

Прикладні аспекти: складні об'єкти

УДК 004.942

Е.А. Арсирій¹, С.Г. Антошук¹, О.Ю. Бабилунга¹, В.А. Арсирій²

¹ Одеський національний політехнічний університет, Одеса

² Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РЕИНЖИНИРИНГЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Для оценки состояния гидроаэродинамических процессов в элементах энергетического оборудования при их комплексном мониторинге разработаны информационная, структурная и параметрическая модели элементов оборудования, а также модель параметрической оптимизации их функционирования. Разработанные модели позволяют рационально выбирать проблемные элементы энергетического оборудования для последующего реинжиниринга и необходимый сценарий его проведения.

Ключевые слова: мониторинг параметров энергетического оборудования, оценка состояния гидроаэродинамических процессов, реинжиниринг энергетического оборудования.

Введение

Одна из проблем современной энергетики – повышение эффективности энергетических предприятий, то есть увеличение вырабатываемой мощности и уменьшение затрат на собственные нужды, может частично быть решена за счет улучшения состояния гидроаэродинамических процессов (ГП) в энергетическом оборудовании (ЭО) путем его реинжиниринга [1]. Однако для принятия обоснованного решения по реинжинирингу ЭО необходимо проведение комплексного мониторинга, позволяющего устранить неполноту и неопределенность информации о состоянии ГП. Проведенный анализ существующих средств поддержки принятия решений при реинжиниринге ЭО показал, что они не позволяют однозначно оценить состояние ГП в этом оборудовании из-за неопределенности мониторинговой информации, которая вызвана отсутствием либо недостаточным количеством:

- адекватных математических моделей, формализованных методов и критериев оценки состояния ГП на разных уровнях функционирования ЭО;
- средств получения информации о состоянии ГП при проведении мониторинга параметров ЭО на разных уровнях его функционирования (установки, агрегаты, элементы).

Авторами предложены информационная, структурная и параметрическая модели элементов ЭО и модели параметрической оптимизации их функционирования для оценки состояния ГП в этих элементах при проведении их комплексного мониторинга.

При разработке информационных моделей элементов ЭО учитывалось, что эффективность энер-

гетического предприятия в целом зависит от функционального состояния ЭО на двух базовых уровнях: сложных объектов (Complex conceptual object – CCo) – энергетических агрегатов (Power Unit) и их составляющих – простых объектов (Simple conceptual object – SCo) – энергетически активных основных (Emajor) и энергетически пассивных вспомогательных (Eminor) элементов. С учетом влияния состояния ГП в сложных и простых объектах на эффективность ЭО в целом и для оценки эффективности ГП предложено ввести признаки состояния гидроаэродинамического процесса (Process status feature – Psf) в агрегате Psf_{Unit} и во вспомогательных элементах Psf_{Eminor} , как отражение степени использования гидроаэродинамического потенциала, создаваемого основным его элементом за счет использования электрической мощности.

В связи с тем, что для оценки состояния ГП как на уровне энергетических агрегатов, так и на уровне вспомогательных элементов, необходимо использовать нормативно-справочную и оперативную информацию о геометрических, гидроаэродинамических, энергетических и других технико-экономических параметрах и характеристиках процессов и оборудования, предложено использовать цифровой макет (ЦМ) ЭО энергетического предприятия, который объединяет базы данных, моделей и знаний [2]. Разработанная модель базы знаний включает декларативные знания, которые используют параметры и характеристики оборудования и процессов из различных баз данных и процедурные знания, позволяющие проводить оценку состояния ГП в ЭО с учетом баз предлагаемых моделей. Информационная модель сложного концеп-

туального объекта CCo – агрегата, в соответствии с представлением в ЦМ ЭО, имеет вид кортежа:

$$CCo = \langle Unit, St_{Unit}, S_{Unit} \rangle, \quad (1)$$

где $Unit$ – наименование агрегата; St_{Unit} – структурная модель агрегата; S_{Unit} – параметрическая модель агрегата.

Структурная и параметрическая модели энергетического агрегата при мониторинге напора и давления

Анализ существующих решений по реинжинирингу ЭО на уровне агрегатов показал, что для увеличения энергетической мощности оборудования можно повышать мощность основного элемента агрегата путем его замены (сценарий реновации) и / или снижать гидродинамические сопротивления вспомогательных элементов агрегата путем их реконструкции (сценарий реконструкции). Формализованы оба сценария поддержки принятия решений по увеличению энергетической мощности ЭО за счет реинжиниринга энергетических агрегатов. Оба сценария для оценки состояния ГП в агрегате используют результаты мониторинга по расходу рабочего тела (Q) и мощности электродвигателя (N). При этом основным параметром для оценки состояния ГП в агрегате при реализации сценария реновации является напор (H), а при реконструкции – давление (P).

Для формализации рассматриваемых сценариев реновации и реконструкции с учетом информационной модели (1), а также особенностей функционирования основного (E_{major}) и вспомогательных (E_{minor}) элементов агрегата при мониторинге напора и давления разработаны соответствующие структурные St_{UnitH} и St_{UnitP} модели агрегата:

$$St_{UnitH} = \langle E_{major}, E_{control}, MS, R \rangle, \quad (2)$$

где MS – множество вспомогательных элементов, при этом $MS = [R] \bigcup_{i=1}^{m+k} E_{minor_i}$,

где $[R] \bigcup$ – правило объединения E_{minor} ; m, k – количество элементов; $E_{control}$ – специально выделенный вспомогательный регулирующий элемент;

$$St_{UnitP} = \langle MV, E_{control}, E_{major}, MP \rangle, \quad (3)$$

где MV – множество вспомогательных элементов, которые расположены в зоне разряжения; MP – множество вспомогательных элементов, которые расположены в зоне давления, при этом

$$MV = [R] \bigcup_{i=1}^m E_{minor_i} \text{ и } MP = [R] \bigcup_{j=1}^k E_{minor_j},$$

m, k – количество элементов, $E_{control}$ размещен в отличие от первого сценария в зоне разряжения.

Соответствующие разработанным структурным моделям схемы проведения мониторинга для оценки состояния основных параметров агрегата (давления либо напора) показаны на рис. 1, а, б.

С учетом (1), (2) и (3) разработаны параметрические модели S_{UnitH} и S_{UnitP} агрегата. Соответствующие им параметрические описания Z_{UnitH} и Z_{UnitP} имеют следующий вид:

$$Z_{UnitH} = \left\{ \begin{array}{l} Q^*, H_{E_{major}}(Q^*)^R, N_{E_{major}}(Q^*)^R, \quad (a) \\ H_{E_{major}}(n_{Rotor}, Q)^N, N_{E_{major}}(n_{Rotor}, Q)^N, \quad (b) \\ \Delta H(\zeta, Q), \eta_{E_{major}}(Q, H, N) \quad (b) \end{array} \right\} \quad (4)$$

где (а) – значение расхода, напора, мощности, полученные из базы данных мониторинга ЦМ ЭО, (б) – значение напора, мощности, потерь напора, коэффициента эффективности, полученные с нормативно-справочной базы проектных данных ЦМ ЭО;

$$Z_{UnitP} = \left\{ \begin{array}{l} Q^*, P_{E_{major}}(Q^*)^R, N_{E_{major}}(Q^*)^R, \\ \Delta P_{E_{minor_i}}(Q^*), \Delta P_{E_{minor_j}}(Q^*), \quad (a) \\ P_{E_{major}}^{lim}, N_{E_{major}}(n_{Rotor}, Q)^N, \\ \zeta_{E_{minor_i}}^N \in MP, \zeta_{E_{minor_j}}^N \in MV, \quad (b) \\ \zeta_{E_{minor_i}}^R, \zeta_{E_{minor_j}}^R, \quad (c) \end{array} \right\} \quad (5)$$

где (а) – значения расхода, давления, мощности, потери давления, полученные из базы данных мони-

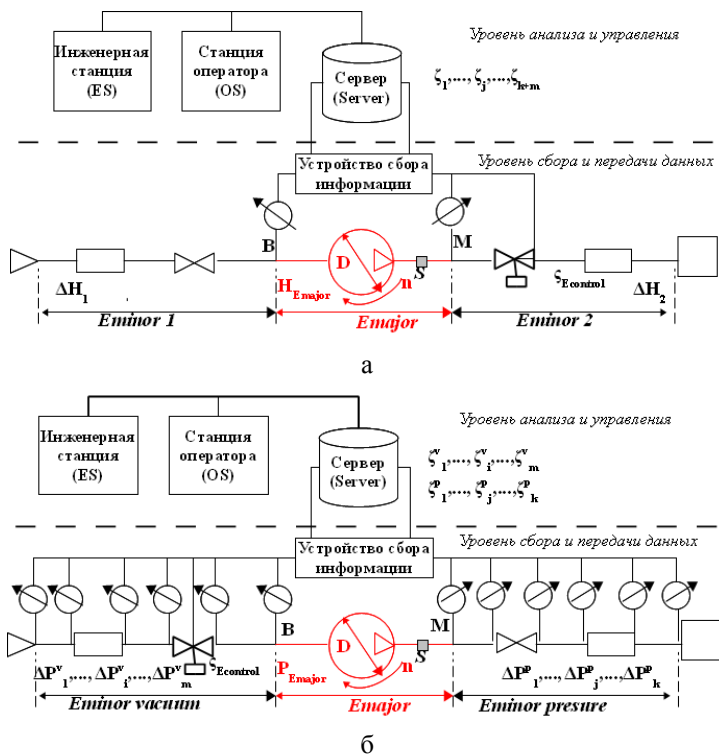


Рис. 1. Схема мониторинга параметров напора (а) и давления (б) в соответствии с моделями (2) и (3)

торинга в ЦМ ЭО; (b) – значения предельного давления и гидроаэродинамических сопротивлений во вспомогательных элементах, расположенных в зонах разрежения и давления, полученные из нормативно-справочной базы проектных данных в ЦМ ЭО; (c) – значения гидроаэродинамических сопротивлений во вспомогательных элементах, полученные при физическом моделировании.

Формализация сценариев реинжиниринга агрегата

Формализованы сценарии реновации агрегата за счет повышения мощности основного элемента и его реконструкции за счет снижения гидроаэродинамических сопротивлений вспомогательных элементов.

При формализации сценария реновации в качестве признака состояния ГП в агрегате Psf_{UnitH} предложено использовать коэффициент эффективности $\eta_{Emajor}(Q,H,N)$ основного элемента. Сформулирован критерий оптимального состояния ГП в анализируемом агрегате, согласно которому коэффициент эффективности основного элемента должен принимать максимальное значение:

$$Psf_{UnitH} = \eta_{Emajor}(Q,H,N) \rightarrow \max_{n_{Rotor}, \zeta_{Econtrol}} \eta_{Emajor}(n_{Rotor}, \zeta_{Econtrol}), \quad (6)$$

при следующих условиях и ограничениях:

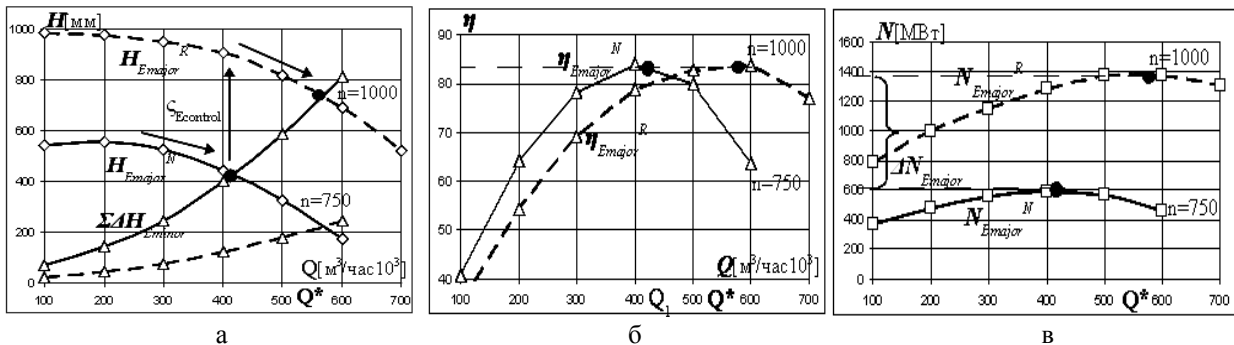


Рис. 2. Графическая интерпретация модели параметрической оптимизации функционирования насосного агрегата ВДН-25 при реновации (а – напорные характеристики, б – характеристики коэффициента эффективности, в – характеристики мощности)

При формализации сценария реконструкции в качестве признака состояния ГП в агрегате Psf_{UnitP} предложено использовать значение электрической мощности его основного элемента $N_{Emajor}(Q,P)$.

Сформулирован критерий оптимального состояния ГП в анализируемом агрегате, согласно которому значение электрической мощности, которая расходуется на функционирование основного элемента, должно быть минимальным:

$$Psf_{UnitP} = N_{Emajor}(Q,P) \rightarrow \min_{\zeta_{Eminor1}^*, \zeta_{Eminor2}^*} N_{Emajor}(\zeta_{Eminor1}^*, \zeta_{Eminor2}^*) \quad (8)$$

при следующих условиях и ограничениях:

$$\begin{cases} Q(n_{Rotor}, \zeta_{Econtrol}) = Q^*, & (a) \\ D_{Rotor} = D_{Rotor}^*, & (b) \\ 0 < \zeta_{Econtrol} < 1, & (c) \\ n_{Rotor} \in N_{Rotor} = \{n_{Rotor1}, \dots, n_{RotorK}\}. & (d) \end{cases} \quad (7)$$

То есть решение о необходимости совершенствования агрегата принимается с учетом сформулированного критерия оптимального состояния ГП (6) в виде оптимизации коэффициента эффективности основного элемента для заданного значения расхода Q^* рабочего тела в агрегате (7-а), фиксированного диаметра D^* (7-б) и регулируемого числа оборотов n_{Rotor} (7-д) рабочего колеса основного элемента, где $Q(n_{Rotor}, \zeta_{Econtrol})$ – функция затрат, зависящая от числа оборотов n_{Rotor} и от величины гидроаэродинамического сопротивления $\zeta_{Econtrol}$ регулирующего элемента $Econtrol$. Графики напорных характеристик агрегата (2) в соответствии с предложенной моделью параметрической оптимизации функционирования агрегата (6) и (7) согласно сценария реновации приведены на рис. 2, а, б, в соответственно. В случае недостаточного значения параметра расхода $Q(n_{Rotor}, \zeta_{Econtrol}) < Q^*$ принимается решение о замене оборудования (электродвигателя или рабочего колеса) основного элемента энергетического агрегата с целью увеличения его мощности.

$$\begin{cases} Q(\zeta_{Eminor1}^*, \dots, \zeta_{Eminorm}^*, \zeta_{Eminor1}^*, \dots, \zeta_{EminorK}^*) = Q^*, & (a) \\ D_{Rotor} = D_{Rotor}^*, & (b) \\ 0 < \zeta_{Econtrol} < 1, & (c) \\ n_{Rotor} \in N_{Rotor} = \{n_{Rotor1}, \dots, n_{RotorK}\}. & (d) \end{cases} \quad (9)$$

Таким образом, решение о реинжиниринге агрегата принимается с учетом сформулированного критерия оптимизации мощности основного элемента (8) для заданного значения расхода Q^* рабочего тела в агрегате (9-а), где

$Q(\zeta_{Econtrol}, \zeta_{Eminor1}^*, \dots, \zeta_{Eminorm}^*, \zeta_{Eminor1}^*, \dots, \zeta_{EminorK}^*)$ – функция затрат, зависящая от величин гидроаэродинамических сопротивлений во вспомогательных эле-

ментах, которые расположены в зонах разряжения ζ_{Eminor_i} , $i=1, \dots, m$ и давления ζ_{Eminor_j} , $j=1, \dots, k$.

Графики характеристик давления агрегата (3) в соответствии с предложенной моделью параметрической оптимизации функционирования агрегата (8) и (9) согласно сценария реконструкции приведены

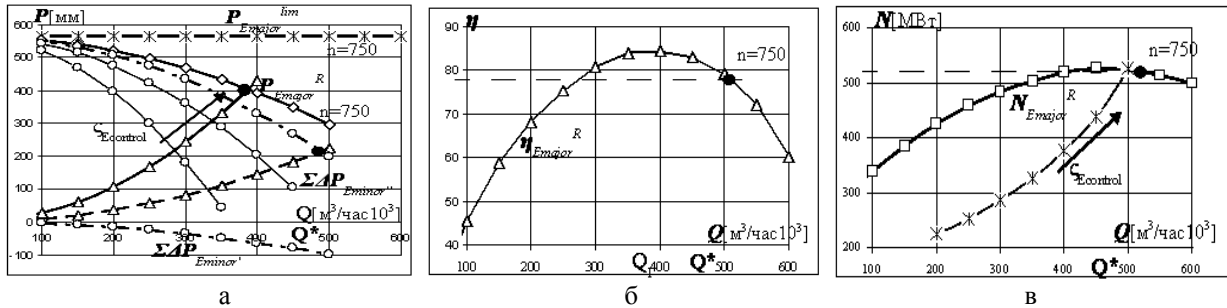


Рис. 3. Графическая интерпретация модели параметрической оптимизации функционирования насосного агрегата ВДН-25 при реконструкции (а – характеристики давления, б – характеристики коэффициента эффективности, в – характеристика мощности)

Преимуществом сценария реконструкции является то, что его использование обеспечивает не только увеличение энергетической мощности ЭО, а и снижение затрат мощности на собственное функционирование. Однако при реализации сценария реконструкции нужно оценивать и анализировать значения гидроаэродинамических сопротивлений во вспомогательных элементах. Поскольку на уровне мониторинга состояния ГП в агрегатах на энергетических предприятиях такие оценка и анализ не проводятся, то предложено выполнить их на уровне моделирования элемента.

Выводы

Для оценки состояния гидроаэродинамических процессов в элементах энергетического оборудования при их комплексном мониторинге разработаны информационная, структурная и параметрическая модели элементов оборудования, а также модель параметрической оптимизации их функционирования. Такая оценка позволила получать полную информацию о состоянии гидроаэродинамических процессов в агрегатах за счет одновременного учета результатов комплексного мониторинга параметров их функционирования,

на рис. 3, а, б, в соответственно. В случае недостаточного значения параметра расхода

$Q(\zeta_{Econtrol}, \zeta_{Eminor_1}, \dots, \zeta_{Eminor_m}, \zeta_{Eminor'_1}, \dots, \zeta_{Eminor'_k}) < Q^*$ принимается решение о реконструкции вспомогательных элементов с целью снижения их гидроаэродинамических сопротивлений.

проектных характеристик и модели параметрической оптимизации функционирования агрегата. Это позволило обеспечить обоснованный выбор рационального сценария реконструкции или реновации ЭО при повышении его эффективности, что подтверждено внедрением на энергетических предприятиях [3].

Список литературы

1. Андріанова І.І. Економічний аналіз енерго і ресурсозберігаючих інновацій для теплової енергетики / І.І. Андріанова, В.А. Арсірій // Актуальні проблеми економіки. – К. Нац. академія управління, 2010. – № 11. – 15 с.
2. Арсірій Е.А. Иерархическая модель данных для поддержки принятия решений при интенсификации процессов / Е.А. Арсірій // Радіоелектронні та комп'ютерні системи. – 2013. – № 10 (86). – С. 133-138.
3. Интеллектуальный анализ при комплексном моделировании для повышения надежности работы энергетического оборудования / [Е.А. Арсірій, С.Г. Антошук, В.А. Арсірій, В.И. Кравченко] // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2012. – № 6 (58). – С. 89-95.

Поступила в редколлегию 16.12.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.В. Руженцев, Харьковский национальный университет радиотехники, Харьков.

ОЦІНКА СТАНУ СКЛАДНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ РЕІНЖІНІРІНГУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Е.А. Арсірій, С.Г. Антошук, О.Ю. Бабілонга, В.А. Арсірій

Для оцінки стану гідроаеродинамічних процесів в елементах енергетичного обладнання при їх комплексному моніторингу розроблені інформаційна, структурна і параметрична моделі елементів обладнання, а також модель параметричної оптимізації їх функціонування. Розроблені моделі дозволяють раціонально вибирати проблемні елементи енергетичного обладнання для подальшого реінжинірингу і необхідний сценарій його проведення.

Ключові слова: моніторинг параметрів енергетичного обладнання, оцінка стану гідроаеродинамічних процесів, реінжиніринг енергетичного обладнання.

THE ASSESSMENT OF COMPLEX PROCESSES STATE DURING THE REENGINEERING POWER EQUIPMENT

E.A. Arsiry, S.G. Antoshchuk, O.Y. Babilunga, V.A. Arsiry

For assessment of the hydro-aerodynamics processes in elements of power equipment while conducting a comprehensive monitoring designed information, structural and parametric models elements of equipment and model parametric optimization of their functioning. Development of models allows selecting the problematic elements of power equipment for the subsequent re-engineering and its screenplay.

Keywords: monitoring of the parameters of power equipment, assessment of the hydro-aerodynamics processes, reengineering of power equipment.