось значительное падение номинального обменного курса рубля к основным мировым валютам. Это привело к усилению дисбаланса на рынках сырьевой продукции, где высоки импортная и экспортная составляющие: импортная продукция для российских потребителей стала дороже, а экспортные рынки – более привлекательными. По мнению специалистов, это особенно заметно на рынке металлургической продукции.

По словам начальника Управления по стратегическим исследованиям в энергетике Аналитического центра Александра Курдина, продукция металлургической отрасли является ключевой составляющей крупных инфраструктурных проектов, среди которых строительство газо- и нефтепроводов. Условия закупки продукции, включая механизмы формирования цен на нее, способность этих механизмов учитывать мировую конъюнктуру и макроэкономическую ситуацию играют важнейшую роль для реализации данных проектов, полагает эксперт.

«Для выхода экономики из стагнации и рецессии необходимо обращать внимание на состояние инфраструктуры, поскольку инфраструктурные проекты принесут значительный и долгосрочный эффект российской экономике, – полагает Александр Курдин. – Но только в том случае, если они организованы эффективно и будут пользоваться спросом».

Также специалист напомнил участникам мероприятия о недавнем закрытии крупнейшего проекта «Южный поток». «Главная проблема в том, что уже были заключены контракты с крупнейшими российскими металлургическими компаниями. И что с этим делать, пока непонятно. Пока только идет процесс адаптации к новым условиям», – сказал эксперт, добавив, что сегодня цены на газ не стабильны, инфраструктурные проекты под угрозой, поэтому неизвестно, насколько действующая рыночная система работоспособна. Возможно, что металлургическим компаниям нужны дополнительные гарантии.

«Практически 99,9 % объемов потребностей энергетической отрасли обеспечивается российскими предприятиями трубной продукции, – сообщил председатель Координационного совета Ассоциации производителей труб Иван Шабалов. – Но эта отрасль очень кредитоемкая, компаниям трудно закрывать проценты, поэтому получается, что процентная ставка убивает все технологические возможности предприятий».

Эксперт отметил, что вопросы процентной ставки и меняющегося курса доллара уже решены между Газпромом и трубными компаниями, они работают по определенной формуле цены. Также Иван Шабалов полагает, что для обеспечения технологической стабильности при реализации данных проектов необходимо понимать систему планирования. По его мнению, у государства в системе планирования инфраструктурных проектов должны быть более жесткие требования.

По информации Аналитического центра при Правительстве РФ