

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ**  
**INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS**

**УДК 004.588**

**DOI: 10.21822/2073-6185-2022-49-2-76-86**

Оригинальная статья /Original Paper

**Метод построения обучающего курса САПР**

**Хоанг Конг Кинь**

Верфь X52,

провинция Биньзыонг, г. Зиан, ул. Кай За Це, 15/2, Вьетнам

**Резюме. Цель.** В современных условиях развития электронной промышленности одним из стратегических направлений развития организаций является обучение персонала. Затраты на обучение и возможность их реализации в условиях пандемии COVID-19 являются существенными. Целью этой работы является повышение эффективности деятельности проектировщиков в системах автоматизированного проектирования модулей на основе печатных плат (ПП) за счет формирования адаптивного сценария обучения и рекомендаций в соответствии с индивидуальными особенностями проектировщика. **Метод.** В статье проведен обзор методов и систем формирования содержания САПР в различных отраслях, предлагаемые для создания обучающей системы, обновляемые в режиме реального времени, что позволит повысить квалификацию проектировщиков без отрыва от производства. **Результат.** Разработана структура автоматизированной обучающей системы (АОС), отличающаяся моделью предметной области, профилем обучаемого, сценарием обучения и адаптации. Разработан метод построения обучающего курса САПР на предприятии приборостроительной отрасли, отличающийся использованием механизмов взаимодействия моделей обучения, с учетом индивидуальных характеристик обучаемого для формирования адаптивного сценария обучения, позволяющий предоставлять оптимальную траекторию обучения обучаемому с сокращением времени обучения. Исследуемый метод применяется для повышения квалификации проектировщиков по курсу «Проектирование модулей на основе ПП» на верфи X52 во Вьетнаме. В качестве результатов экспериментов можно заключить следующие: эффективность повышения уровня компетенций проектировщиков на 11,3%, чем традиционный метод, с сокращением общего времени обучения на 25,4%, снижение расходов на дополнительное обучение новых проектировщиков. **Вывод.** Полученные результаты доказывают необходимость разработки адаптивной обучающей системы на основе данного метода построения обучающего курса САПР проектирования модулей на основе ПП. Адекватность данного метода ранее подтверждена экспериментальными данными и предыдущими исследованиями.

**Ключевые слова:** метод построения обучающего курса, автоматизированное проектирование, адаптивное обучение

**Для цитирования:** Хоанг Конг Кинь. Метод построения обучающего курса САПР. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2022; 49 (2): 76-86. DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-2-76-86

**Method for constructing a CAD training course**

**Hoang Cong Kinh**

Shipyards X52,

15/2, Cay Da Xe, Binh Duong, Di An, Vietnam

**Abstract. Objective.** In the development of the electronic industry, one of the strategic directions for the development of organizations is personnel training. The costs of training and the implementation of training courses in the context of the COVID-19 pandemic are significant. The purpose of this work is to increase the efficiency of engineers' activities in computer-aided modular design systems based on printed

circuit boards (PCB) through the formation of the necessary competencies and recommendations for the designer. **Method.** The article provides an overview of methods and systems for the formation of CAD content in various industries. It is proposed to create a training system updated in real time, which will improve the skills of engineers and overcome gaps in production. The structure of an automated learning system (AOS) is developed. What makes this structure different from others is an ontological model domain and an adaptive model. An adaptive method has been developed for constructing a CAD training course for enterprises in the instrument manufacturing industry, which is distinguished by the use of mechanisms for the interaction of learning models. The individual characteristics of the engineer being trained to form an adaptive learning scenario are taken into account in these learning models. This allows providing the optimal learning trajectory to the student with a reduction in learning time. **Result.** This research method is used to improve the skills of engineers in the course "Design of modules based on PP" at the X52 shipyard in Vietnam. As the results of the experiments, we can achieve a result that this effective method increases the level of engineering competence by 11.3% and decreases the total training time by 25.4 % compared to the traditional method. Moreover, this method also reduces the cost of additional training for new engineers. **Conclusion.** The obtained results demonstrate the need to develop an adaptive training system. Thank to this method, the competency of the software-based modular design engineers will be developed. The adequacy of this method has been previously confirmed by the experimental data and the previous studies.

**Keywords:** training course construction method, computer-aided design, adaptive learning

**For citation:** Hoang Cong Kinh. Method for constructing a CAD training course. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science. 2022; 49(2): 76-86. DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-2-76-86

**Введение.** В условиях ужесточения требований к качеству, надежности и эффективности эксплуатации современных средств и изделий важнейшую роль в технологических процессах выполняет инженер - проектировщик. При этом ставятся задачи автоматизации указанных процессов, а также создания и развития цифровых технологий и интеллектуальных производств, что подтверждается следующими публикациями.

В [1] описана методология анализа и контроля безопасности судна как сложной организационно-технической системы. В работе предложены методы снижения опасности эксплуатации и длительного хранения сложных организационно-технических систем с научной, технической, эргономической и экономической точек зрения. Предложено решение проблемы эксплуатации судов на основе реализации организационно-технических мероприятий, технического обслуживания и ремонта, обучения персоналам. Однако обеспечение безопасности судов являются задачами проектировщиков, строителей и эксплуатирующих их организаций, что не позволяет в полной мере описывать методологию анализа и контроля безопасности судов.

В [2] рассмотрена задача автоматизации информационно-аналитической поддержки жизненного цикла сложных объектов. В работе предложено использовать комбинированные модели и методы теории искусственного интеллекта для системы автоматизированного проектирования прикладного программного обеспечения с целью решения поставленной задачи. Использована онтологическая система в интеллектуальной системе автоматизированного проектирования прикладного программного обеспечения, позволяющая создавать взаимосвязанную расширяемую систему моделей с различными аспектами предметной области. Разработана модель представлений знаний, которая позволяет извлечь и формировать знания экспертов на всех этапах жизненного цикла проектирования, осуществлять интеграцию разнородных данных на этапах жизненного цикла изделий.

В [3] разработаны методы и средства компьютерных систем обучения автоматизированному проектированию машиностроительных объектов. Предложены адаптивные обучающие системы с методом синтеза траектории обучения, метод корректировки профиля обучаемого

посредством автоматического анализа выполненных им операций в программных средствах, которые позволяют сократить время и повысить эффективность процесса обучения. Разработаны модели обучающей системы и метод формирования рекомендаций и корректировки профиля обучаемого на основе выполнения практических заданий, которые позволяют повысить эффективность практической подготовки.

Работа [4] посвящена описанию метода формирования и использования цифрового паспорта электронного изделия на предприятиях приборостроительной отрасли. Метод основан на формировании обобщенных проектно-производственных процедур и видов данных об изделии, формируемых средствами систем управления для построения онтологической модели изделия в приборостроительной отрасли. Представлены этапы выполнения метода разметки базовой онтологии и извлечения субонтологии, которые могут применяться для генерации проектного решения на предприятиях приборостроительной отрасли и позволяют разработать сигнатуры и семантики унифицированных сервисов для применения цифрового паспорта.

Анализ указанных работ позволяет сформировать механизмы интеграции с пакетами САПР и автоматическое включение гибридных знаний и единиц опыта предприятия в процесс повышения квалификации профиля проектировщика.

**Постановка задачи.** Задачей настоящей работы является разработка метода формирования адаптивного сценария обучения САПР в соответствии с начальными уровнями знаний обучаемых инженеров и требованиями предприятий к подготовке специалистов.

**Методы исследования.** Этапы метода построения обучающего курса. Для разработки метода необходимы следующие исходные данные:

- уровень владения инженером компетенциями по проектированию модулей на основе ПП перед обучением  $Y_{k0} = [0,1]$ ;
- перечень компетенций  $T_p$ , формируемых в результате освоения обучающего курса по проектированию модулей на основе ПП;
- количество и опыт экспертов по проектированию модулей на основе ПП.

Модель предметной области – процесса проектирования модулей на основе ПП – состоит из множества терминов предметной области ( $P$ ), множества проектных решений ( $\Pi$ ), матрицы составлений объектов ( $M$ ), матрицы отношений ( $M_p$ ), множества утверждений ( $E$ ), множества вопросов теста ( $T$ ), множества практических заданий ( $З$ ) и представляется в виде [5, 6]:

$$C = \langle P, \Pi, M, M_p, З, E, T \rangle,$$

где  $P = \{p_0, p_{ц}, p_T, p_{\Pi}, p_L, p_{\Pi p}, p_D, p_K\}$  – множество терминов предметной области ( $p_0$  – множество объектов;  $p_{ц}$  – цель обучения;  $p_T$  – темы знаний;  $p_{\Pi}$  – понятия;  $p_L$  – учебные лекции;  $p_{\Pi p}$  – справочник;  $p_D$  – дополнительный источник;  $p_K$  – компетенции по проектированию модулей на основе ПП);

$M = |l_{ij}|$  – матрица составлений объектов;

$$M_p = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \dots & M_{1c} \\ M_{21} & M_{22} \dots & M_{2c} \\ \dots & \dots & \dots \\ M_{B1} & M_{B2} \dots & M_{Bc} \end{bmatrix} \text{ – матрица отношений между объектами, имеющие отношения}$$

«изучается учебную лекцию  $p_{Lx}$  после  $p_{Ly}$ ;

$\Pi = ( \Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_a )$  – множество  $a$  проектных решений;

$E = \{E_1, E_2, E_3, E_4, E_5\}$  – множество утверждений (где  $E_1$  – лекции состоят из тем (в случае, если тема  $A$  входит в лекцию  $B$ , которое изучается в ходе лекции  $C$ , то тема  $A$  изучается в ходе лекции  $C$ );  $E_2$  – темы состоят из понятий (в случае, если тема  $A$  базируется на понятии  $B$ , которое входит в понятие  $C$ , то тема  $A$  состоит из понятия  $C$ );  $E_3$  – последовательность изучаемых тем (в случае, если тема  $A$  состоит из понятия  $B$ , которое изучается после понятия  $C$ , и тема  $H$  состоит из понятия  $C$ , то тема  $A$  изучается после темы  $H$ );  $E_4$  – тема изучается после понятия, в случае тема  $A$  изучается после темы  $B$  и тема  $B$  базируется на понятии  $C$ , то тема  $A$  изу-

чается после понятия С;  $E_5$  – понятие изучается после темы, в случае понятие А изучается после понятия В и тема С состоит в понятии В, то понятие А изучается после темы С);

$T = (T_1, T_2, \dots, T_K)$  – множество к текстовых вопросов;

$Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_N)$  – множество н практических заданий;

Модель обучаемого проектировщика представляет собой систему из проектных характеристик обучаемого проектировщика: знаний, умений, навыков, адаптивности, компетентности и функций их оценки [7, 16, 17].

Модель обучаемого имеет вид:

$$A_{\Pi} = \{Y_0, C_{\Pi}, A_{\text{сц}}, Y_3, Y_y, Y_n, Y_a, Y_k, O_6, P_k, T_b, K_d\}$$

где  $Y_0$  – уровень владения знаниями обучаемого перед обучением;

$C_{\Pi}$  – цели изучения обучаемого в данном курсе;

$A_{\text{с}}$  – множество тем знаний, которые предоставляют обучаемым изучать в сценарий обучения;

$Y_3$  – массивы владения знаниями обучаемого в процессе обучения;

$Y_y$  – массивы владения умениями обучаемого в процессе обучения;

$Y_n$  – массивы владения навыками обучаемого в процессе обучения;

$Y_{\Pi}$  – рейтинговый балл обучаемого в процессе обучения;

$O_6 = \{O_{6T}, O_{6\Pi}\}$  – ошибки обучаемого в процессе обучения, в том числе  $O_{6T}$  – ошибки обучаемого в процессе выполнения тестов,  $O_{6\Pi}$  – ошибки обучаемого в процессе выполнения практического задания;

$P_k$  – рекомендации обучаемым автоматически формируются системой для устранения ошибок;

$T_b$  – суммарное количество времени изучения учебного материала в процессе обучения;

$K_d$  – суммарное количество действий при прохождении в процессе выполнения практического задания.

Модель адаптации работает по принципу цикличного отслеживания состояния модели обучаемого: в зависимости от результата входного теста, целей обучения и успеваемости обучаемого каждого модуля прогнозируется достижение целенаправленных компетенций из множества целей курса и формируется изучаемый материал [8, 9, 19].

Отслеживание состояния профиля обучаемого осуществляется посредством результатов промежуточного теста и решения практического задания после освоения учебной лекции модуля. Модель адаптации имеет вид:

$$M_A = (M_{\Phi}, M_C, M_{\Pi}, M_M, M_T, M_N)$$

где  $M_{\Phi}: T_x \rightarrow \{O_{\Pi x}\}$  – функция отображения темы объекта на множество операций выполнения практического задания;

$M_C: O_{\Pi y} \rightarrow \{T_y\}$  – функция отображения операции проектного решения на множество тем объекта;

$M_M$  – функция отображения результата обучаемого на построения следующего сценария изучения учебных материалов

$$M_M = \begin{cases} M_{P1} \text{ если } P_M < 5; \\ M_{P2} \text{ если } 5 \leq P_M < 7; \\ M_{P3} \text{ если } 7 \leq P_M < 9; \\ M_{P4} \text{ если } 9 \leq P_M \leq 10. \end{cases}$$

$M_T = O_{6y} \rightarrow \{T_x\}$  – функция отображения рекомендации повторного изучения х-ой темы на у-ой ошибке теста;

$M_N = O_{6Pi} \rightarrow \{O_{\Pi j}\}$  – функция отображения рекомендации повторного выполнения j-ой операции практического решения на i-ой ошибке практического решения;

Решение задачи построения обучающего курса заключается в определении параметров модели сценария обучения, которые удовлетворяют перечню формируемых компетенций  $T_p$ . Элементы модели сценария обучения находятся в составе модели предметной области:  $M_{oc}$  и  $S$  принимают значения учебных лекций, понятий, тем, справочников, тестов и практических заданий. Модель сценария обучения формирует индивидуальный сценарий обучения в зависимости от начального уровня знаний обучаемого.

В предлагаемой системе АОС взаимодействуют модель обучаемого, модель предметной области, блок тестов, блок практического задания, подсистема анализов результатов обучаемого и виртуальный учитель.

Модель сценария представлена в виде:

$$M_{oc} = \{M_T, M_P, M_L, M_{Pr}, M_{Te}, M_z\},$$

где  $M_T = (M_{T1}, M_{T2}, \dots, M_{Ta})$   $r_T$  – множество тем;

$M_P = (M_{P1}, M_{P2}, \dots, M_{Px})$   $r_P$  – множество понятий,

$M_L = (M_{L1}, M_{L2}, \dots, M_{Lb})$   $r_L$  – множество учебных лекций,

$M_{Pr} = (M_{Pr1}, M_{Pr2}, \dots, M_{Prx})$   $r_{Pr}$  – множество справочников,

$M_{Te} = (M_{Te1}, M_{Te2}, \dots, M_{Tec})$  – множество тестов,

$M_z = (M_{z1}, M_{z2}, \dots, M_{zd})$  – множество практических заданий.

Выбор значений учебных лекций, понятий, тем, справочников, тестов и практических заданий для формирования сценариев обучения.

Компетенции отмечаются для обучаемого в процессе выполнения входного тестирования и выбора целей обучения  $M'_T M_T, M'_P M_P, M'_L M_L, M'_{Pr} M_{Pr}, M'_{Te} M_{Te}, M'_z M_z$ .

Их предлагается использовать для формирования содержания сценариев обучения.

Этап 1. Компетенции  $T_p$  определяют результат освоения обучающего курса:

$K_{p1}$  – 1-я компетенция САПР на предприятии приборостроительной отрасли;

$K_{p2}$  – 2-я компетенция САПР на предприятии приборостроительной отрасли;

...

$K_{pn}$  – n-я компетенция САПР на предприятии приборостроительной отрасли.

Этап 2. Формирование элементов матрицы составлений объектов  $l_{ij} \in M$ .

Этап 3. Опрос мнений экспертов для определения соответствия элементов матрицы составлений объектов классов онтологии  $l_{ij}$  с компетенциями  $K_p$ . Каждый эксперт, э строит матрицу вида:

$$H_{l_{ij}}^{\varepsilon} = \begin{vmatrix} h_{11} & h_{12} \dots & h_{1n} \\ h_{21} & h_{22} \dots & h_{2n} \\ \dots & \dots & \dots \\ h_{m1} & h_{m2} \dots & h_{mn} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} H_{11}^{\varepsilon} \\ H_{12}^{\varepsilon} \\ \dots \\ H_{ij}^{\varepsilon} \end{vmatrix}$$

где  $h_{ij}$  – элементы множества компетенций содержания САПР на предприятии приборостроительной отрасли, по мнению экспертов, которые необходимо получить после изучения  $l_{ij}$ .

Согласованность взглядов участников экспертной группы. В табл. 1 представлены оценки экспертов по содержаниям обучения содержанию САПР на предприятии приборостроительной отрасли.

Характеристикой согласованности взглядов экспертов по классам онтологической модели предметной области является коэффициент конкорданции [10, 11], который вычисляется по формуле:

$$W = \frac{S(\Delta^2)}{S_{max}}$$

$$\text{где } S(\Delta^2) = \sum_{i=1}^a \Delta^2 = S(H_i) - \frac{\varepsilon(a+1)}{2};$$

$$S_{max} = \frac{\sum_{j=1}^J (a^3 - a) - \sum_{i=1}^J \sum_{i=1}^J (T_i^3 - T_i)}{12} - \text{максимально возможная сумма квадратов отклонений}$$

для нестроного ранжирования ( $\Gamma_j$  – количество обществ связанных значений по взглядам экспертов;  $T_i$  – количество одинаковых значений в группе  $\Gamma_j$ ).

Коэффициент конкорданции колеблется в диапазоне  $[0;1]$  и отражает уровень согласованности взглядов экспертов. Низкий коэффициент конкорданции ( $W < 0.5$ ) свидетельствует об отсутствии общности взглядов экспертов – исключается этот элемент в дальнейшем рассмотрении, а  $W = 1$  при полной согласованности взглядов экспертов.

**Таблица 1. Оценки экспертов по содержаниям обучения содержанию САПР на предприятия приборостроительной отрасли**

**Table 1. Estimates of experts on the content of training in the content of CAD for enterprises in the instrument-making industry**

| №   | Эксперты Experts                         | 1            | 2            | ...      | э            | $S(H_{ij})$  | W         |
|-----|------------------------------------------|--------------|--------------|----------|--------------|--------------|-----------|
|     | Учебный материал<br>Educational material |              |              |          |              |              |           |
| 1   | $l_{11}$                                 | $h_{11}$     | $h_{12}$     | ...      | $h_{1n}$     | $S(H_{11})$  | $W_1$     |
| 2   | $l_{12}$                                 | $h_{21}$     | $h_{22}$     | ...      | $h_{2n}$     | $S(H_{12})$  | $W_2$     |
| ... | ...                                      | ...          | ...          | $h_{ij}$ | ...          | $S(H_{ij})$  | ...       |
| a-1 | $l_{(m-1)n}$                             | $h_{(m-1)1}$ | $h_{(m-1)2}$ | ...      | $h_{(m-1)n}$ | $S(H_{a-1})$ | $W_{a-1}$ |
| a   | $l_{mn}$                                 | $h_{m1}$     | $h_{m2}$     | ...      | $h_{mn}$     | $S(H_a)$     | $W_a$     |

Этап 4. Автоматическое формирование сценария обучающего курса согласно достигаемому результату:

- для первичной адаптации построения сценария компетенции обучаемого:

IF ( $O_{6Tx}$  True) THEN ( $O_{6Tx} \rightarrow K_{px}$ ) AND  $Mo_{cci} = \{\sum_{j=0}^x M_{lj}; \sum_{j=0}^x M_{3j}; \sum_{i=0}^x M_{3j}\}$ ,

где  $O_{6Tx}$  – множество  $p$  ошибок обучаемого по входному тестированию по обучающему курсу САПР на предприятии приборостроительной отрасли,  $x = 1, \dots, p$ ;

$Mo_{cci}$  –  $i$ -ого сценария владения компетенциями для  $j$ -ого обучаемого.

Тогда модель обучаемого проектировщика представляется в виде:

$$A_{Pj} = \left\{ y_0; Mo_{cci}; \sum_{i=0}^a A_{cci}; \sum_{i=0}^b y_{zi}; \sum_{i=0}^c y_{yi}; \sum_{i=0}^d y_{ni}; \sum_{i=0}^h T_{bi} \right\}$$

- для промежуточной адаптации построения сценария компетенции обучаемого:

IF ( $O_{6Tx}$  True) AND ( $O_{6Py}$  True) THEN ( $O_{6Tx} T_x$ ) AND ( $O_{6Py} O_{Py}$ );

IF  $P_{Mi} < 5$  THEN «Изучение  $M_{P1}$ »;

IF  $5 \leq P_{Mi} < 7$  THEN «Изучение  $M_{P2}$ » «Повторное изучение тем  $T_x$ » «Повторное выполнение у-ой операции»;

IF  $7 \leq P_{Mi} < 9$  THEN «Изучение  $M_{P3}$ » «Повторное изучение тем  $T_x$ » «Повторное выполнение у-ой операции»;

IF  $9 \leq P_{Mi} \leq 10$  THEN «Изучение  $M_{P4}$ » «Повторное изучение тем  $T_x$ » «Повторное выполнение у-ой операции»;

- модель обучаемого автоматически обновит достигаемые успеваемости по формуле:

$$A_{Pj} = \left\{ y_0; Mo_{cci}; \sum_{i=0}^a A_{cci}; \sum_{i=0}^b y_{zi}; \sum_{i=0}^c y_{yi}; \sum_{i=0}^d y_{ni}; \sum_{i=0}^g y_{ki}; \sum_{i=0}^l y_{li}; \sum_{i=0}^h T_{bi}; \sum_{i=0}^m K_{di} \right\}$$

Этап 5. После получения общих взглядов экспертов формирует учебные материалы  $Mo_{сцi}$  по требуемым компетенциям обучаемого для их дальнейшего изучения и проверки достигнутого уровня компетенций.

Шаг 3 – 5 повторяется до тех пор, когда обучаемый инженер владеет всеми необходимыми компетенциями для проектирования объектов САПР на предприятии приборостроительной отрасли.

На рис. 1 представлена общая схема метода построения обучающего курса содержания САПР на предприятии приборостроительной отрасли.

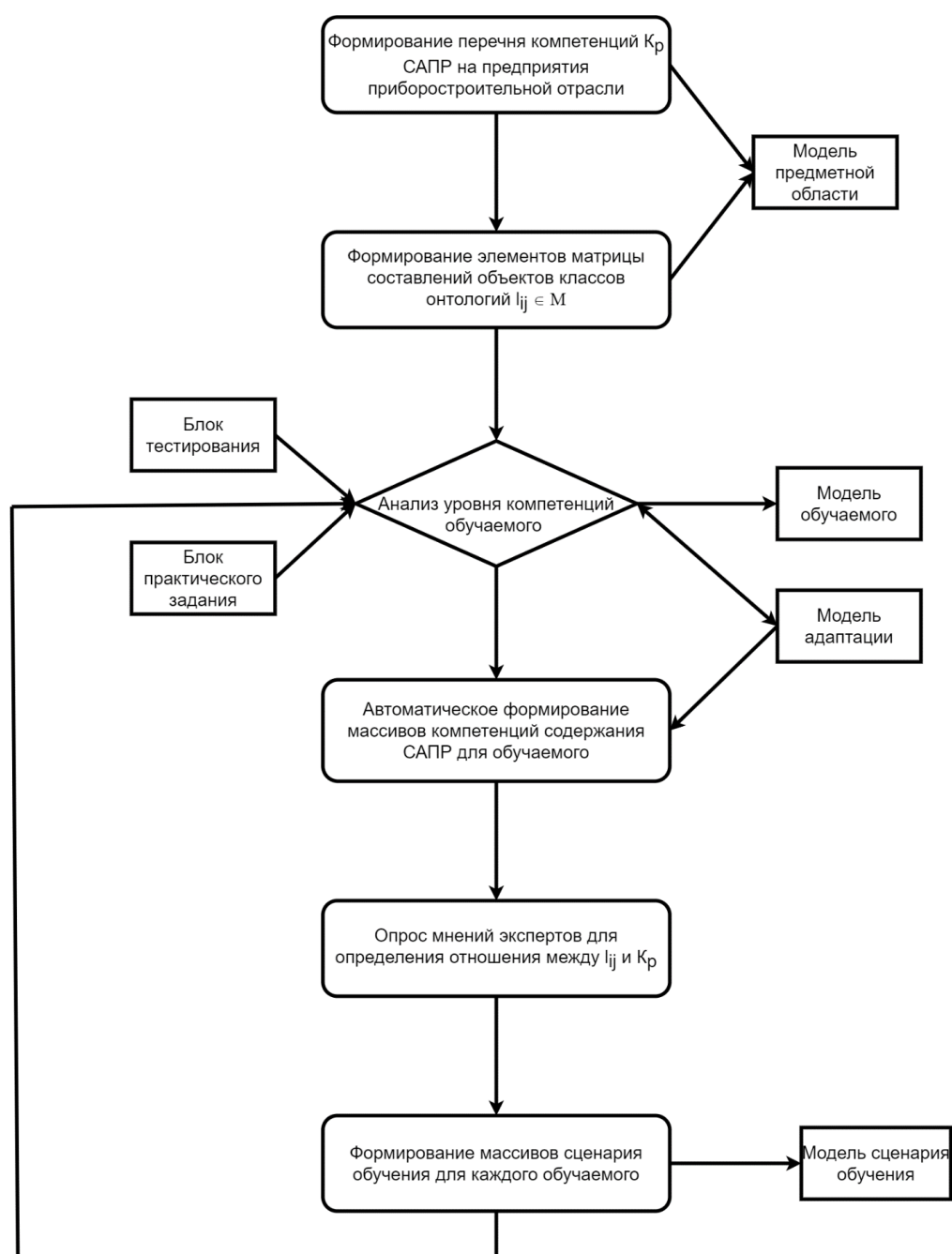


Рис.1. Общая схема метода построения обучающего курса содержания САПР на предприятия приборостроительной отрасли

Fig.1. The general scheme of the method for constructing a training course for the content of CAD for enterprises in the instrument-making industry

## **Обсуждение результатов. Применение метода построения обучающего курса на верфи X52 во Вьетнаме.**

Пример перечня формируемых компетенций по курсу «Проектирование модулей на основе ПП» в верфи X52 [12, 18]:

$K_{p1}$  – способность осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения;

$K_{p2}$  – способность разрабатывать проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы;

$K_{p3}$  – готовность осуществлять контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям;

$K_{p4}$  – готовность применять современные средства выполнения и редактирования изображений и чертежей и подготовки конструкторско-технологической документации;

...

$K_{pn}$  – навыки оценки качества проектирования модулей ПП.

Пример множества учебной лекции по курсу «Проектирование модулей на основе ПП» [13, 14]:

-  $l_{11}$  – параметры этапа заключения договора ERP;

-  $l_{21}$  – параметры этапа заключения договора PDM;

-  $l_{31}$  – параметры этапа заключения договора СЭД;

...

-  $l_{81}$  – параметры этапа производства QMS;

-  $l_{82}$  – параметры этапа производства MES;

-  $l_{83}$  – параметры этапа производства PDM.

Пример критерия для оценки набора компетенций обучаемого по проектированию модулей на основе ПП на верфи X52, Вьетнама:

+ Недостаточный набор компетенций, при наличии которого обучаемый частично проявляет компетенции проектирования печатных плат, понимает необходимость нужных навыков и стремится к ним, но у него это не всегда получается. Критерии на данном уровне состоят из понимания основных принципов работы цифровых и аналоговых схем печатных узлов (ПУ), основной элементной базы схемотехнического проектирования ПУ, программы проектирования ПП, знаний основных положений единой системы конструкторской документации (КД), знаний действующих нормативных требований и ГОСТ, знаний основ схемотехники и принципов проектирования модулей на основе ПП, знаний основных прикладных программ автоматизированного проектирования ПП и их назначения. Критерии включают умения сбора и анализа исходных данных для выбора структурных функциональных и принципиальных схем, умения отбора элементной базы при разработке принципиальных схем модулей с учетом требований технического задания.

+ Базовый набор компетенций – на данном уровне обучаемый владеет требуемыми навыками и представлением о проектировании модулей на основе ПП, а также о несложных проектах. Критерии на данном уровне включают критерии предыдущих уровней и состоят из: знания комплектности конструкторских документов на узлы и блоки, выполненных на ПП; знания автоматизированных методов разработки КД; знания стадии разработки конструкторской документации; знания факторов, влияющих на качество проектирования моделей на основе ПП; знания основ проектирования технологического процесса; знания признаков квалификации ПП; знания основных свойств материалов ПП; умения описать работу проектируемого модуля на основе анализа электрических и функциональных схем; умения выполнять чертежи структурных и электрических принципиальных схем; умения применять прикладные программы для моделирования электрических схем; умения компоновать и размещать компоненты на ПП; умения оформлять КД на односторонние и двусторонние ПП; умения выполнять основные расчеты базовых технических несложных проектируемых модулей; владения навыком моделирования электрических схем с ис-



пользованием прикладных программ; владение опытом разработки и оформления проектной КД в процессе проектирования ПП модулей; владения навыком анализа ТЗ при проектировании ПП модулей; владения навыком применения автоматизированных методов проектирования ПП модулей.

+ Продвинутый набор компетенций – на данном уровне обучаемый владеет высоким навыком проектирования модулей на основе ПП, может выполнять роль руководителя среднего уровня и способен справляться с ситуациями повышенной сложности. Критерии на данном уровне включают критерии предыдущих уровней и состоят из: знания типового технологического процесса и его составляющих; знания особенности производства ПП модулей; знания способов описания технологического процесса; владения навыком трассировки проводников ПП; умения выбора и расчета элементов печатного рисунка; владения навыком расчета конструктивных показателей и компоновочных характеристик ПП; владения навыком расчетов габаритных размеров ПП и выбора типоразмеров ПП; владения навыками разработки конструкции ПП с учетом воздействия внешних факторов; владения навыками разработки функциональных и структурных ЭПС на основе анализа состояния и требования к ПП; владения навыками разработки проектно-конструкторской документации ПП средней сложности.

+ Высокий набор компетенций – на данном уровне обучаемый сам применяет необходимые навыки в проекте и создает возможности развивать компетенции другим обучаемым-инженерам. Критерии на данном уровне включают критерии предыдущих уровней и состоят из: знания способов описания технологического процесса; знания технологических процессов производств ПП модулей; знания методов автоматизированного проектирования модулей на основе ПП; знания методов оценки качества проектирования ПП; умения разрабатывать чертежи ПП в программах САПР ПП; владения навыками анализа конструктивных показателей технологичности ПП; владения навыками разработки проектно-конструкторской документации ПП более средней сложности; владения навыками оценки качества проектирования ПП модулей.

Для оценки эффективности этого метода были применены экспертизы на группах обучаемых - инженеров верфи. Основными параметрами данного исследования являются 2 группы обучаемых - инженеров по 9 человек, длительность исследования 2 месяца со средним уровнем навыков 0,4 [15]. Целью обучения является формирование у обучаемого-инженера компетенций по проектированию модулей на основе ПП: способность работать с интерфейсом; приобретение навыков построения эскизов, компонентов, электрических принципиальных схем и печатных плат; владения умениями и навыками моделирования печатных плат. Данные результатов приведены в табл. 2.

**Таблица 2. Результаты сравнения традиционного и адаптивного сценария обучения**

**Table 2. Comparison results between traditional and adaptive learning scenarios**

| Параметры<br>Parameter                        | Средний уровень компетенций обучаемого до обучения<br>The average level of competencies of the trainee before training | Средний уровень компетенций обучаемого после обучения<br>The average level of competence of the trainee after training | Среднее время изучения, ч.<br>Average time of study, h. | Среднее время выполнения тестов, ч.<br>Average test execution time, h. | Среднее время выполнения проектов, ч. Average project completion time, | Общее время обучения, ч.<br>Total training time, hours |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Традиционный сценарий<br>Traditional scenario | 0,4                                                                                                                    | 0,77                                                                                                                   | 10,92                                                   | 2,72                                                                   | 8,9                                                                    | 22,54                                                  |
| Адаптивный сценарий<br>Adaptive scenario      | 0,4                                                                                                                    | 0,87                                                                                                                   | 9,3                                                     | 2,32                                                                   | 5,2                                                                    | 16,82                                                  |
| Сравнение Comparison                          | -                                                                                                                      | 11,3%                                                                                                                  | 14,9%                                                   | 14,7%                                                                  | 41,5%                                                                  | 25,4%                                                  |

В одной группе проводилось обучение по интеллектуальной адаптивной системе, в другой группе – обучение по стационарным.

**Вывод.** Обзор методов и систем формирования содержания САПР на предприятии приборостроительной отрасли позволяет сформировать механизмы интеграции с пакетами САПР и автоматическое включение гибридных знаний и единиц опыта предприятия в процесс обучения. Разработана структура АОС, состоящая из модели предметной области, модели обучаемого проектировщика, модели адаптации, модели сценария обучения, блока тестов и практического задания. Модель предметной области АПР классифицируется по темам, понятиям, учебным лекциям, целям и компетенциям и позволяет персонифицировать процесс обучения. Модель обучаемого проектировщика автоматически обновит данные достигаемых успеваемости обучаемого в процессе изучения.

Разработан адаптивный метод формирования содержания обучения САПР на предприятии приборостроительной отрасли, отличающийся использованием механизмов взаимодействия моделей обучения для формирования компетенций обучаемого, с учетом индивидуальных характеристик обучаемого, позволяющий предоставлять оптимальную траекторию обучения с сокращением времени обучения.

Отметим, что предложенные методы носят небольшой затратный характер. В качестве результатов экспериментов можно сделать вывод: эффективность повышения уровня компетенций инженеров на 11,3%, чем традиционный метод с сокращением общего времени обучения на 25,4%, снижение расходов на дополнительное обучение новых инженеров. В этом случае с адаптивной обучающей системой отсутствие выступающей роли преподавателя сказывается на количестве успешно завершающих онлайн курсов.

Полученные результаты доказывают необходимость разработки адаптивной обучающей системы на основе данного метода формирования уровня компетенций инженеров проектирования модулей на основе ПП. Адекватность данного метода ранее подтверждена экспериментальными данными и предыдущими исследованиями.

#### **Библиографический список:**

1. Белов О. А. Методология анализа и контроля безопасности судна как сложной организационно-технической системы // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2015. - №34. – С. 12-18.
2. Охтилев П.А. Интеллектуальный комплекс автоматизированного проектирования систем информационно-аналитической поддержки жизненного цикла сложных объектов // Известия ВУЗов. Приборостроение. 2018. Т. 61. № 11. С. 963–971. <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2018-61-11-963-971>
3. А. П. Пинков, А. Н. Афанасьев, Н. Н. Войт, Д. С. Канев, Разработка методов и средств компьютерных систем обучения автоматизированному проектированию машиностроительных объектов // Автоматизация процессов управления, 2017. №1 (47). С. 75-84.
4. Донецкая Ю.В. Метод формирования и использования цифрового паспорта электронного изделия на предприятиях приборостроительной отрасли // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2021. Т. 21, № 6. С. 969–976. doi: 10.17586/2226-1494-2021-21-6-969-976
5. А. И. Гайкович, Основы теории проектирования сложных технических систем // Моринтех, стр. 216, Санкт Петербург, 2001 г.
6. Д. С. Канев, Разработка моделей, методов и средства формирования профиля компетенций проектировщика в процессах автоматизированного проектирования машиностроительных объектов (на примере САПР КОМПАМС), стр. 186, Ульяновск, 2016 г.
7. Хоанг К., Авксентьева Е. Ю., Федосов Ю. В., Нгуен В. Т., Адаптивное обучение автоматизированному проектированию печатных плат судовых интегрированных систем управления // Автоматизация. Современные технологии, Т. 75, №1, 2021 г. Москва, Стр. 44-48.
8. Л. А. Растринин, Адаптация сложных систем // Рига «Зинатне», 1981 г., Стр. 375.
9. А. Д. Цвиркун, Структура сложных систем //Советское радио, Москва, 1975 г., Стр. 202
10. Анохин А.Н. Методы экспертных оценок: учебное пособие. Обнинск: ИАТЭ, 1996. 148 с.
11. Медведев Ю. В., Методология формирования системы компетенций в компании // Вестник университета, №2, 2013 г., Стр. 145 – 149.
12. Хоанг К., Авксентьева Е. Ю., Нгуен К., Компетентностная модель проектировщика печатных плат для судовых интегрированных систем управления // International Journal of Advanced Studies, Том 10, №3, 2020 г., Стр. 99-113.
13. Седыкин Ф. В., Электрохимическая обработка в технологии производства РЭА // Энергия, Москва, 1980 г., Стр. 139.
14. Пирогова Е. В., Проектирования и технология печатных плат // Высшее образование, Москва, 2005 г., Стр. 562.

15. К. К. Хоанг, Ю. В. Донецкая. Оценка результативности использования интеллектуальной адаптивной системы обучения проектированию модулей на основе печатных плат // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021. Том 48, №4, Сп.139 – 147.
16. Robert A. S., Jessica S., Adaptive instructional systems. Design and evaluation // Held as Part of the 23<sup>rd</sup> HCI International conference, Part I, 2021. P 1-3.
17. Vijay K., Sarat K. P., Feature engineering for machine learning and deep learning assisted wireless communication // *Metaheuristics in machine learning: theory and applications*, V 967, 2021, P. 77-95.
18. Amit K. T., Terrance F. F., Shashvi M., Shabnam K., Intelligent automation systems at the core of industry 4.0 // International conference on intelligent systems design and applications, 2021, P. 1-18.
19. Nuria O., Fernando P. C., Stefan K., Jose A., Machine learning and knowledge discovery in databases. Research track // Joint European conference on machine learning and knowledge discovery in databases, P II, 2021, P 1-3.

#### References:

1. Belov O. A. Methodology of analysis and control of ship safety as a complex organizational and technical system. [Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta] *Bulletin of the Kamchatka State Technical University*. 2015; 34: 12-18. (In Russ)
2. Okhtilev P.A. Intellectual complex of computer-aided design of information and analytical support systems for the life cycle of complex objects. [Izvestiya VUZov. Priborostroyeniye.] *Izvestiya VUZov. Instrumentation*. 2018; 61(11): 963-971. <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2018-61-11-963-971>(In Russ)
3. Pinkov A. P., A. N. Afanasiev, N. N. Voit, D. S. Kanev, Development of methods and means of computer systems for teaching automated design of machine-building objects. [Avtomatizatsiya protsessov upravleniya] *Automation of control processes*, 2017; 1 (47): 75-84. (In Russ)
4. Donetskaya Yu.V. Method for the formation and use of a digital passport of an electronic product at the enterprises of the instrument-making industry. [Nauchno-tekhnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki].*Scientific and technical bulletin of information technologies, mechanics and optics*. 2021; 21(6):. 969-976. doi: 10.17586/2226-1494-2021-21-6-969-976 (In Russ)
5. Gaikovich A.I., Fundamentals of the theory of designing complex technical systems. [Morintekh] *Morintekh*, St. Petersburg 2001: 216. (In Russ)
6. D. S. Kanev, Development of models, methods and tools for forming a designer's competency profile in the processes of automated design of machine-building objects (on the example of CAD KOM-PAMS), Ulyanovsk, 2016: 186. (In Russ)
7. Hoang K., Avksentieva E. Yu., Fedosov Yu. V., Nguyen V. T., Adaptive learning for computer-aided design of printed circuit boards for marine integrated control systems. [Avtomatizatsiya. Sovremennyye tekhnologii,] *Automation. Modern technologies*. Moscow. 2021; 75(1): 44-48. (In Russ)
8. L. A. Rastripin, Adaptation of complex systems. [Riga «Zinatne»] *Riga "Zinatne"*, 1981: 375.
9. Tsvirkun A.D., The structure of complex systems. [Sovet-skoye radio] *Soviet radio*, Moscow, 1975: 202 (In Russ)
10. Anokhin A.N. Methods of expert assessments: textbook. Obninsk: IATE, 1996: 148. (In Russ)
11. Medvedev Yu. V., Methodology for the formation of a system of competencies in a company. [Vestnik universiteta] *Bulletin of the University*. 2013; 2: 145-149. (In Russ)
12. Hoang K., Avksentieva E. Yu., Nguyen K., Competence model of a printed circuit board designer for ship integrated control systems. *International Journal of Advanced Studies*, 2020; 10(3):99-113.
13. Sedykin F.V., Electrochemical processing in the production technology of REA. *Energia*, Moscow, 1980: 139. (In Russ)
14. Pirogova E. V., Design and technology of printed circuit boards. [Vysheye obrazovaniye] *Higher education*, Moscow, 2005: 562. (In Russ)
15. K. K. Hoang, Yu. V. Donetskaya. Evaluation of the effectiveness of using an intelligent adaptive learning system for designing modules based on printed circuit boards. [Vestnik Dagestanskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Tekhnicheskiye nauki] *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science*.2021; 48(4): 139 - 147. (In Russ)
16. Robert A. S., Jessica S., Adaptive instructional systems. Design and evaluation. *Held as Part of the 23rd HCI International conference*, Part I, 2021:1-3.
17. Vijay K., Sarat K. P., Feature engineering for machine learning and deep learning assisted wireless communication. *Metaheuristics in machine learning: theory and applications*. 2021; 967: 77-95.
18. Amit K. T., Terrance F. F., Shashvi M., Shabnam K., Intelligent automation systems at the core of industry 4.0 . *International conference on intelligent systems design and applications*. 2021: 1-18.
19. Nuria O., Fernando P. C., Stefan K., Jose A., Machine learning and knowledge discovery in databases. Re-search track. Joint European conference on machine learning and knowledge discovery in databases, P II, 2021: 1-3.

#### Сведения об авторе:

Хоанг Конг Кинь, соискатель; hoangkinh@yandex.ru

#### Information about the authors:

Kinh K. Hoang, applicant; hoangkinh@yandex.ru

#### Конфликт интересов/ Conflict of interest.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов/The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 20.05.2022.

Одобрена после рецензирования Revised 02.06.2022.

Принята в печать/ Accepted for publication 02.06.2022.