

# ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗНАНИЯМИ KMS ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАЗРАБОТКИ ПО АСУ ТП

## CONSTRUCTION OF A KNOWLEDGE MANAGEMENT SYSTEM MODEL (KMS) FOR SOLVING PROBLEMS OF APCS DEVELOPMENT

I. Krutokhvostov  
D. Krutokhvostov

*Summary.* The context of the constant development of APCS technologies, a shortage of qualified engineers and stricter requirements for safety and reliability, the need for systematic work with engineering knowledge is increasing. In accordance with modern requirements, the task of introducing effective knowledge management systems (Knowledge Management Systems) into APCS production processes is becoming more and more important. The purpose of this work is to substantiate and empirically evaluate the effect of introducing a knowledge management system (KMS) into the APCS software development process by proposing a model that considers the specifics of working with APCS software projects. The article proposes a target architecture of a knowledge management system (KMS) for APCS software development, focused on the reuse of engineering data, reducing the time spent on information search and improving the quality of solutions. To solve this problem, the following knowledge management models are considered: SECI, Wiig, Probst, and the stages of knowledge dissemination in the context of APCS software development are described. Based on the considered knowledge management models, a four-layer conceptual model of a knowledge management system (KMS) is proposed. For each level, a functional purpose and data sources are defined. A list of formalized KMS performance metrics has been compiled, which allow for a quantitative assessment of the effectiveness of the KMS knowledge management system.

*Keywords:* knowledge management system, KMS, KMS.

**Крутохвостов Игорь Григорьевич**

аспирант,

Брянский государственный технический университет

krutohvostovig@semgroup.ru

**Крутохвостов Денис Григорьевич**

аспирант,

Брянский государственный технический университет

krutohvostovdg@semgroup.ru

*Аннотация.* В условиях постоянного развития технологий АСУ ТП, дефицита квалифицированных инженеров и ужесточения требований к безопасности и надежности возрастает потребность в системной работе с инженерными знаниями. В соответствии с современными требованиями на первый план выходит задача внедрения в процессы производства АСУ ТП эффективных систем управления знаниями (Knowledge Management System). Цель работы — обосновать и эмпирически оценить эффект от внедрения системы управления знаниями KMS в процесс разработки программного обеспечения АСУ ТП, предложив модель, учитывающую специфику работы с проектами ПО АСУ ТП. В статье предложена целевая архитектура системы управления знаниями (KMS) для разработки программного обеспечения АСУ ТП, ориентированная на повторное использование инженеринговых данных, снижение временных затрат на поиск информации и повышение качества решений. Для решения задачи рассмотрены модели управления знаниями: SECI, Wiig, Probst, а также описаны этапы распространения знаний в контексте разработки ПО для АСУ ТП. На основе рассмотренных моделей управления знаниями предложена четырехслойная концептуальная модель системы управления знаниями (KMS). Для каждого уровня определено функциональное назначение, а также источники данных. Сформирован перечень формализованных метрик эффективности KMS, которые позволяют количественно оценить эффективность работы системы управления знаниями KMS.

*Ключевые слова:* система управления знаниями, KMS, СУЗ.

### Введение

**А**ктуальность темы. Для качественной разработки программного обеспечения современных АСУ ТП требуется комплекс знаний в различных предметных областях — технологические процессы, стандарты и алгоритмы программирования ПЛК/SCADA, эксплуатация и проведение пусконаладочных работ АСУ ТП, информационная безопасность и др.

В этих условиях на первый план выходит задача развития и внедрения в процесс разработки ПО АСУ ТП эф-

фективных систем управления знаниями (KMS), которые позволяют систематизировать и сохранить накопленный опыт, обеспечить его доступность. Применение KMS, является неотъемлемой частью процесса организационного развития предприятия [1] Однако в большинстве случаев, KMS внедряются фрагментарно, не системно, что приводит к низкой эффективности их использования [2].

Принимая во внимание специфику жизненного цикла АСУ ТП, остро стоит вопрос о поиске модели KMS для возможности встраивания ее в процесс разработки и поддержки ПО АСУ ТП на всех этапах, для обеспечения

быстрого поиска и доступа к информации (технологические регламенты, стандарты, функциональные блоки и библиотеки для ПЛК, SCADA, инструкции).

*Цель и задачи исследования.* Спроектировать и обосновать модель KMS для разработки ПО АСУ ТП, определить критерии её эффективности и предложить методику оценки на основе различных показателей (организационных, инженерных и экономических).

*Объект и предмет исследования.* Объектом исследования является компания — разработчик ПО для автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП) на объектах промышленности. Предметом исследования является разработка концептуальной модели системы управления знаниями KMS для разработки ПО и анализ ее эффективности.

*Методы исследования.* В качестве методологии используется комплексный подход оценки моделей управления знаниями, их применение в контексте разработки ПО для АСУ ТП, с учетом возможности практической реализации.

## 1. Теоретические основы применения KMS

Разработка программного обеспечения для АСУ ТП сопровождается рядом специфических проблем, связанных с распределённостью знаний и сложностью их структурирования. В традиционных подходах значительная часть критически важной информации (результаты испытаний, решения по построению системы, особенности интеграции с технологическим оборудованием) хранится в неформализованном виде: в личных документах инженеров и программистов, устных обсуждениях. Это приводит к дублированию ошибок, потере знаний при смене персонала и трудностям в процессе поддержки ПО на протяжении жизненного цикла АСУ ТП.

KMS (Knowledge Management System) — это система управления знаниями, обеспечивающая систематическое накопление, структурирование, распространение и использование знаний в организации с целью повышения эффективности деятельности и сохранения интеллектуального капитала [5].

Использование систем управления знаниями (KMS) при разработке ПО изучают более двух десятилетий. За этот период доказано их положительное влияние на конечный результат за счет использования практики работы с явными и неявными знаниями, электронных образовательных ресурсов, обмена информацией в сообществе практиков и механизмов повторного использования знаний [9–12,8,14].

Можно выделить следующие основные задачи, которые подлежат решению KMS в контексте разработки ПО АСУ ТП:

- Систематизация инженерных знаний (использование типовых решений, шаблонов программ для ПЛК/SCADA, библиотек ПЛК/SCADA, документации по интеграции датчиков, приводов и др.).
- Доступ к экспертным знаниям (фиксация опыта ключевых сотрудников, передача его через сообщества практиков, вики-системы, форумы)
- Интеграция с процессом разработки (использование связи с CI/CD, системами управления версиями (Git), баг-трекерами (Jira), системами моделирования (MATLAB, Simulink))
- Поддержка требований безопасности и нормативов (соблюдения стандартов (ГОСТ, IEC, ISA и др.), фиксация результатов тестирования, процедур реагирования на инциденты)
- Повышение эффективности и повторного использования решений (использование типовых модулей и проверенных решений).

Ключевую роль в функционировании системы управления знаниями KMS играет выбор модели управления, которая представляет собой концептуальный подход, объясняющий, как знания создаются, передаются, хранятся и используются в организации. Для разработки программного обеспечения чаще всего комбинируют следующие модели:

- SECI-модель (для обмена опытом и обучения);
- Wiig-модель (для систематизации и хранения).
- Probst-модель (для постановки целей и измерения результатов).

Модель SECI (Socialization Externalization Combination Internalization) описывает циклическое преобразование неявных знаний (опыт программистов, проектировщиков, наладчиков) и явных знаний (стандарты написания программного кода ПЛК, шаблоны HMI, карты настройки и выполнения проверок АСУ ТП) [12, 15]. Согласно данной модели, порядок распространения знаний внутри организации проходит 4 основных этапа (социализация, экстернализация, комбинация, интернализация).

Для внедрения модели SECI в процесс разработки АСУ ТП необходимо выполнение ряда условий, включая:

- организационные условия (регламент обмена знаниями, назначение «администраторов», курирующих различные направления, мотивация участников, формирование культуры знаний);
- технические условия (наличие инфраструктуры для организации хранилищ инструкций, решений, типовых модулей; форумов, чатов, возможности интеграции со сторонними системами: Git, Jira и др., LMS-система).

Для повышения управляемости контента и метрик качества знаний в KMS целесообразно дополнить модель SECI моделями Wiig или Probst.

В рамках модели Wiig работа со знанием организует-ся в операционный цикл «создание-сохранение-объединение/распространение-применение», при этом знания структурируются по критериям качества: полноте, корректности, связности и доступности [3]. В контексте разработки ПО АСУ ТП это означает последовательную фиксацию инженерного опыта (шаблоны ПЛК/SCADA, HMI), централизованное хранение знаний в корпоративных репозиториях, распространение через портал, а также повторное использование знаний в проектах. Таким образом, модель Wiig задаёт инженерно-практическую основу функционирования KMS, обеспечивая воспроизводимость и доступность знаний внутри проектных и эксплуатационных команд.

Согласно модели Probst, система управления знаниями должна быть ориентирована на достижение стратегических и оперативных целей знания и обеспечивать их интеграцию в деятельность организации через систему показателей и процессы работы со знаниями [13]. Процесс распространения знаний проходит через восемь взаимосвязанных этапов: постановку целей, идентификацию, приобретение, разработку, распространение, использование, сохранение и измерение. При применении данной модели в KMS для разработчиков ПО АСУ ТП формируется организационно-управленческий каркас. Он включает: постановку целей управления знаниями (увеличение повторного использования библиотек и снижение ошибок на этапах разработки); определение процессов идентификации и развития критически важных знаний (по используемому оборудованию, промышленным протоколам, системам функциональной безопасности); регламенты их распространения и использования, а также процедуры контроля качества и систему оценки эффективности.

## 2. Концептуальная модель KMS для разработки ПО АСУ ТП

Целью разработанной концептуальной модели является обеспечение полного жизненного цикла инженерных знаний в сфере разработки ПО АСУ ТП — от их возникновения и формализации до повторного использования и оценки эффекта.

Предлагаемая архитектура KMS (рисунок 1) базируется на четырёхслойной модели, обеспечивающей полный цикл обращения знаний: от их формирования до анализа эффективности использования.

Слой источников знаний является фундаментом KMS и содержит всю полезную информацию, включая, используемую, а также создаваемую в ходе разработки ПО и внедрения ее в АСУ ТП. К данной информации можно отнести:

- нормативная, проектная документация, стандарты;

- библиотеки функциональных блоков ПЛК, шаблоны SCADA/ HMI, типовые проекты различных АСУ ТП;
- документация на оборудование различных производителей;
- результаты испытаний, отчеты, инструкции.

Таким образом, данный слой аккумулирует как формализованные знания (код, схемы, требования), так и неформализованные знания (отчёты, замечания, опыт предыдущих проектов). Систематизация таких источников является первым шагом к построению интеллектуальной инфраструктуры предприятия [7].

Слой интеграции и нормализации отвечает за преобразование и унификацию данных, поступающих из различных источников. С помощью интерфейсов обмена и процедур ETL/ELT выполняются извлечение, очистка, нормализация и дедупликация информации, а также формируется единая метамодель инженерных данных. Важной функцией этого уровня является учет изменений, который позволяет отслеживать эволюцию знаний во времени. Внедрение формализованных процедур нормализации знаний позволяет сократить количество дублирующихся данных на 30–40 % и повысить повторное использование проектных решений [6].

Слой знаний и поиска выполняет роль «интеллектуального ядра» системы. Здесь создаётся структура знаний предметной области АСУ ТП, описывающая связи между такими сущностями, как сигнал, ПЛК, SCADA/ HMI, информационная безопасность. На основе данной структуры строится граф знаний, объединяющий информацию из различных проектов, функциональных блоков, библиотек, схем, требований нормативных документов и стандартов, а также отчётов, инструкций. Это даёт возможность полнотекстового и семантического поиска, а также получать аналитические рекомендации на основе имеющихся данных. Например, для заданного набора сигналов и оборудования, система может автоматически определить и рекомендовать подходящий функциональный блок. Такой подход позволяет использовать накопленные знания, чтобы в значительной степени автоматизировать и ускорить процесс разработки АСУ ТП [4].

Слой приложений и интерфейсов обеспечивает взаимодействие пользователей с системой и представляет собой совокупность веб-сервисов, API, пользовательских порталов и специализированных модулей, интегрированных в рабочие инструменты разработчиков ПО АСУ ТП. Доступ к системе реализуется через:

- веб-портал KMS (поиск, отчёты, шаблоны);
- инструменты для встраивания в IDE ПЛК, HMI, SCADA;
- API для интеграции с DevOps-процессами.



Рис. 1. Архитектура KMS для разработки ПО АСУ ТП

Разработанная четырёхслойная концептуальная модель системы управления знаниями KMS для разработки ПО АСУ ТП логически соотносится с моделями управления знаниями SECI, Wiig и Probst. В терминах модели SECI она охватывает все стадии преобразования знаний: социализацию (обмен опытом между инженерами), экстернализацию (структурирование знаний через ETL и метаданные), комбинацию (интеграция источников в граф знаний) и интернализацию (применение через интерфейсы и рекомендации). По модели Wiig система отражает переход от данных к компетенциям: источники знаний — это данные, интеграция — обработка информации, слой знаний — формирование знаний, интерфейсы — применение и развитие компетенций. Согласно модели Probst, архитектура KMS охватывает все основные блоки управления знаниями — от идентификации и накопления до использования и оценки, что обеспечивает полный цикл управления инженерными знаниями в АСУ ТП.

Таким образом, разработанная модель KMS интегрирует подходы SECI, Wiig и Probst, связывая процессы создания, хранения и применения инженерных знаний в единую архитектурную систему. Она обеспечивает как когнитивную (передача опыта), так и технологическую (автоматизация поиска, механизмы повторного использования решений и др.) стороны управления знаниями, что делает её практически применимой в инженерных организациях.

### 3. Критерии оценки эффективности KMS

Оценка эффективности системы управления знаниями KMS для разработки ПО АСУ ТП должна опираться на фиксируемые события: журналы KMS, поисковые запросы, обращения к данным (библиотеки ПЛК, шаблоны HMI/SCADA), оценка результативности от использования знания.

Цель измерений — количественно подтвердить вклад KMS в повышение скорости и качества процесса разработки ПО АСУ ТП, а также в снижение совокупных затрат на выполнение работ по разработке ПО АСУ ТП.

В качестве ключевых метрик эффективности применения KMS в процессе разработки ПО для АСУ ТП принимаются пять показателей: время поиска решения, доля повторного использования, доля активных пользователей в месяц, доля материалов с полными метаданными, количество ошибок по результатам испытаний.

*Время поиска решения (T)* определяется как медиана длительности от момента начала целевого запроса/поиска в KMS до первого принятого решения (просмотр и последующее использование информации, либо решение задачи со ссылкой на данные):

$T = \text{median}_i(t_{\text{решение}(i)} - t_{\text{поиск}(i)})$ , по сессиям, завершившимся использованием данных KMS.

*Интенсивность повторного использования.* Доля задач, решенных с применением уже имеющихся данных (библиотеки ПЛК, шаблоны HMI/SCADA) к общему числу решенных задач:

$$R_{\text{повт. использования}} = \frac{N_{\text{решенных задач с помощью KMS}}}{N_{\text{всех решенных задач}}}$$

Повторное использование имеющихся данных фиксируется при переходе по ссылке на данные, а также при использовании библиотек ПЛК, шаблонов HMI/SCADA.

*Вовлеченность пользователей.* Доля сотрудников, совершивших за месяц  $\geq N$  результативных действий в KMS (поиск, просмотр, загрузка, комментирование, добавление/обновление данных):

$$MAU = \frac{100 * |\{u : a_u(\text{месяц}) \geq N\}|}{N_{\text{пользователей}}}$$

*Качество описаний знаний в KMS.* Доля данных, у которых заполнены все обязательные поля качества данных: название; владелец; версия; область/объект (оборудование/ПЛК/протокол); теги; дата актуализации; ссылка на исходники/тесты; области применения:

$$Q_{\text{данные}} = \frac{N_{\text{требуют обновления}}}{N_{\text{полностью заполненным}}}$$

*Количество ошибок по результатам испытаний.* В качестве данного показателя выступает нормированная доля зарегистрированных ошибок (дефектов) на различных этапах приемки АСУ ТП (заводские приемо-сдаточные испытания, ПНР, комплексное опробование и введение в эксплуатацию) на 1000 сигналов:

$$E_{1000} = 1000 * \frac{N_{\text{ошибок}}}{N_{\text{сигналов}}}$$

### Результаты исследования

В ходе исследования, сформирована и обоснована концепция применения системы управления знаниями (KMS) для задач разработки программного обеспечения АСУ ТП, с учётом междисциплинарного характера работ, дефицита квалифицированных специалистов и требований к соблюдению отраслевых стандартов.

На основе комбинации подходов управления знаниями — SECI, Wiig, Probst — предложена четырёхслойная модель, обеспечивающая полный цикл обращения знаний — от их формализации и объединения до прикладного использования разработчиками.

Совокупно полученные результаты обеспечивают методическую, организационную и техническую базу для внедрения KMS в процесс разработки ПО АСУ ТП на предприятии: разработана целевая архитектура, согласованная с теориями управления знаниями; опреде-

лён измеримый набор показателей эффективности; описаны механизмы интеграции и управления качеством знаний; заданы ориентиры ожидаемого эффекта, подлежащие проверке в опытной эксплуатации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бурланков С.П., Петренко М.Ю., Бурланков П.С., Комаров В.А. Формирование системы управления знаниями как направление организационного развития промышленного предприятия // Вестник РЭУ им. Г. В. Плеханова — 2023. — № 4. — С. 202–212.
2. Зимова Н.С. Особенности внедрения системы управления знаниями в российских компаниях // Научный результат. Социология и управление. Т. 5, № 3, 2019.
3. Ильин И.В., Лёвина А.И., Ажеганова Е.Н. Обзор моделей управления знаниями // KANT. 2021. № 3(40). С. 20–25. DOI: 10.24923/2222-243X.2021–40.4.
4. Кочуров В.А. Методика создания баз распределённых инженерных знаний // Информатика. — 2017. — № 4(56). — С. 43–53.
5. Стукалова Д.Н. Управление знаниями: теоретические подходы в научных исследованиях // Социально-гуманитарные знания. — 2014. — № 2. — С. 47–52.
6. Семенов Н.А., Бурдо Г.Б., Воронцов Н.В. Подходы к созданию онтологий для автоматизированных систем в машиностроительных производствах // Программные продукты и системы. — 2020. — Т. 33, — №2. — С. 47–53. DOI: 10.15827/0236-235X.130.304-309.
7. Ясинский Д.Ю. Разработка системы управления знаниями на промышленном предприятии // Креативная экономика. — 2023. — Т. 17, № 1. — С. 349–368. DOI: 10.18334/ce.17.1.116993.
8. Abdellatif T.M., Capretz L.F., & Ho D. Automatic recall of software lessons learned for software project managers // Information & Software Technology, 2019. — P. 44–57. DOI: 10.1016/j.infsof.2019.07.006.
9. Alavi M., Leidner D.E. Review: Knowledge Management and Knowledge Management Systems: Conceptual Foundations and Research Issues. MIS Quarterly, 2001. — P. 107–136. DOI: 10.2307/3250961.
10. Bjornson F.O., Dingsoyr T. Knowledge management in software engineering: A systematic review of studied concepts, findings and research methods used. Information & Software Technology, 2008. — С. 1055–1068. DOI: 10.1016/j.infsof.2008.03.006.
11. Dalkir K. Knowledge Management in Theory and Practice (3rd ed.). MIT Press, 2017.
12. Nonaka I., Takeuchi H. The Knowledge-Creating Company. Oxford University Press, 1995.
13. Probst G.J.B., Raub S., Romhardt K. Managing Knowledge: Building Blocks for Success. — New York: John Wiley & Sons, 2000. — 368 p.
14. Rus I., Lindvall M. Knowledge Management in Software Engineering. IEEE Software, 2002. — P. 26–38. DOI: 10.1109/MS.2002.1003450.
15. Wenger E. Communities of Practice: Learning, Meaning, and Identity. Cambridge University Press, 1998. DOI: 10.1017/CB09780511803932.