

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ГИДРОАЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РЕИНЖИНИРИНГЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

Елена Арсирій¹⁾, Светлана Антощук²⁾, Василий Арсирій³⁾, Марина Ядрова⁴⁾

^{1) 2) 4)} ОНПУ, 65044, Украина, г.Одесса, пр. Шевченко, 1

³⁾ ОГАСА, 65029, Украина, г. Одесса, ул. Дидрихсона, 4,

e-mails: ¹⁾e.arsiriy@gmail.com, ²⁾svetlana_onpu@mail.ru,

³⁾arsiry@te.net.ua, ⁴⁾marinaonpu@yandex.ua

Резюме: Оценку состояния гидроаэродинамических процессов в элементах энергетических агрегатов с целью их реинжиниринга предложено проводить с помощью комплексного моделирования. Формализован сценарий проведения комплексного моделирования гидро-аэродинамических процессов позволяющий синтезировать модифицированный прототип вспомогательного элемента энергетического агрегата с пониженным гидроаэродинамическим сопротивлением.

Ключевые слова: моделирование 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 эксплуатируемых энергетических агрегатах (ЭА) путем реинжиниринга составляющих агрегат основного и вспомогательных элементов [1].

Предложенный сценарий поддержки принятия решений по повышению эффективности работы ЭА основан на снижении гидроаэродинамических сопротивлений в вспомогательных элементах за счет проведения их реинжиниринга. Преимуществом такого сценария по сравнению со сценарием реновации основного элемента ЭА является снижение затрат мощности на собственное функционирование, а его недостатком – необходимость в более детальной оценке значений гидроаэродинамических сопротивлений во вспомогательных элементах ЭА. Однако в существующих на энергетических предприятиях системах мониторинга состояния ЭА такая оценка не проводится. В связи с этим предложено оценивать состояние ГП во вспомогательных элементах ЭА путем проведения комплексного моделирования.

Авторами предложены информационная, и параметрическая модели основного и вспомогательных элементов ЭА, а также метод получения

знаний о состоянии ГП на уровне вспомогательных элементов ЭА при проведении комплексного моделирования этих процессов. [2,3].

При разработке информационных моделей элементов ЭА учитывалось, что эффективность энергетического предприятия в целом зависит от функционального состояния оборудования базового уровня, таких как протяженные ЭА для подачи топлива, воды, воздуха, удаления дымовых газов. При этом ЭА является сложным объектом объединяющим в своей структуре простые объекты (*Simple conceptual object – SCO*) – энергетически активный основной (*Emajor*) и энергетически пассивные вспомогательные (*Eminor*) элементы. Для оценки состояния ГП как на уровне ЭА, так и на уровне его вспомогательных элементов, необходимо использовать нормативно-справочную и оперативную информацию о геометрических, гидроаэродинамических, энергетических и других технико-экономических параметрах и характеристиках процессов и оборудования. Такую информацию предложено получать из цифрового макета энергетического предприятия (ЦМ ЭП), 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 во вспомогательных элементах ЭА с учетом баз предлагаемых моделей.

В соответствии с представлением в ЦМ ЭП декларативных знаний, информационные модели простых концептуальных объектов ЭА – основ-

ного $SCo_{E_{major}}$ и вспомогательного $SCo_{E_{minor}}$ элементов имеют вид следующих кортежей:

$$SCo_{E_{major}} = \langle E_{major}, S_{E_{major}} \rangle \quad (1)$$

$$SCo_{E_{minor}} = \langle E_{minor}, S_{E_{minor}} \rangle \quad (2)$$

где: E_{major} и E_{minor} – наименование основного и вспомогательного элементов; $S_{E_{major}}$ и $S_{E_{minor}}$ – их параметрические модели. Получение процедурных знаний реализованы методами получения знаний, которые превращают декларативные данные в форму, необходимую для принятия решений по реинжинирингу элементов ЭА. Разработан метод *получения знаний* о состоянии ГП в простых концептуальных объектах - *элементах* (ПЗЭ) при комплексном моделировании их функционального состояния.

1. Формализация сценария комплексного моделирования гидроаэродинамических процессов

В соответствии с предложенным методом ПЗЭ формализован сценарий комплексного

моделирования ГП на уровне вспомогательных элементов ЭА (рис. 1), состоящий из пяти шагов:

Шаг 1. Определение контролируемых свойств

основного $S_{E_{major}}$ и вспомогательного $S_{E_{minor}}$ в соответствии с их параметрическими моделями процедурных знаний базы знаний ЦМ ЭП и выбор вспомогательных элементов для дальнейшего моделирования.

С учетом (1) разработана параметрическая модель основного элемента $S_{E_{major}}$, для которой множество значений свойств $Z_{E_{major}}$ имеет следующий вид:

$$Z_{E_{major}} = \left\{ \begin{array}{l} Q^*, P_{E_{major}} (Q^*)^R, N_{E_{major}} (Q^*)^R, (a) \\ Ma, n_{Rotor}, D_{Rotor}, G, \quad (b) \\ Re, E_{major}_{Re}, \quad (c) \end{array} \right\} \quad (3)$$

где (a) - значение расхода, давления, мощности наследуются из значений свойств Z_{UnitP} параметрической модели ЭА S_{UnitP} базы знаний ЦМ ЭП; (b) - значение типа элемента, числа оборотов и диаметра рабочего колеса двигателя и вид геометрической модели (из нормативно-справочной базы проектных данных в ЦМ ЭП); (c) - значение числа Рейнольдса и вид модели физического прототипа основного элемента, полученные из базы

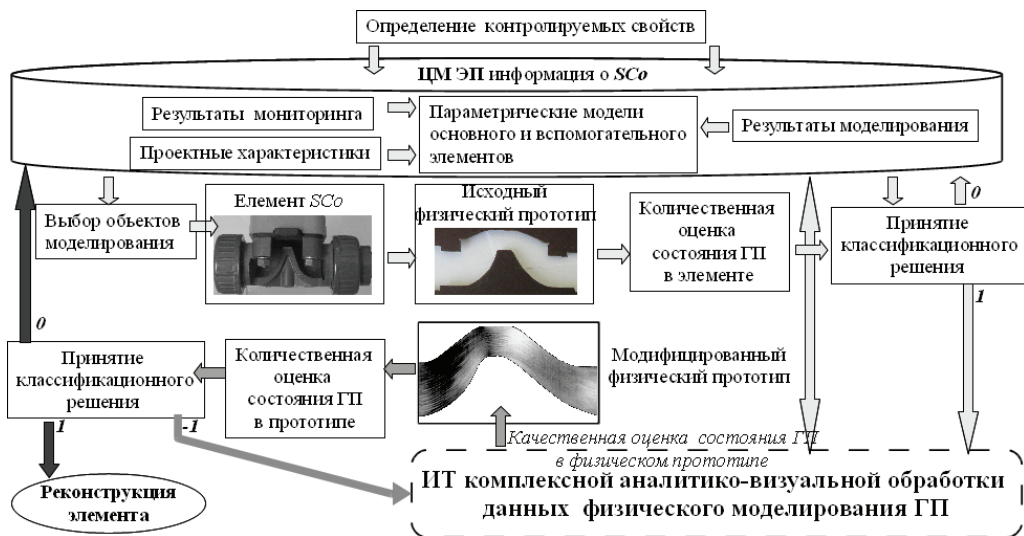


Рис. 1. Схема сценария комплексного моделирования ГП во вспомогательных элементах энергетических агрегатов

данных моделирования в ЦМ ЭП.

С учетом (2) разработана параметрическая модель вспомогательного элемента S_{Eminor} , для которой множество значений свойств Z_{Eminor} определяется как:

$$Z_{Eminor} = \left\{ \begin{array}{l} Q^*, \Delta P_{Eminor}(Q^*), \quad (a) \\ Mi, G, \zeta_{Eminor}^N, \quad (b) \\ \zeta_{Eminor}^R, Eminor_G, \zeta_{Eminor_{G_i}}, \quad (c) \\ Eminor_{G_i}, I Eminor_{G_i}, \quad (c) \end{array} \right\} \quad (4)$$

где (а) - значение расхода и потерь давления наследуются из значений свойств Z_{UnitP} параметрической модели ЭА S_{UnitP} базы знаний ЦМ ЭП; (b) - значение типа элемента, вид геометрической модели и значение гидроаэродинамического сопротивления нормативно-справочной базы проектных данных в ЦМ ЭП; (с) - значение гидроаэродинамического сопротивления и вид начального физического прототипа, значение гидроаэро-динамического сопротивления и вид модифицированного физического прототипа и информационная модель ГП в физическом прототипе (из базы данных моделирования в ЦМ ЭП).

Выбор объектов для моделирования осуществляется на основе анализа трех свойств:

давления в основном элементе $P_{Eminor}(Q^*)^R$, потерь давления $\Delta P_{Eminor}(Q^*)$ и проектного гидроаэродинамического сопротивления ζ_{Eminor}^N во вспомогательном элементе.

Шаг 2. Для количественной оценки *состояния гидроаэродинамического процесса (Process status feature – Psf) во вспомогательных элементах* предложено использовать признак Psf_{Eminor} значение, которого получено с помощью данных моделирования о потерях давления $\Delta P_{Eminor}(Q^*)$ и средней скорости $V_{\dot{\sigma}}$ потока:

$$Psf_{Eminor} = \zeta_{Eminor}^R = 2\Delta P_{Eminor}(Q)/\rho V_{\dot{\sigma}}^2 \quad (5)$$

Для принятия классификационного решения о состоянии ГП в элементе $Eminor$ и о необходимости проведения его качественной оценки в физическом прототипе $Eminor_G$ предложено следующее классификационное правило (см. рис.1):

$$DS_{Eminor} = \begin{cases} 1, (\zeta_{Eminor}^R - \zeta_{Eminor}^N) > 0 \\ 0, (\zeta_{Eminor}^R - \zeta_{Eminor}^N) \leq 0 \end{cases} \quad (6)$$

Если $DS_{Eminor} = 1$, переход к шагу 3, иначе возврат к шагу 1 (анализ следующего элемента агрегата).

Шаг 3. Качественная оценка состояния ГП в физическом прототипе $Eminor_G$, которая выполняется путем получения визуальных данных физического моделирования ГП в физическом прототипе $Eminor_G$ и их комплексной аналитико-визуальной автоматизированной обработки на основе разработанной ИТ. Результаты обработки записываются в соответствующие поля параметрической модели вспомогательного элемента в ЦМ ЭП

Шаг 4. Синтез модифицированного физического прототипа $Eminor_{G_i}$ на основе исходного физического прототипа с учетом результатов комплексной аналитико-визуальной обработки автоматизированной обработки данных физического моделирования о состоянии ГП в физическом прототипе $Eminor_G$

Шаг 5 Количественная оценка состояния ГП в модифицированном физическом прототипе вспомогательного элемента $Psf_{EminorG}$ в виде $\zeta_{Eminor_{G_i}}$ (4 с) с помощью физического моделирования выполняется в соответствии с действиями шага 2. Для принятия классификационного решения о дальнейшем совершенствовании вспомогательного элемента предложено следующее классификационное правило (см. рис. 1):

$$DS_{EminorG} = \begin{cases} 1, (\zeta_{Eminor}^R - \zeta_{Eminor_{G_i}}) > 0 \wedge \\ (\zeta_{Eminor_{G_i}} - \zeta_{Eminor_{G_{i+1}}}) \leq 0 \\ 0, (\zeta_{Eminor}^R - \zeta_{Eminor_{G_i}}) \leq 0 \\ -1, (\zeta_{Eminor}^R - \zeta_{Eminor_{G_i}}) > 0 \\ \wedge (\zeta_{Eminor_{G_i}} - \zeta_{Eminor_{G_{i+1}}}) > 0 \end{cases} \quad (7)$$

Если:

$DS_{EminorG} = 1$ - завершение процесса моделирования, переход к реконструкции вспомогательного элемента агрегата;

$DS_{EminorG} = 0$ - возврат к шагу 1 (анализ следующего элемента агрегата);

$DS_{EminorG} = -1$ – возврат к шагу 3 (следующая итерация по модификации физического прототипа элемента).

2. Количественная оценка гидроаэродинамических процессов во вспомогательных элементах

Количественная оценка состояния ГП в анализируемом вспомогательном элементе Psf_{Eminor} (5) проводится путем физического моделирования ГП в физически подобных прототипах основного

$E_{majorRe}$ и вспомогательного E_{minorG} элементов в соответствии с выражениями (3,с) и (4,с) и с шагом 2 метода ПЗЭ

Физическое подобие энергетически активных основных элементов, обеспечивается за счет возможности модели элемента $E_{majorRe}$ (3,с) генерировать ГП, подобный реальному по числу Рейнольдса. Считается, что турбулентные ГП процессы физически подобны, если число Рейнольдса моделируемого и реального ГП принадлежит диапазону турбулентности $10^4 \leq Re \leq 10^6$.

Физическое подобие энергетически пассивных вспомогательных элементов, обеспечивается за счет создания конструкции физического прототипа подобной реальной по коэффициенту масштабирования. В зависимости от целей моделирования используется коэффициент масштаба $0,04 \leq scale \leq 2,5$ конструкций (4,б) модели и реального элемента.

Физически подобные основной и вспомогательный элементы образуют физически подобный ЭА, который реализован в виде лабораторного стенда моделирования (рис.2):

- пневматической напорно-распределительной части, которая является физическим прототипом основного элемента и обеспечивает ГП с заданными параметрами по числу Рейнольдса параметрами..
- моделирующего устройства (рис.2, 1 и 2) которое представляет собой физический прототип E_{minorG} вспомогательного элемента, выполненный в соответствии с заданным масштабом моделирования.

Пневматическая напорно-распределительная часть (рис.2) в свою очередь содержит:

- насос ЦГ 6.3/3.2К (3) – физический прототип основного элемента;
- оборудование обеспечивающее физическое подобие ГП (бак компенсатор-воздухоот-

делитель (4), клапан РУ-16 (5), фильтр механический 205-02-11 для гашения пульсаций (6));

- измерительное оборудование (манометры образцовые (7), термопара ХК – термометр ГОСТ 5.2156-74 (8), расходомер (9), секундомер (10), теплообменник с вентилятором (13)).

Моделирующее устройство (рис. 2,б) представляет собой тонкий лист калиброванного материала с вырезанным каналом, моделирующим конструкцию вспомогательного элемента

E_{minorG} , который жестко закрепляется между двумя покровными плитами из оптически неактивного стекла

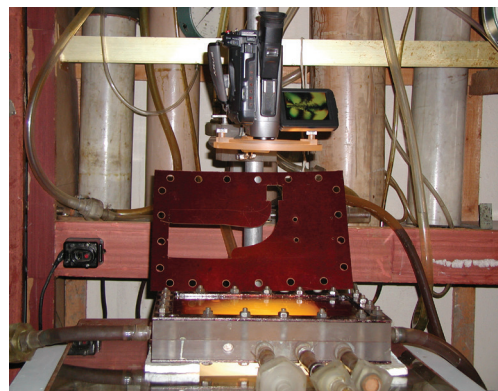
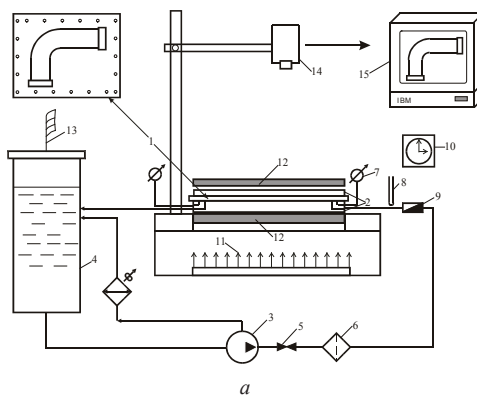


Рис. 1. Функциональная схема экспериментального стенда (а) и изображение моделирующего устройства

Функции управления напорно-распределительной частью лабораторного стенда моделирования, а также сбора и передача значений

технологических параметров, поступающих от измерительного оборудования реализованы в виде отдельных модулей получения количественной оценки состояния ГП в информационной технологии поддержки принятия решений при ре-инжиниринге вспомогательных элементов ЭА.

Кроме того использование разработанных физических прототипов $E_{major_{Re}}$ и E_{minor_G} позволяет адекватно так называемым объемным способом [4] оценить среднюю скорость $V_{\dot{\alpha}}$ потока рабочего тела с помощью появившихся инструментов для определения расхода рабочего тела Q и площади рабочей поверхности $S_{\dot{\alpha}}$ физического прототипа вспомогательного элемента. Полученное значение $V_{\dot{\alpha}}$ можно использовать в выражении (5) для вычисления реального гидро-аэродинамического сопротивления $\zeta_{E_{minor}}^R$ вспомогательного элемента. Значение $\zeta_{E_{minor}}^R$, используется в (6) и (7) для принятия классификационных решений о состоянии ГП в анализируемом элементе и о необходимости получения качественной оценки ГП в его физическом прототипе и выполнения дальнейшего анализа (рис. 1).

Заключение

Для оценки состояния гидроаэродинамических процессов в элементах энергетического оборудования формализован сценарий проведения комплексного моделирования гидроаэродинамических процессов позволяющий синтезировать модифицированный прототип вспомогательного элемента ЭА с пониженным гидроаэродинамическим сопротивлением. Реализация предложенного сценария позволила получать полную информацию о состоянии гидроаэродинамических процессов во вспомогательных элементах ЭА за счет количественной оценки признака состояния ГП во вспомогательном элементе с помощью физического моделирования ГП в его прототипе для определения элементов, подлежащих реинжинирингу. Экспериментальные исследования показали, что применение такой оценки обеспечить реинжиниринг вспомогательных элементов ЭА, гидроаэродинамические сопротивления в которых уменьшены в 0,5 - 5 раз чем в начальных элементах в зависимости от их типа [3]

Литература

- [1] **Андріанова І. І.** Економічний аналіз енерго і ресурсозберігаючих інновацій для теплової енергетики / І. І. Андріанова, В. А. Арсірій // Актуальні проблеми економіки. – К. Національна академія управління : – 2010. – № 11 – 15с.
- [2] **Арсірій Е. А.** Иерархическая модель данных для поддержки принятия решений при интенсификации процессов / Е. А. Арсірій // Електронні та комп'ютерні системи. – 2013. – № 10 (86). – С. 133 – 138
- [3] **Арсірій Е.А.** Оценка состояния сложных процессов при реинжиниринге энергетического оборудования / Е.А. Арсірій, С.Г. Антощук, О.Ю. Бабилунга, Арсірій В.А. // Системи обробки інформації, Зб. наук. пр. / Харк. ун-т Повітр. Сил ім. Івана Кожедуба. 2015. Вып.2(127). С. 139-142.
- [4] **Арсірій В. А.** Повышение эффективности оборудования с использованием FST-технологии / В. А. Арсірій // Тр. Одесского политехнического ун-та. – Одесса : – 2003. – Вып. 2. – С. 187 – 191.

Сведения об авторах

Арсірій Елена Александровна. Одесский политехнический институт (1981). Доцент (2002), д.т.н. (2014), Одесский национальный политехнический университет, кафедра информационных систем. Научные интересы: интеллектуальный анализ данных, нейронные сети.

Антощук Светлана Григорьевна. Одесский политехнический институт (1981). Д.т.н. (2005), профессор. (2006), Одесский национальный политехнический университет, кафедра информационных систем. Научные интересы: интеллектуальная обработка информации, анализ и распознавание изображений

Арсірій Василий Анатольевич. Одесский политехнический институт (1981). Д.т.н (2005), профессор. (2005), Одесская государственная академия строительства и архитектуры, кафедра кондиционирования воздуха и механики жидкости. Научные интересы: гидро- газодинамика, тепловые энергоустановки.

Ядрова Марина Васильевна. Одесский политехнический институт (1974). К.т.н (1992), доцент (1995), Одесский национальный политехнический университет, кафедра информационных систем. Научные интересы: электроника и микросхемотехника, информационные измерительные системы.

THE ASSESSMENT OF THE STATE OF HYDRO- AERODYNAMICS PROCESSES DURING THE REENGINEERING ELEMENTS POWER

Elena Arsiroy¹⁾, Svetlana Antoshchuk²⁾, Vasyl Arsiroy³⁾, Marina Yadrova⁴⁾

^{1) 2) 4)} ONPU, 1, Shevchenko avenue, Odessa, Ukraine, 65044

³⁾ OSACE, 4 Didrihsona st., Odessa, 65029, Ukraine

e-mails: ¹⁾e.arsiry@gmail.com, ²⁾svetlana_onpu@mail.ru,

³⁾arsiry@te.net.ua, ⁴⁾marinaonpu@yandex.ua

Abstract: Assessment of the hydro- aerodynamics processes in elements of power units for the purpose of reengineering proposed to carry out with the help of complex simulations. Formalized scenario of complex modeling process allows the hydro- aerodynamics synthesize a modified prototype of an auxiliary power unit element hydro-aerodynamics with low resistance..

Key words: Simulation parameters of power equipment, assessment of the hydro- aerody-namics processes, reengineering of power equipment.

References

[1] **Andrianova I. I.** Economic analysis of energy and resource-saving innovations for power equipment / I. I. Andrianova, V. A. Arsiroy // Aktualni problemi ekonomiki. – K. Natsionalna akadem Iya upravlinnya : – 2010. – № 11 – 15s.

[2] **Arsiry E. A.** The hierarchical data model to support decision-making process intensification / E. A. Arsi-riy // Elektronni ta komp'yuterni sistemi. – 2013. – № 10 (86). – S. 133 – 138

[3] **Arsiry E.A.** The assessment of the state

of complex processes during the reengineering power equipment / E.A. Arsi-riy, S.G. Antoshchuk, O.Yu. Babilunga, Arsi-riy V.A. //Sistemi obrobki Informatsiyi, Zb. nauk. pr. / Hark. un-t Pov-Itr. Sil Im. Ivana Kozheduba. 2015. Vyip 2(127). S. 139-142.

[4] **Arsiry V. A.** Improving the efficiency of the equipment using the FST-technology / V. A. Arsiroy // Tr. Odesskogo politehnicheskogo un-ta. – Odessa : – 2003. – Vyip. 2. – S. 187 – 191.

ОЦЕНКА НА СЪСТОЯНИЕТО НА ХИДРОАЕРОДИНАМИЧНИ ПРОЦЕСИ ПРИ РЕИНЖЕНЕРИНГ НА ПОМОЩНИ ЕЛЕМЕНТИ НА ЕНЕРГИЙНИ АГРЕГАТИ

Елена Арсирий¹⁾, Светлана Антошчук²⁾, Василий Арсирий³⁾, Марина Ядрова⁴⁾

^{1) 2) 4)} ОНПУ, 65044, Украйна, г.Одеса, пр. Шевченко, 1

³⁾ ОДАСА, 65029, Украйна, г. Одеса, ул. Дидрихсона, 4,

e-mails: ¹⁾e.arsiry@gmail.com, ²⁾svetlana_onpu@mail.ru,

³⁾arsiry@te.net.ua, ⁴⁾marinaonpu@yandex.ua

Резюме: Оценката на състоянието на хидроаеродинамични процеси в елементи на енергийни агрегати с цел техния реинженеринг се предлага да се извърши с помощта на комплексно моделиране. Формализиран е сценарий за провеждане на комплексно моделиране на хидроаеродинамичните процеси, позволяващ да се синтезира модифициран прототип на помощния елемент на енергийния агрегат чрез намаляване на хидроаеродинамичното съпротивление.

Ключови думи: моделиране на параметрите на енергийно оборудване, оценка на състоянието на хидроаеродинамични процеси, реинженеринг на енергийно оборудване.