

УДК 004.519.217

Е. А. Арсирый, канд. техн. наук,
С. Г. Антощук, д-р техн. наук

ЦИФРОВОЙ МАКЕТ ОБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Аннотация. Разработан единый цифровой макет оборудования энергетического предприятия на основе фреймовой модели представления знаний, которая учитывает особенности получения декларативных знаний, использующих геометрические, гидроаэродинамические, энергетические и другие технико-экономические характеристики из базы данных. Внедрение разработанного цифрового макета позволило своевременно принимать решения как по организации требуемых ремонтных работ, так и по совершенствованию оборудования с целью повышения эффективности энергетического предприятия.

Ключевые слова: цифровой макет, фреймовая модель, база знаний, процедурные и декларативные знания, поддержка принятия решений, энергетическое оборудование, совершенствование оборудования, эффективность энергетического предприятия

E. A. Arsiriy, PhD.,
S. G. Antoshchuk, ScD.

POWER PLANTS' EQUIPMENT DIGITAL MODEL

Abstract. The article describes the development of a united equipment digital model of power plants based on frame model of knowledge. Frame model of knowledge allows to consider obtaining declarative knowledge based on geometrical, hydro-aerodynamics, power and other technical and economic characteristics from the database. Frame model of knowledge allows to consider obtaining procedural knowledge that enables assessing state of active equipment based on models base. Implementation of the developed digital mockup allows timely to make decisions on the organization of repairs and improvement of equipment timely in order to improve the efficiency of the power plants.

Keywords: Digital mockup, frame model of knowledge, knowledge base, procedural and declarative knowledge, decision support, planning and operation of power equipment, improving equipment, efficiency power plants

О. О. Арсірій, канд. техн. наук,
С. Г. Антощук, д-р техн. наук

ЦИФРОВИЙ МАКЕТ ОБЛАДНАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Анотація. Розроблено єдиний цифровий макет обладнання енергетичного підприємства на основі фреймової моделі подання знань, яка враховує особливості отримання декларативних знань, що використовують геометричні, гідроаеродинамічні, енергетичні та інші техніко-економічні характеристики з бази даних. Впровадження розробленого цифрового макету дозволило своєчасно приймати рішення як з організації необхідних ремонтних робіт, так і щодо вдосконалення обладнання з метою підвищення ефективності енергетичного підприємства

Ключові слова: цифровий макет, фреймова модель, база знань, процедурні та декларативні знання, підтримка прийняття рішень, енергетичне обладнання, вдосконалення обладнання, ефективність енергетичного підприємства

Информационные технологии в энергетике с каждым годом становятся все более востребованными. Это связано не только с естественными процессами экономического роста, но и с рядом проблем, с которыми в настоящее время столкнулась украинская энергетика. Одной из наиболее существенных из них является низкая эффективность действующего энергетического оборудования (ДЭО). Например, на существующих энергетических предприятиях (ЭП) реальная вырабатываемая энергетическая мощность котельных установок на 10–50 % меньше паспортной (проектной) при энергозатратах на

собственное функционирование в два раза превышающих установленную норму. Одной из основных причин такого положения является снижение эффективности гидроаэродинамических процессов (ГАДП) в ДЭО ЭП, вызванное физическим и моральным износом, который превышает 80 % [1]. Схожая ситуация наблюдается и на других объектах энергетики. Это в конечном итоге привело к тому, что из-за низкой эффективности оборудования ЭП Украина вошла в десятку наименее энергоэффективных стран мира. Поэтому совершенствование ДЭО с целью продления его жизненного цикла и повышения эффективно-

сти является важной проблемой для экономики Украины.

Одним из главных условий успешного решения проблемы низкой эффективности работы ЭП является создание единого информационного пространства, обеспечивающего доступ к актуальной и полной информации о состоянии оборудования на нем для поддержки принятия решений о необходимости проведения своевременного ремонта и совершенствования. Проведенный анализ показал, что информация о состоянии оборудования формируется на разных стадиях его жизненного цикла (ЖЦ), для информационной поддержки которых на ЭП создаются и поддерживаются соответствующие цифровые макеты оборудования, представляющие собой совокупность структурированных моделей концептуальных объектов предметной области, их свойств и отношений между ними.

Цифровой макет проектируемого энергетического оборудования (ЦМПЭО) – совокупность электронных документов, описывающих создание энергетического оборудования. К ним относятся: конструкторская документация, представляющая объёмные модели частей и компонент оборудования; технологическая документация, содержащая необходимые указания для производства, используемые инструменты, материалы, технологии; производственная документация, содержащая данные по организации производства, проектированию и изготовлению оснастки, описание технологических процессов, библиотеки операций и переходов; специальные атрибутивные данные [9–11].

Цифровой макет эксплуатируемого энергетического оборудования (ЦМЭЭО) – совокупность электронных документов, описывающих ДЭО с момента ввода в эксплуатацию до момента вывода. К ним относятся: наборы инструкций по пуску, наладке и останову ДЭО; база данных о состоянии оборудования, получаемая при управлении технологическим процессом и создаваемая на основе мониторинга состояния оборудования; техническая документация, содержащая данные, получаемые в результате выполнения комплекса работ по техническому обслуживанию и технической диагностике ДЭО, которые заполняются с определенной периодичностью и

последовательностью; рабочая конструкторская документация, разработанная на основе технического задания, проектной и конструкторской документации и предназначенная для проведения текущих и капитальных ремонтов [12,13].

Цифровые макеты оборудования, как правило, реализуются на основе моделей представлений знаний (продукции, фреймы, онтологии и др.)

Проведенный анализ показал, что создание единого информационного пространства в виде цифрового макета действующего энергетического оборудования (ЦМ ДЭО) для ЭП на основе ЦМ ПЭО и ЦМ ЭЭО (даже при их наличии) затруднено в связи с разными форматами представления данных, разобщенностью информации, полученной на разных стадиях жизненного цикла и уровнях детализации оборудования [2,5–8].

В данной статье предлагается фреймовый подход к разработке ЦМ ДЭО для ЭП, который позволит формализовать описание предметной области и обеспечить интеграцию и систематизацию информации при принятии решений о необходимости проведения совершенствования ДЭО.

В рамках предлагаемого подхода разработана фреймовая модель базы знаний ЦМ ДЭО, которая учитывает особенности получения декларативных знаний, использующих геометрические, гидроаэродинамические, энергетические и другие технико-экономические характеристики из базы данных, а также процедурных знаний, позволяющих проводить оценку состояния действующего оборудования с учетом базы моделей. Фреймовая модель представления концептуальных объектов в базы знаний ЦМ ДЭО (рис. 1) содержит знания о сложных (*Complex Conceptual Object CCo*) и простых концептуальных объектах (*Simple Conceptual Object SCo*).

К сложным концептуальным объектам относятся:

1) действующее на ЭП энергетическое оборудование (*Active Power Equipment*) – совокупность оборудования, фактически работающего в отчетном периоде и предназначенного для производства, преобразования, передачи, распределения и потребления энергии;

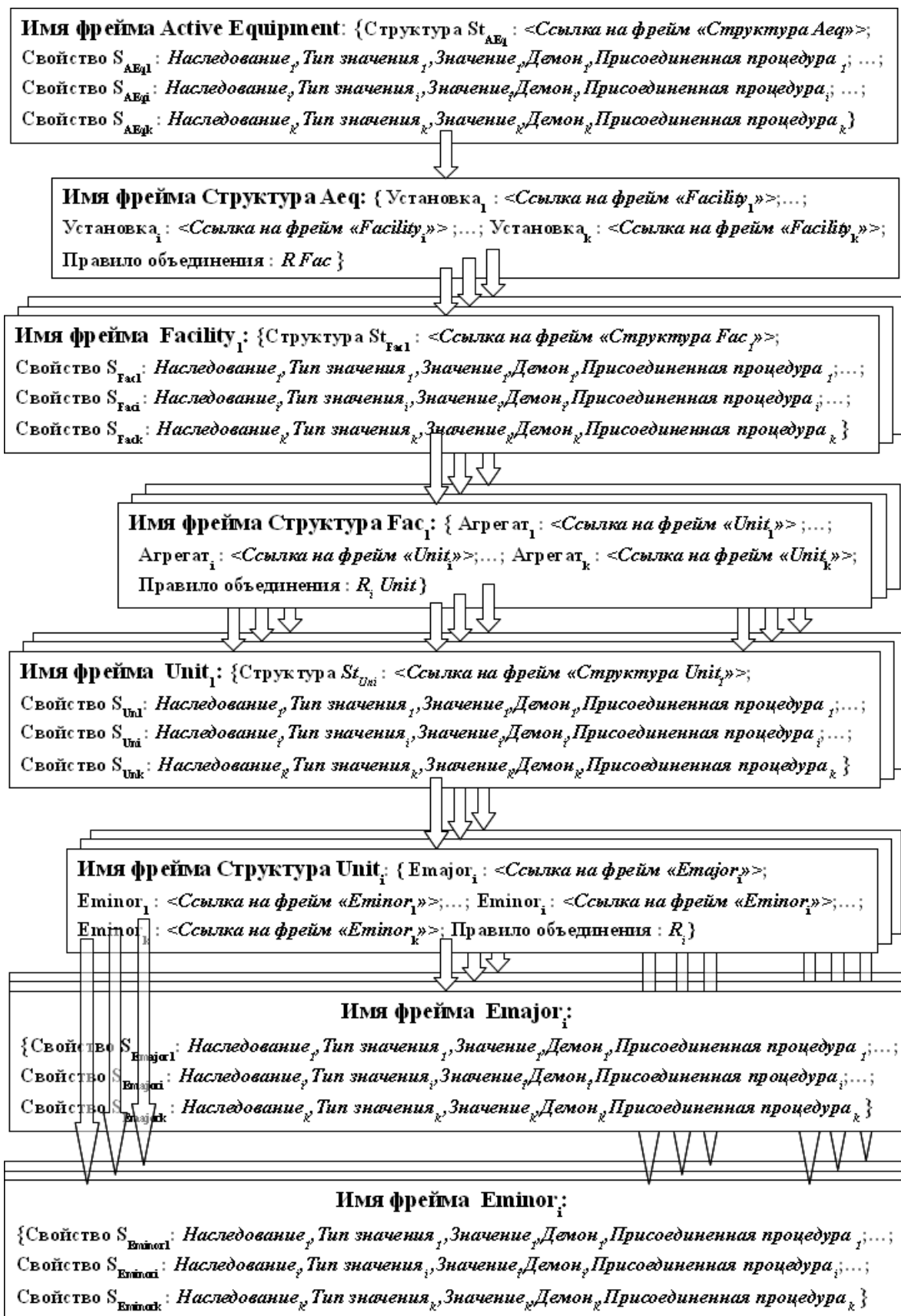


Рис. 2. Фреймовая модель представления концептуальных объектов в базе знаний ЦМ ДЭО

2) энергетические установки (*Power Facility*) – комплекс оборудования, предназначенного для совместного осуществления технологической схемы (например установки: котельные, турбинные, генераторные, трансформаторные);

3) энергетические агрегаты (*Power Unit*) – объединения элементов, обеспечивающие технологические процессы подъема, сжатия и транспортирования жидкости и газов – гидроаэродинамические процессы (ГАДП). Агрегаты (например, для подачи топлива, воды, воздуха, удаления дымовых газов) состоят из энергетически активного основного элемента и энергетически пассивных вспомогательных комплектующих элементов.

К простым концептуальным объектам относятся:

1. Основные элементы (*Emajor*) – энергетически активные элементы, создающие давление (вентилятор) или разряжение (насос) за счет потребляемой электрической мощности (например, насосы для подачи топлива, мельницы – вентиляторы, насосы гидрозолоудаления, дутьевые вентиляторы, дымососы).

2. Вспомогательные элементы (*Eminor*) – энергетически пассивные комплектующие элементы, предназначенные для объединения отрезков трубопроводов и основного элемента в протяженный энергетический агрегат (например, входные и выходные партубки, шайбы, диафрагмы, диффузоры, конфузоры, повороты, тройники, крестовины, распределительные коллекторы, а также специальные регулирующие элементы (*Econtrol*) – задвижки).

Сложный концептуальный объект *CCo* в базе знаний ЦМ ДЭО предложено представлять фреймом-прототипом вложенного типа, формально определяемый кортежем:

$$CCo = \langle N_{CCo}, St_{CCo}, S_{CCo} \rangle, St_{CCo} \in St, S_{CCo} \in S, \quad (1)$$

где N_{CCo} – имя фрейма; St_{CCo} – слот, значение которого содержит ссылку на фрейм, описывающий структуру St сложного концептуального объекта; S_{CCo} – подмножество слотов, описывающих свойства, характерные для сложного концептуального объекта и принадлежащих множеству слотов S .

Множество фреймов St задает структуру объектов (структурную модель объекта) на различных уровнях вложенности. Например, такая модель для трех уровней вложенности будет выглядеть так:

$$\begin{aligned} St^{(3)} &= \{St_1^{(1)} = \{St_{11}^{(2)} \\ &= \{St_{111}^{(3)}, \dots, St_{11n}^{(3)}\}, \dots, St_{1m}^{(2)} \\ &= \{St_{1m1}^{(3)}, \dots, St_{1mn}^{(3)}\}\}, \dots, St_k^{(1)} \\ &= \{St_{k1}^{(2)} = \{St_{k11}^{(3)}, \dots, St_{k1n}^{(3)}\}, \dots, St_{km}^{(2)} \\ &= \{St_{km1}^{(3)}, \dots, St_{kmn}^{(3)}\}\}, \end{aligned} \quad (2)$$

где k, m, n – количество фреймов, задающих структуру *CCo* на первом, втором и третьем уровнях вложенности.

Множество слотов S , задающих характерные свойства объекта, представляет собой параметрическую модель объекта. Такая модель имеет вид

$$S_i = \langle Ns_i, Ps_i, Pt_i, Zi, Di, Mi \rangle, i = 1, n, \quad (3)$$

где Ns_i, Zi – наименование и значение i -го свойства (слота) S_i ; Ps_i – указатель наследования свойства, если слот наследуется, может принимать значения: U (Unique) – данные не наследуются; S (Same) – данные наследуются; R (Range) – наследуются пределы данных; O – объединение U и S, с преимуществом S); Pt_i – указатель типа данных свойства, может принимать значения: Frame – указатель на другой фрейм, Integer – целый, Real – действительный, Bool – булевский, Text – текст, List – список, Table – таблица, Expression – выражение, Img – изображение в стандартных форматах, Lisp – присоединенная процедура (модель); Di – специальная присоединенная процедура (демон), запускается при выполнении условия на значение i -го свойства: If-Needed (N) – значение не было установлено, If-Added (A) – добавление в слот значения, If-Removed (R) – удаление значения слота; M_i – присоединенная процедура, реализующая i -ю модель, $M_i \in M$, где $M = \{M_1, \dots, M_i, \dots, M_K\}$ – множество моделей.

Простой концептуальный объект *SCo* в базе знаний ЦМ ДЭО также представлен фреймом-прототипом, формально определяемый кортежем:

$$SCo = \langle N_{S_{Co}}, S_{S_{Co}} \rangle, \quad S_{S_{Co}} \in S, \quad (4)$$

где $S_{S_{Co}}$ – параметрическая модель простого концептуального объекта принадлежащая множеству S , представленному в (3).

Таким образом, фреймовая модель (рис. 1) позволяет в едином формате описать все типы ДЭО с учетом их взаимных связей и свойств для создания цифрового макета ДЭО ЭП, обеспечивая полноту и интеграцию информации.

В основе механизма управления выводом фреймов–экземпляров лежат демоны и присоединенные процедуры, обеспечивающие необходимые преобразования декларативных данных базы данных ЦМ ДЭО, ссылки на которые помещены в соответствующие слоты базы знаний ЦМ ДЭО. Для создания демонов и присоединенных процедур управления выводом фреймов–экземпляров на уровне энергетических агрегатов в фреймовой модели ЦМ ДЭО разработан метод получения знаний о функциональном состоянии агрегатов (МПЗ-А) при эксплуатации.

Предлагаемый метод используется для поддержки принятия решений по совершенствованию ДЭО и реализуется последовательностью действий:

- 1) выбор средств и объектов мониторинга для разработки структурной модели агрегатов St_{Unit} на основе (2);
- 2) определение контролируемых свойств агрегатов в соответствии с параметрической моделью S_{Unit} (3);
- 3) выбор параметра оценки функционального состояния агрегата Ffs_{Unit} ;
- 4) выбор и оценка критерия эффективности функционального состояния агрегата.

Анализ решений по совершенствованию ДЭО на уровне агрегатов показал, что для увеличения энергетической мощности ЭП можно либо повышать мощность основного элемента агрегата, либо снижать гидроаэродинамические сопротивления вспомогательных элементов агрегата. Рассмотрим оба варианта поддержки принятия решений по совершенствованию ДЭО с помощью разработанного МПЗ-А. Первый

вариант учитывает оценку функционального состояния агрегата на основе построения *напорных* (H) характеристик основного и вспомогательных элементов.

Тогда сложный концептуальный объект CCo_H – агрегат, в соответствии с (1) определяется так: $CCo_H = \langle Unit_H, St_{Unit_H}, S_{Unit_H} \rangle$, где $Unit_H$ – имя агрегата; St_{Unit_H} – структурная модель агрегата; S_{Unit_H} – параметрическая модель агрегата. Структурная модель агрегата $St_{Unit_H} = \langle E_{major}, E_{control}, MS, R \rangle$, где MS – множество вспомогательных элементов; $MS = [R] \bigcup_{i=1}^{m+k} E_{minor_i}$, $[R] \bigcup$ – правило объединения E_{minor} ; m, k – количество элементов; $E_{control}$ – специально выделенный вспомогательный регулирующий элемент.

Элементы параметрической модели, задающие контролируемые свойства агрегата $S_{Unit_{Hi}}$ ($i = 1-7$) в соответствии с (3), представлены в табл. 1.

В качестве параметра оценки функционального состояния агрегата предложено использовать коэффициент эффективности основного элемента:

$$Ffs_{Unit_H} = \eta_{E_{major}}(Q, H, N).$$

Предложено формальное описание задачи совершенствования ДЭО агрегата за счет повышения мощности основного элемента. Сформулирован критерий оптимального функционального состояния агрегата, согласно которому коэффициент эффективности основного элемента должен принимать максимальное значение:

$$Ffs_{Unit_H} = \eta_{E_{major}}(Q, H, N) \rightarrow \max_{n, \zeta_{E_{control}}} \eta_{E_{major}}(n, \zeta_{E_{control}}) \quad (5)$$

при следующих условиях и ограничениях:

$$\begin{cases} Q(n, \zeta_{E_{control}}) = Q^*, & (a) \\ D = D^*, & (b) \\ 0 < \zeta_{E_{control}} < 1, & (c) \\ n \in B = \{b_1, \dots, b_z\}. & (d) \end{cases} \quad (6)$$

1. Элементы параметрической модели агрегата S_{Unit_i}

Ns_i	Ps_i	Pt_i	Z_i	D_i	M_i	Комментарии
Расход (1)	U	List	$\{Q_1, \dots, Q_n, Q^*\}$	N		<i>Стадия эксплуатации: данные мониторинга</i> P_{Emajor} – показание манометра P_{Emajor} – показание вакуумметра и расчетов
Напор (2)	U	Lisp	$H_{Emajor}(Q^*)^R$	N	$H_{Emajor}(Q^*)^R = P_{Emajor} + V_{cp}^2/2g$ $- (-P_{Emajor} + V_{cp}^2/2g)$	
Мощность (3)	U	Real	$N_{Emajor}(Q^*)^R$	N		
Напор (4)	S	Expres	$H_{Emajor}(n, Q)^N$	A	$H_{Emajor}(Q^*) = \Delta H(Q^*)$	<i>Данные проектно-конструкторской документации: n – число оборотов рабочего колеса; ζ_{Eminor_i} – коэффициент гидродинамического сопротивления в i-м элементе; $V_{cp}^2/2g$ – динамический напор, $V_{cp} = Q/S_{cp}$, S_{cp} – усредненная площадь поперечного сечения трубы бопровода</i>
Мощность (5)	S	Real	$N_{Emajor}(n, Q)^N$	A		
Потери напора (6)	O	Lisp	$\Delta H(\zeta, Q)$	A	$\Delta H(\zeta, Q) = \sum_{i=1}^{m+k} \Delta H_{Eminor_i}(\zeta, Q)$ $= \sum_{i=1}^{m+k} \zeta_{Eminor_i} Q^2 / S^2 * 2g$	
Коэффициент эффективности (7)	O	Lisp	$\eta_{Emajor}(Q, H, N)$	A	$\eta_{Emajor}(Q, H, N) =$	
					$Q^* H_{Emajor}(n, Q) / N_{Emajor}(n, Q)$	

Таким образом, решение о совершенствовании агрегата принимается с учетом сформулированного критерия оптимизации основного элемента (5) для заданного значения расхода Q^* рабочего тела в агрегате (6,a), фиксированного диаметра D^* (6,b) и регулируемого числа оборотов n (6,d) рабочего колеса основного элемента, где $Q(n, \zeta_{Econtrol})$ – функция расхода, зависящая от числа оборотов n и от величины гидродинамического сопротивления $\zeta_{Econtrol}$ элемента $Econtrol$.

Описанный вариант принятия решений при совершенствовании ДЭО, основанный на повышении мощности основного элемента, определяется как метод *реновации* основного элемента агрегата.

Второй вариант использования МПЗ-А учитывает оценку функционального состояния агрегата на основе построения характеристик *давления* (P) основного и вспомогательных элементов.

Тогда сложный концептуальный объект CCo_p – агрегат, в соответствии с (1) $CCo_p = \langle Unit_p, St_{Unit_p}, S_{Unit_p} \rangle$, где $Unit_p$ – имя

агрегата; St_{Unit_p} – структурная модель агрегата; S_{Unit_p} – параметрическая модель агрегата.

Структурная модель агрегата определяется так: $St_p = \langle MV, Econtrol, Emajor, MP \rangle$, где MV – множество вспомогательных элементов, находящихся в зоне разряжения; MP – множество вспомогательных элементов, находящихся в зоне давления. При этом $MV = [R] \bigcup_{i=1}^m Eminor_i$; $MP = [R] \bigcup_{j=1}^k Eminor_j$; m, k – количество элементов, элемент $Econtrol$ размещен в отличие от первого варианта в зоне разрежения.

Элементы параметрической модели, задающие контролируемые свойства агрегата $S_{Unit_{p_i}}$ ($i = 1-10$) в соответствии с (3), представлены в табл. 2.

В качестве параметра оценки функционального состояния агрегата предложено использовать значение мощности, которая затрачивается на обеспечение функционирования основного элемента: $Ffs_{Unit_p} = N_{Emajor}(Q)$.

Предложено формальное описание задачи совершенствования ДЭО агрегата за счет

снижения гидродинамических сопротивлений во вспомогательных элементах. Сформулирован критерий оптимального функционального состояния агрегата, согласно которому значение затрачиваемой мощности в основном элементе должно быть минимальным:

$$Ffs_{Unit_p} = N_{E_{major}}(Q) \rightarrow \min_{\zeta_{E_{control}}, \zeta_{E_{minor_1}}, \dots, \zeta_{E_{minor_m}}, \zeta_{E_{minor_{m+1}}}, \dots, \zeta_{E_{minor_k}}} N_{E_{major}}(n, Q(n, \zeta_{E_{control}})), \quad (7)$$

при условиях и ограничениях

$$\begin{cases} Q(\zeta_{E_{control}}, \zeta_{E_{minor_1}}, \dots, \zeta_{E_{minor_m}}, \zeta_{E_{minor_{m+1}}}, \dots, \zeta_{E_{minor_k}}) = Q^*; & (a) \\ D = D^*; & (b) \\ 0 < \zeta_{E_{control}} < 1, & (c) \\ n \in B = \{b_1, \dots, b_z\}. & (d) \end{cases} \quad (8)$$

Таким образом, решение о совершенствовании агрегата принимается с учетом сформулированного критерия оптимизации мощности основного элемента (7) для заданного значения расхода Q^* рабочего тела в агрегате (6, а),

где $Q(\zeta_{E_{control}}, \zeta_{E_{minor_1}}, \dots, \zeta_{E_{minor_m}}, \zeta_{E_{minor_{m+1}}}, \dots, \zeta_{E_{minor_k}})$ – функция расхода, зависящая от величин гидродинамических сопротивлений вспомогательных элементов $\zeta_{E_{minor_i}}, i=1, \dots, m, \zeta_{E_{minor_j}}, j=1, \dots, k$, находящихся в зоне разрежения давления агрегата и регулирующего элемента $\zeta_{E_{control}}$.

2. Представление свойств агрегата $S_{Unit_p, i}$

Ns_i	Ps_i	Pt_i	Z_i	D_i	M_i	Комментарии
Расход (1)	U	List	$\{Q_1, \dots, Q_n, Q^*\}$	N		<i>Стадия эксплуатации. Данные мониторинга и расчетов: $P_{E_{minor_i}}$ – показание i-х прибора в зоне разряжения; $P_{E_{minor_j}}$ – показание j-го прибора в зоне давления; $V_{cp} = Q/S_{cp}$ – средняя скорость рабочего тела</i>
Давление (2)	U	Lisp	$P_{E_{major}}(Q^*)^R$	N	$P_{E_{major}}(Q^*)^R = P_{E_{major}}^{lim} - (P_{E_{major}}(Q^*) - (-P_{E_{major}}(Q^*)))$	
Мощность (3)	U	Real	$N_{E_{major}}(Q)^R$			
Потери давления в зоне разрежения (4)	U	Real	$\Delta P_{E_{minor_i}}(Q^*)$	N	$\Delta P_{E_{minor_i}}(Q^*) = P_{E_{minor_i}}(Q^*) - P_{E_{minor_{i+1}}}(Q^*)$	
Потери давления в зоне давления (5)	U	Real	$\Delta P_{E_{minor_j}}(Q^*)$	N	$\Delta P_{E_{minor_j}}(Q^*) = P_{E_{minor_j}}(Q^*) - P_{E_{minor_{j+1}}}(Q^*)$	
Гидроэрод. сопротивление в зоне разрежения (6)	O	Lisp	$\zeta_{E_{minor_i}}^R$	A	$\zeta_{E_{minor_i}}^R = 2\Delta P_{E_{minor_i}}(Q^*) / \rho V_{cp}^2$	
Гидроэрод. сопротивление в зоне давления (7)	O	Lisp	$\zeta_{E_{minor_j}}^R$	A	$\zeta_{E_{minor_j}}^R = 2\Delta P_{E_{minor_j}}(Q^*) / \rho V_{cp}^2$	
Гидроэрод. сопротивление в зоне разрежения (8)	S	Real	$\zeta_{E_{minor_i}}^N$	A		<i>Стадия проектирования: $\zeta_{E_{minor_i}}^N, \zeta_{E_{minor_j}}^N$ – справочные коэффициенты гидродинамического сопротивления в i-м элементе в зоне разрежения и давления</i>
Гидроэрод. сопротивление в зоне давления (9)	S	Real	$\zeta_{E_{minor_j}}^N$	A		
Предельное давление (10)	S	Lisp	$P_{E_{major}}^{lim}$	A	$P_{E_{major}}^{lim} = k(\pi Dn)^2$	

Описанный вариант принятия решений при совершенствовании ДЭО, основанный на снижении гидроаэродинамических сопротивлений во вспомогательных элементах, определяется как метод *реконструкции* вспомогательных элементов агрегата.

Таким образом, предложенная фреймовая модель базы знаний ЦМ ДЭО позволила формализовать:

представление предметной области на основе единого подхода к представлению данных, получаемых на двух основных ста-

диях ЖЦ ДЭО (проектирование и эксплуатация), и данных, получаемых на разных уровнях детализации оборудования (агрегат, основной и вспомогательных элемент);

поддержку принятия решений на основе метода получения знаний о функциональном состоянии агрегатов.

Графическая интерпретация поддержки принятия решений для двух описанных выше вариантов совершенствования ДЭО агрегатов с учетом критериев (5) и (7) приведена на рис. 2, а, б соответственно.

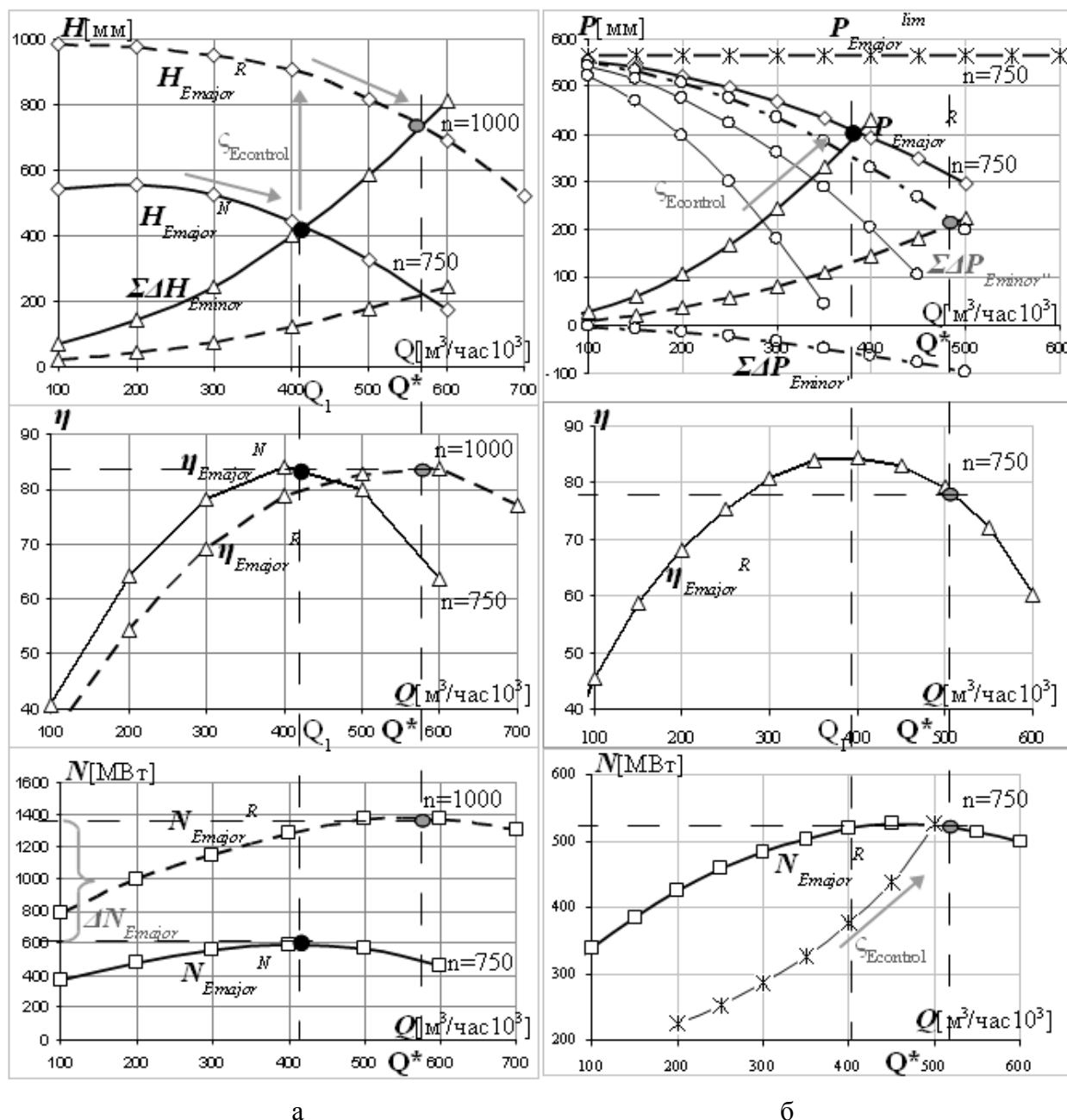


Рис. 2. Графическая интерпретация поддержки принятия решений при реновации (а) и реконструкции (б) насосного агрегата ВДН-25

Сравнение двух вариантов поддержки принятия решений по совершенствованию ДЭО, определенных с помощью предлагаемого метода получения знаний о функциональном состоянии агрегатов как методы реновации основного элемента и реконструкции вспомогательных элементов, позволяет сделать следующие выводы.

Для принятия решения о совершенствовании ДЭО путем реновации основного элемента необходимо сравнивать напорные характеристики, полученные при проектировании $N_{Emajor}(n, Q)^N$ и эксплуатации $N_{Emajor}(Q^*)^R$ агрегата (табл.1). Для построения эксплуатационной напорной характеристики агрегата, кроме результатов мониторинга давления в контрольных точках, требуется получение динамической составляющей напора, основанной на вычислении ряда усредненных величин (S_{cp}, V_{cp} табл.1). Это приводит к неопределенности и неточности оценки функционального состояния агрегата на стадии эксплуатации. Кроме того, учет критерия (5) при принятии решения о реновации приводит к увеличению мощности $N_{Emajor}(Q^*)^R$ (табл.1) и ΔN_{Emajor} (рис. 2, а) основного элемента, которая обеспечивает собственное функционирование агрегата, а значит к фактическому уменьшению ожидаемых результатов совершенствования ДЭО. Поэтому предпочтительным является выбор метода реконструкции вспомогательных элементов агрегата.

Достоинством разработанного метода получения знаний о функциональном состоянии агрегатов для поддержки принятия решения о реконструкции вспомогательных элементов агрегата является простота построения характеристик давления в агрегате на основе параметров, получаемых в результате мониторинга давления в контрольных точках, расположенных в зонах давления и разрежения агрегата ($P_{Emajor}(Q^*), P_{Emajor'}(Q^*), P_{Eminor}(Q^*), P_{Eminor'}(Q^*)$). Учет критерия (7) при принятии решения о реконструкции вспомогательных элементов с целью снижения в них гидроаэродинамических сопротивлений позволяет минимизировать мощность $N_{Emajor}(Q^*)^R$ (рис.

2, б) основного элемента, затрачиваемую на собственное функционирование агрегата. Однако следует отметить, что недостатком метода реконструкции является отсутствие средств оценки значений гидроаэродинамических сопротивлений во вспомогательных элементах в зонах давления $\zeta_{Eminor_j}^R$ и разрежения $\zeta_{Eminor_i}^R$ на стадии эксплуатации. Это приводит к необходимости принимать решение о реконструкции вспомогательных элементов в условиях неопределенной и неполной информации. Поэтому актуальным является решение задачи оценки гидроаэродинамических сопротивлений вспомогательных элементов, например, визуальными методами [3–4].

Вывод

Таким образом, предложенный фреймовый подход к разработке ЦМ ДЭО для ЭП, позволил формализовать описание предметной области и обеспечил интеграцию и систематизацию информации при принятии решений о необходимости проведения совершенствования ДЭО. Это позволило создать единый ЦМ ДЭО для ЭП на основе фреймовой модели представления знаний, которая учитывает особенности получения декларативных знаний, использующих геометрические, гидроаэродинамические, энергетические и другие технико-экономические характеристики из базы данных, и процедурных знаний, позволяющих проводить оценку состояния действующего оборудования с учетом базы моделей. Предложенный фреймовый подход позволил впервые обосновать два основных варианта совершенствования ДЭО, формализовать описание их преимуществ и недостатков. Это дает возможность обоснованно выбирать целесообразное решение для увеличения энергетической мощности ЭП при снижении затрат мощности на собственное функционирование.

Список использованной литературы

1. Андріанова І. І. Економічний аналіз енергозберігаючих інновацій для теплової енергетики / І. І. Андріанова, В. А. Арсірій //Актуальні проблеми економіки. – 2010. – № 12. – С. 33 – 44.

2. Арсирый Е. А. Иерархическая модель данных для поддержки принятия решений при интенсификации процессов / Е. А. Арсирый // *Електронні та комп'ютерні системи*. – 2013. – № 10 (86). – С. 133 – 138.
3. Арсирый Е. А. Разработка моделей элементов гидроаэродинамических систем на основе средств интеллектуальной визуализации / Е. А. Арсирый // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Энергосберегающие технологии и оборудование*. – Харьков : – 2013. – Вып. 3/8(63). – С. 4 – 8.
4. Арсирый Е. А. Интеллектуальный анализ при комплексном моделировании для повышения надежности работы энергетического оборудования [Арсирый Е. А., Антошук С. Г., Арсирый В. А., Кравченко В. И.] // *Науково-технічний журнал «Радіоелектронні і комп'ютерні системи»*. – Харків : ХАІ. – 2012. – № 6 (58). – С. 89 – 95.
5. Arsiriy E. A., Antoshchuk S.G., Arsiry V.A., and Groysman T.V. Improving the Efficiency of MLP Back Propagation Learning at the Classification of Quasi-stationary Signals (2011) *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS'2011*, 1, art. no. 6072775, pp. 365 – 368. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-82955165035&partnerID=40&md5=95ed6c20c3fc8080212709550bda5e23> DOCUMENT TYPE: *Conference Paper* SOURCE: Scopus.
6. Арсирый Е. Интенсификация работы газовой турбины за счет совершенствования аэродинамических процессов [Арсирый Е., Мазуренко А., Арсирый В., Кравченко В.] // *Politechnika Opolska, Instytut Elektrowni i Systemow Pomiarowych Publ., FORUM ENERGETYKOW GRE 2012*, 25-27.04.2012 – Szczyrk, Poland.
7. Arsiriy E., and Arsiry V. Reduction of Noise and Vibration of Turbo Machinery due to Improvement of Flowing Part, (2008), *International Symposium on Compressor & Turbine Flow Systems – Theory & Application Areas “SYMKOM’08”*. Institute of Turbomachinery Technical University of Lodz, Lodz, 15–17 September, 2008.
8. Arsiriy E., and Arsiry V. The physical method of visual diagnostics of flow structure (2009), *XII International Scientific Conference Current Issues of Civil and Environmental Engineering*, Rzeszow–Lviv–Kosice, 17–19 September 2009, Rzeszow, Poland, Z. 54, No. 266, pp. 5 – 8.
9. Goloshumova V.N., Kortenko V.V., Pokhoriler V.L., Kultyshev A.Yu., and Ivanovskii A.A. Using the CAE Technologies of Engineering Analysis for Designing Steam Turbines at ZAO Ural Turbine Works, *Thermal Engineering*, Vol. 55, Iss. 8, pp. 681 – 683. Cover Date 2008-08-01, doi 10.1134/S0040601508080090. Print ISSN 0040-6015 Online ISSN 1555-6301.
10. Li J., Yang Y., and Wei F. Knowledge based Engineering in Complicated Product Design, (2012), *International Conference on Intelligent System and Applied Material, GSAM (2012)*, Vol. 466 – 467, pp. 1135 – 1139, Taiyuan, Shanxi; China; 13 January 2012 through 15 January 2012; Code 88944. ISSN: 16609336 ISBN: 978-303785368-9 Source Type: Book series Original language: English, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.466-467.1135. Document Type: Conference Paper (In English).
11. Mihai G.A., Luiza D., and Daniela G. Modern PLM Integrated Design Tools that Meet the of Principles of Concurrent Engineering, (2010), *International Conference on System Science and Simulation in Engineering*, Proceedings, pp. 143 – 148, *9th WSEAS International Conference on System Science and Simulation in Engineering*, ICOSSE'10; Iwate; Japan; 4 October 2010 through 6; Code 85018. ISSN: 1792507X ISBN: 978-960474230-1 Source Type: *Conference Proceeding* Original language: English Document Type: *Conference Paper* (In English).
12. Prickett P., Davies G., and Grosvenor R. A SCADA Based Power Plant Monitoring and Management System, (2011), *Lecture Notes in Computer Science, 15th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems*, Vol. 6883 LNAI, Iss. PART 3, pp. 433 – 442, KES 2011; Kaiserslautern; Germany; 12 September 2011 through 14 September 2011; Code 86591 ISSN: 03029743. ISBN: 978-364223853-

6Source Type: Book series Original language: English, doi: 10.1007/978-3-642-23854-3_46. Document Type: Conference Paper.

13. Morosan A., and Sisak F. A SCADA System Designed for Making More Efficient Production in Flexible Manufacturing System, (2012), *13th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, Proceedings 2012*, Article number 6496801, pp. 409 – 413, *13th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, CINTI 2012*; Budapest; Hungary; 20 November 2012 through 22 November 2012; Category number CFP1224M-ART; Code 96765. ISBN: 978-146735206-2Source Type: Conference Proceeding Original language: English, doi: 10.1109/ CINTI.2012.6496801. Document Type: Conference Paper.

Получено 15.10.2013

References

1. Andrianova I.I. and Arsiriy V.A. Ekonomichnyj analiz energozberigajuchyh innovacij dlja teplovoi' energyky [Economic Analysis of Energy-and Resource-saving Innovations for Thermal Power], (2010), *Actual Problems of Economics Publ.*, 114 (12), pp. 33 – 44 (In Ukrainian), <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-79959418135&partnered=40&md5=ff9f60ed40a5ca0de4cb0c9b4123d661> DOCUMENT TYPE: Article.

2. Arsiriy E. A. Ierarkhicheskaya model' dannykh dlya podderzhki prinyatiya reshenii pri intensivatsii protsessov, [The Hierarchical Model of Data for Decision Support in the Intensification of the Processes of], (2013), *Elektronni ta Komp'juterni Systemy Publ.*, No. 10 (86), pp. 133 – 138 (In Russian).

3. Arsiriy E.A. Razrabotka modelei elementov gidroaerodinamicheskikh sistem na osnove sredstv intellektual'noi vizualizatsii [Development of Models of the Elements Hidroaerodinamicheskikh Systems on the Basis of Intelligent Visualization, (2013), *Journal East-European of Advanced Technologies. Energy Saving Technologies and Equipment*, Kharkov, Ukraine, Vol. 3/8(63), pp. 4 – 8 (In Russian).

4. Arsiriy E.A., Arsiriy E.A., Antoshchuk S.G., Arsiriy V.A., and Kravchenko V.I. Intel'ktual'nyi analiz pri kompleksnom modelirovaniiii dlya povysheniya nadezhnosti raboty energeticheskogo oborudovaniya [Intellectual Analysis in Complex Modeling to Improve the Reliability of Energyray Equipment], (2012), *Jurnal Naukovo-tehnichnyj Radioedektronni i komp'juterni systemy Publ.*, Kharkov, Ukraine, HAI, No. 6 (58), pp. 89 – 95 (In Russian).

5. Arsiriy E.A., Antoshchuk S.G., Arsiri V.A., and Groysman T.V. Improving the Efficiency of MLP Back Propagation Learning at the Classification of Quasi-stationary Signals, (2011), *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS'2011*, 1, art. No. 6072775, pp. 365 – 368 (In English), <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-82955165035&partnerID=40&md5=95ed6c20c3fc8080212709550bda5e23> DOCUMENT TYPE: Conference Paper SOURCE: Scopus.

6. Arsiriy E., Mazurenko A., Arsiriy V., and Kravchenko V. Intensifikatsiya raboty gazovoi turbiny za schet sovershenstvovaniya aerodinamicheskikh protsessov [Intensification Operation of a Gas Turbine at the Expense of Improvement of Aerodynamic Processes], (2012), *Politechnika Opolska Publ., Instytut Elektrowni i Systemow Pomiarowych FORUM ENERGETYKOW GRE*, 25–27.04.2012 – Szczyrk, Poland (In Russian).

7. Arsiriy E., and Arsiriy V. Reduction of Noise and Vibration of Turbo Machinery due to Improvement of Flowing Part, (2008), *International Symposium on Compressor & Turbine Flow Systems – Theory & Application Areas "SYMKOM'08"*, Institute of Turbomachinery Technical University of Lodz, Lodz, 15–17 September, 2008 (In English).

8. Arsiriy E., and Arsiriy V. The Physical Method of Visual Diagnostics of flow Structure, (2009), *XII International Scientific Conference Current Issues of Civil and Environmental Engineering*, Rzeszow–Lviv–Kosice, 17–19 September 2009, Rzeszow, Poland, Z.54, No. 266, pp. 5 – 8 (In English).

9. Goloshumova V.N., Kortenko V.V., Pokhoriler V.L., Kultyshev A.Yu., and

Ivanovskii A.A. Using the CAE Technologies of Engineering Analysis for Designing Steam Turbines at ZAO Ural Turbine Works, *Thermal Engineering Publ.*, Vol. 55, Iss. 8, pp. 681 – 683 (In English), Cover Date 2008-08-01, doi 10.1134/S0040601508080090. Print ISSN 0040-6015 Online ISSN 1555-6301.

10. Li J., Yang Y., and Wei F. Knowledge Based Engineering in Complicated Product Design, (2012), *International Conference on Intelligent System and Applied Material, GSAM 2012*, Vol. 466 – 467, pp. 1135 – 1139, Taiyuan, Shanxi; China; 13 January 2012 through 15 January 2012; Code 88944. ISSN: 16609336 ISBN: 978-303785368-9 Source Type: Book Series Original Language (In English), doi: 10.4028 /www.scientific.net/AMR.466-467.1135. Document Type: Conference Paper.

11. Mihai G.A., Luiza D., and Daniela G. Modern PLM Integrated Design Tools that Meet the of Principles of Concurrent Engineering, (2010), *International Conference on System Science and Simulation in Engineering, Proceedings*, pp. 143 – 48, *9th WSEAS International Conference on System Science and Simulation in Engineering, ICOSSSE'10*; Iwate; Japan; 4 October 2010 through 6 October 2010; Code 85018 (In English). ISSN: 1792507X ISBN: 978-960474230-1. Source Type: Conference Proceeding Original language: English, Document Type: Conference Paper.

12. Prickett P., Davies G., and Grosvenor R. A SCADA Based Power Plant Monitoring and Management System, (2011), *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 6883 LNAI, Iss. PART 3, pp. 433 – 442, *15th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems, KES 2011*; Kaiserslautern; Germany; 12 September 2011 through 14 September 2011; Code 86591. ISSN: 03029743 ISBN: 978-364223853-6. Source Type: Book series Original language (In English), doi: 10.1007/978-3-642-23854-3_46. Document Type: Conference Paper.

13. Morosan A., and Sisak F. A SCADA System Designed for Making More Efficient Production in Flexible Manufacturing System, (2012), *13th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Infor-*

matics, Proceedings 2012, Article number 6496801, pp. 409 – 413, *13th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, CINTI 2012*; Budapest; Hungary; 20 November 2012 through 22 November 2012; Category number CFP1224M-ART; Code 96765. ISBN: 978-146735206-2 Source Type: Conference Proceeding Original language (In English), doi: 10.1109/ CINTI. 2012.6496801. Document Type: Conference Paper.



Арсирый
Елена Александровна,
канд. техн. наук, до-
цент, каф. информаци-
онных систем Одесско-
го нац. политехн. ун-та

E-mail: arsiiry@te.net.ua



Антошук
Светлана Григорьевна,
д-р техн. наук, проф.,
директор ин-та компью-
терных систем, зав. каф.
информационных сис-
тем Одесского нац. по-
литехн. ун-та

Тел.: +38048-7348-584

E-mail: asg@ics.opu.ua