

## СПОСОБ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ АСУ ДЛЯ СЛОЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ершов А. А.

*Совместное предприятие в форме закрытого акционерного общества «Изготовление, внедрение, сервис» (СП ЗАО «ИВС»), Санкт-Петербург, Россия (199155, Санкт-Петербург, ул. Железноводская, д. 11, лит. А), e-mail: ershets@mail.ru*

---

В данной статье в качестве способа интеллектуализации и повышения эффективности разработки автоматизированных систем управления (АСУ), для сложных производственно-технических систем (СПТС), рассматривается создание интеллектуальной системы (ИС). Описаны структура и процесс функционирования ИС для разработки АСУ СПТС, а также метод определения критериев, характеризующих эффективность данной интеллектуальной системы. Рассматриваемая интеллектуальная система функционирует на ядре базы знаний и позволяет на основе представленных знаний в базе и заданных разработчиком требуемых параметров АСУ, создавать принципиальные схемы к проекту автоматически. В качестве основных критериев, определяющих эффективность ИС, выделены системная и пользовательская релевантности, а также время, затрачиваемое на создание принципиальных схем, с применением интеллектуальной системы. Произведена предварительная оценка эффективности ИС для разработки АСУ СПТС.

---

Ключевые слова: АСУ, САПР, интеллектуальная система, база знаний, релевантность.

## METHOD AND EVALUATION OF EFFICIENCY FOR INTELLECTUALIZATION OF CONTROL SYSTEMS DEVELOPMENT FOR COMPLEX INDUSTRIAL-TECHNICAL SYSTEMS

Ershov A. A.

*Joint venture in the form of a closed joint-stock company «Production, implementation, service» (JV CJSC «IVS»), St. Petersburg, Russia (199155, St. Petersburg, Zheleznovodskaya str., 11, lit. A), e-mail: ershets@mail.ru*

---

The article describes the creation of intelligent system as a method of efficiency increasing of control systems development for complex industrial-technical systems. Shows the structure and functioning process of intelligent system for control systems development for complex industrial-technical systems, as well as the determination method of efficiency criteria for this intelligent system. The intelligent system operates on the knowledge base core and when a user (control systems developer) sets required control system parameters in special specification form it creates principal scheme of the project automatically. The basic criteria that determine the intelligent system efficiency were formulated. There are systemic relevance, user relevance, as well as the time spent on the principal schemes creation with the use of the intelligent system. In addition, in this article the provisional efficiency estimation of the intelligent system for control systems development for complex industrial-technical systems was made.

---

Key words: Control system, CAD, intelligent system, knowledge base, relevancy.

### Введение

Для современных сложных производственно-технических систем (СПТС) характерно большое количество разнородных функционально связанных элементов, сложность и динамичность протекающих процессов. Примерами таких систем являются объекты энергетики, горной промышленности, машиностроения, транспорта и др.

На создание автоматизированных систем управления (АСУ) для СПТС затрачиваются огромные интеллектуальные и временные ресурсы. И одна из возможностей оптимизации существующих средств разработки АСУ заключается в создании интеллектуальной системы (ИС), функционирующей на основе базы знаний (БЗ). Эта система позволит автоматически,

на основе заданных параметров АСУ, создавать принципиальные схемы к проекту. И в этом случае разработчик, использующий такую систему, сможет работать при гораздо более высоком уровне автоматизации проектирования, чем уровень современных систем автоматизированного проектирования (САПР) [1, 3, 4].

Целью исследования является повышение эффективности процесса разработки АСУ для сложных производственно-технических систем за счет интеллектуализации данного процесса. Научной задачей на данном этапе исследования являлась разработка структуры и описание процесса функционирования интеллектуальной системы для разработки АСУ сложных производственно-технических систем, а также метода определения критериев, характеризующих эффективность рассматриваемой ИС.

### Методы исследования

Методами исследования являются методы таких научных дисциплин как системный анализ, информатика, теория искусственного интеллекта, инженерия знаний, компьютерные и информационные технологии.

### Результаты исследования

В качестве способа интеллектуализации и повышения эффективности разработки АСУ для СПТС рассмотрено создание интеллектуальной системы. Основные отличия подобной интеллектуальной системы от традиционных САПР заключаются в высоком уровне автоматизации модульного проектирования, возможности самообучения системы и в работе с информацией на семантическом уровне. Была предложена следующая структура ИС для разработки АСУ СПТС (рис. 1):

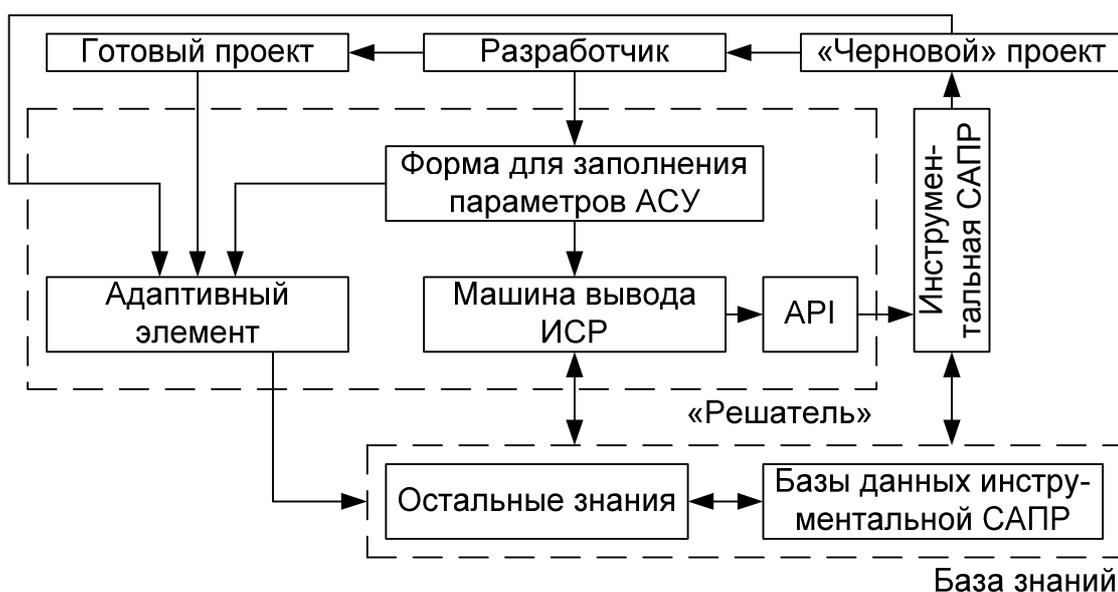


Рис. 1. Структура интеллектуальной системы для разработки АСУ СПТС

Рассматриваемая ИС состоит из инструментальной САПР, функциональной оболочки БЗ (так называемого «решателя») и непосредственно самой БЗ. Все элементы системы информационно связаны друг с другом.

В качестве базовой системы при создании ИС для разработки АСУ СПТС целесообразно использовать уже существующую, привычную для пользователей САПР, так как вопросы визуализации, обработки инженерной графики и пользовательского интерфейса в такой системе уже успешно решены, кроме того работа с известной системой будет предпочтительна для большинства пользователей. Целесообразным представляется использование существующих баз данных (БД) и инструментальных средств базовой системы для представления знаний ИС. Поэтому базовая система проектирования обозначена как инструментальная САПР. А обеспечить связь между машиной вывода «решателя» и инструментальной САПР можно посредством интерфейса программирования приложений API (от англ. application programming interface).

Коротко опишем процесс функционирования ИС для разработки АСУ СПТС. Пользователь ИС (разработчик АСУ) вносит требуемые характеристики в форму для заполнения параметров АСУ, где в качестве формы могут выступать табличные формы и / или уже разработанные структурные схемы и т.п. Далее, на основе заданных параметров и имеющихся знаний в базе формируется «черновой» проект. И после изучения автоматически сформированных принципиальных схем, пользователь, при необходимости, исправляет или дополняет их, а затем сохраняет. Причем важнейшей задачей ИС является обеспечение данного процесса таким образом, чтобы разработчик именно добавлял уникальные, не поддающиеся формализации решения, а не исправлял автоматически сформированные. После сохранения проекта происходит автоматическое обновление базы знаний (на основе алгоритма самообучения, реализованного в адаптивном элементе) [4].

С учетом общих требований к БЗ, работающим в составе ИС [5], а также структуры и принципа функционирования рассматриваемой ИС, были сформулированы базовые принципы представления знаний в базе знаний ИС для разработки АСУ СПТС: релевантность, достоверность, непротиворечивость и однозначная интерпретируемость, соответствие существующим стандартам, сведение к минимуму наличия эквивалентных типовых решений, минимальность типовых решений, единство стилей при представлении инженерной графики. Реализация данных принципов в сочетании с применением разработанной методологии получения и представления знаний [2] обеспечивает следующее необходимое условие в работе рассматриваемой ИС: разработчик будет только добавлять уникальные решения в «черновой» проект, а не исправлять автоматически сформированные

принципиальные схемы. Это, в том числе, дало возможность представить метод оценки эффективности ИС для разработки АСУ СПТС в существующем виде.

В первую очередь, чтобы была ясна суть метода определения критериев, характеризующих эффективность рассматриваемой ИС, следует отметить, что на этапе получения знаний для создания базы знаний рассматриваемой ИС выделяются два вида элементов, используемых в генерации «чернового» проекта: изделия, используемые в разработке, и типовые функциональные узлы принципиальных схем АСУ СПТС.

Эффективность создаваемых интеллектуальных систем, функционирующих на основе БЗ, оценивают по двум основным группам критериев: качества работы и полезности [5]. Опишем метод определения критериев, характеризующих эффективность рассматриваемой интеллектуальной системы.

Основным критерием качества работы интеллектуальной системы для разработки АСУ сложных производственно-технических систем выбрана *системная релевантность*  $R_S$  (безразмерная величина, принимающая значения от нуля до единицы):

$$R_S = \frac{\sum_{i=1}^N r_i}{N}, \quad (1)$$

где  $R_S$  – системная релевантность ИС, определяемая для некоторого заданного набора параметров АСУ;

$r_i$  – степень соответствия (безразмерная величина, принимающая значения от нуля до единицы) между заданным набором параметров АСУ и полученным результатом в ИС для  $i$ -го узла принципиальной схемы;

$N$  – общее число узлов в требуемой схеме.

В ходе исследования сформулирован следующий способ оценки  $r_i$ : она будет равна нулю, если в схеме, которая была получена при использовании ИС по сравнению со схемой, восстановленной экспертом по заданному набору параметров АСУ, присутствует хотя бы одно ошибочное соединение между изделиями или хотя бы одно изделие, которого нет в схеме эксперта. Иначе, определяем  $r_i$  по следующему выражению:

$$r_i = \min\left(\frac{Cp_i}{Ce_i}, \frac{Izp_i}{Ize_i}\right), \quad (2)$$

где  $Cp_i$  – количество совпадающих соединений между схемой, восстановленной экспертом по заданному набору параметров АСУ, и полученной схемой в ИС для  $i$ -го узла принципиальной схемы;

$Ce_i$  – количество соединений между изделиями в восстановленном экспертом  $i$ -ом узле принципиальной схемы;

$Izp_i$  – количество совпадающих изделий между схемой, восстановленной экспертом по заданному набору параметров АСУ, и полученной схемой в ИС для  $i$ -го узла принципиальной схемы;

$Ize_i$  – количество изделий в восстановленном экспертом  $i$ -ом узле принципиальной схемы.

Таким образом,  $R_S$  показывает степень эффективности в реализации предложенных подходов в построении БЗ и самой ИС. Но для того чтобы оценить степень полезности ИС для пользователя, необходимо учесть также задаваемые параметры точности представления знаний, то есть насколько потеряна уникальность схемотехнических решений при построении БЗ.

В качестве базового критерия полезности интеллектуальной системы для разработки АСУ сложных производственно-технических систем предложена *пользовательская релевантность*  $R_P$ , которая показывает, какая часть из готовых принципиальных схем проекта была получена автоматически и вошла в итоговый вариант без корректировок разработчиком:

$$R_P = \frac{k_A \cdot \sum_{i=1}^N p_i \cdot r_i}{N}, \quad (3)$$

где  $R_P$  – пользовательская релевантность ИС, определяемая для некоторого заданного набора параметров АСУ;

$k_A$  – точность представления знаний, определяемая на этапе представления знаний с применением метода «интеллектуальное зеркало» (в соответствии с принципом Парето – 80 %, то есть  $k_A = 0,8$ );

$p_i$  – часть знаний из множества для  $i$ -го узла, внесенная в БЗ в соответствии с заданной точностью представления знаний ( $p_i$  = количество элементов в соответствии с точностью/общее количество элементов);

$r_i$  – степень соответствия между заданным набором параметров АСУ и полученным результатом в ИС для  $i$ -го узла принципиальной схемы (в соответствии с выражением (2));

$N$  – общее число узлов в требуемой схеме.

Таким образом,  $R_p$  показывает степень полноты принципиальных схем «чернового» проекта относительно итогового варианта принципиальных схем готового проекта. И выражение  $(1 - R_p)$  – это условная разница между «черновым» и готовым проектами. Соответственно, можно прогнозировать время, затрачиваемое на разработку принципиальных схем в интеллектуальной системе для разработки АСУ СПТС. Этот критерий имеет большое практическое значение и является еще одним критерием, определяющим полезность ИС:

$$t_I = (1 - R_p) \cdot t_S, \quad (4)$$

где  $t_I$  – время, затрачиваемое разработчиком на создание принципиальных схем с применением ИС;

$R_p$  – пользовательская релевантность ИС;

$t_S$  – время, затрачиваемое разработчиком на создание принципиальных схем, с применением инструментальной САПР.

Таким образом, при  $R_S = 1$  (при максимально эффективной реализации предложенных подходов в построении ИС), с учетом заданной точности представления знаний и достижения максимальной величины для части знаний, внесенных в БЗ в соответствии с заданной точностью представления знаний (для области разработки АСУ в целом, по экспертной оценке, средний максимум может достигать –  $\sum p_i/N = 0,9$ ), получим:  $R_p = 0,72$ . То есть теоретически максимальное сокращение времени разработки принципиальных схем при использовании ИС по сравнению с инструментальной САПР *составляет 3,6 раза* [4].

### **Заключение**

В ходе исследования была решена научная задача, а именно: разработана структура и описан процесс функционирования интеллектуальной системы для разработки АСУ сложных производственно-технических систем, предложен метод определения критериев, характеризующих эффективность рассматриваемой интеллектуальной системы, который может быть рассмотрен к применению и для других подобных систем.

Была проведена предварительная оценка эффективности ИС, показавшая, что теоретически максимальное сокращение времени разработки принципиальных схем при использовании ИС по сравнению с инструментальной САПР *составляет 3,6 раза*.

Кроме того, следует отметить, что применение интеллектуальной системы для разработки АСУ СПТС обеспечивает не только увеличение скорости разработки, но и дает возможность проводить предварительную оценку вероятных технических решений в проекте, возможность наглядно оценить объемы проектирования и сделать предварительный

расчет стоимости работ, выдав в сжатые сроки коммерческое предложение, что будет являться важным конкурентным преимуществом любой инжиниринговой компании.

### Список литературы

1. Ершов А. А. Интеллектуальная система проектирования автоматизированных систем управления трубопроводным транспортом // Транспорт Российской Федерации. – 2011. – № 4 (35). – С. 76–78.
2. Ершов А. А. Метод точных опорных концептов получения знаний // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Транспорт России: проблемы и перспективы. – 2010». – СПб.: ИПТ РАН, 2010. – С. 236–238.
3. Ершов А. А. Обеспечение безопасности транспортных комплексов с использованием интеллектуальных систем // Избранные материалы докладов и выступлений международного форума «Безопасность транспортных комплексов». – СПб.: «СИВЕЛ», 2010. – С. 64–65.
4. Ершов А. А., Любиченко А. А. Оптимизация процессов разработки автоматизированных систем управления технологическими процессами // Горный журнал. – 2012. – № 11. – С. 80–83.
5. Искандеров Ю. М. Создание баз знаний интеллектуальных систем. – МО РФ, 2003. – 233 с.

### Рецензенты:

Дегтярев Владимир Михайлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Инженерной Машинной Графики» ФГОБУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», г. Санкт-Петербург.

Искандеров Юрий Марсович, доктор технических наук, профессор, генеральный директор ООО «Инновационный центр транспортных исследований», г. Санкт-Петербург.