

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА СОВРЕМЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 37.02

DOI: 10.12737/2306-1731-2026-15-2-21-26

Оценка дидактической сложности физических приборов и устройств с помощью ИИ

Didactic Complexity Assessment Physical Devices with AI

Получено: 10.03.2026 / Одобрено: 18.03.2026 / Опубликовано: 25.06.2026

Майер Р.В.

Д-р пед. наук, доцент, заслуженный деятель науки Удмуртской Республики, профессор кафедры физики и дидактики физики, ФГБОУ ВО «Глазовский государственный инженерно-педагогический университет имени В.Г. Короленко», г. Глазов, e-mail: robert_maier@mail.ru

Mayer R.V.

Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Honored Scientist of the Udmurt Republic, Professor of the Department of Physics and Physics Didactics, Glazov State Engineering and Pedagogical University named after V.G. Korolenko, Glazov, e-mail: robert_maier@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена проблема оценки дидактической сложности физических приборов и устройств, изучаемых в школе и вузе. Ее актуальность обусловлена необходимостью оптимизации учебного процесса с учётом ограниченной пропускной способности рабочей памяти обучающихся в рамках теории когнитивной нагрузки. Цель статьи состоит в выявлении основных компонентов дидактической сложности физических приборов и устройств, разработке методологии её количественной оценки с помощью искусственного интеллекта и ее апробации на 50 объектах. В качестве методологической основы использованы положения теории систем, квалиметрии, теории сложности и методологии мягких систем. Исследование опирается на учебную, методическую и научную литературу по физике, в которой рассматриваются различные варианты объяснения устройства и функционирования физических приборов. Парное сравнение осуществляется с помощью нейросети *Qwen*. Также применяются общенаучные методы анализа и синтеза, качественного и количественного моделирования (в электронных таблицах *Excel*), методы формализации и абстрагирования, метод построения графов. Выявлено три основных фактора, влияющих на дидактическую сложность прибора: 1) трудность объяснения принципа действия; 2) доступность наблюдения за его функционированием; 3) конструктивно-эксплуатационная сложность. После парных сравнений 25 приборов получена нормированная шкала дидактической сложности (от 0 до 1). С использованием этой шкалы оценено ещё 50 приборов. Разработана методика использования нейросетей для достоверной оценки сложности объектов методом парных сравнений. Результаты количественного ранжирования приборов по сложности могут быть использованы для оптимизации методики обучения.

Ключевые слова: дидактика, ИИ, квалиметрия, нейросеть, парное сравнение, прибор, сложность, устройство.

Abstract. The problem of assessing the didactic complexity of physical devices studied at school and university is considered. Its relevance is due to the need to optimize the educational process, taking into account the limited bandwidth of the working memory of students in the framework of the Cognitive Load Theory. The purpose of the article is to identify the main components of the didactic complexity of physical instruments and devices, to develop a methodology for its quantitative assessment using artificial intelligence and its testing at 50 objects. As a methodological basis, the provisions of system theory, qualimetry, complexity theory and methodology of soft systems are used. The study relies on educational, methodological and scientific literature in physics, which considers various options for explaining the structure and functioning of physical instruments. Pairwise comparison is carried out using the *Qwen* neural network. General scientific methods of analysis and synthesis, qualitative and quantitative modeling (in *Excel* spreadsheets), formalization and abstraction methods, and a graph construction method are used. Three main factors affecting the didactic complexity of the device have been identified: 1) difficulty in explaining the principle of action; 2) availability of monitoring of its functioning; 3) structural and operational complexity. After paired comparisons of 25 instruments, a normalized didactic complexity scale (from 0 to 1) was obtained. Using this scale, another 50 devices were evaluated. A technique has been developed for using neural networks for a reliable assessment of the complexity of objects using the pairwise comparison method. The results of quantitative ranking of devices by complexity can be used to optimize the training methodology.

Keywords: didactics, AI, qualimetry, neural network, pair comparison, device, complexity, device.

Введение

Физические знания можно разделить на: 1) эмпирические, полученные в результате наблюдений и экспериментов; 2) теоретические, для получения которых используются индукция, дедукция, анализ, синтез, формализация, моделирование и т.д.; 3) методологические, позволяющие понять, каким образом были открыты и изучены различные фи-

зические явления, описывающие их функциональные зависимости и измерены фундаментальные константы. В идеале выпускник школы понимает не только физические законы, но и методы, с помощью которых они были установлены учеными. Методологические знания включают в себя объяснения принципа действия физических приборов и устройств (ФПиУ).

В школьном и вузовском курсах физики изучают множество ФПиУ — как простых, используемых в учебном физическом эксперименте, так и сложных, применяемых в научных исследованиях. Одной из важных характеристик объяснения устройства и принципа действия ФПиУ является его дидактическая сложность (ДС). ДС физического прибора или устройства показывает на сколько велики когнитивные и временные затраты ученика на изучение его функционирования. ДС различных приборов может отличаться в десятки и сотни раз. Она является важным фактором, влияющим на результат обучения, ее оценка — актуальная проблема дидактики физики.

Влияние сложности различных элементов учебного материала на результат обучения объясняется теорией когнитивной нагрузки (*Cognitive Load Theory*), разработанной психологом Джоном Свеллером в конце 1980-х гг. Рабочая память ученика имеет ограниченную пропускную способность: она может одновременно удерживать 5–7 чанков (информационных блоков) в течение нескольких секунд. После этого информация утрачивается или помещается в долговременную память большого объема. Результат обучения зависит от уровня подготовки учащегося, скорости поступления учебной информации и ее сложности, зависящей от количества элементов, степени их взаимосвязи, возможности наблюдать изучаемый объект или явление в повседневной жизни.

Цель статьи: выявить основные компоненты дидактической сложности физических приборов и устройств и, используя возможности ИИ, осуществить оценку дидактической сложности приборов, рассматриваемых в школьном и вузовском курсах физики. Обозначенная проблема характеризуется высокой степенью расплывчатости и неопределенности; она может быть решена путем использования методологии мягких систем [7].

Для достижения сформулированной выше цели использовались возможности ИИ, в частности, нейросети *Qwen*. С помощью специальным образом составленных запросов были получены: 1) перечень физических приборов, изучаемых в школе и вузе (отдельно по разделам механики, молекулярной физики и термодинамики, электродинамики, оптики и квантовой физики); 2) списки компонентов ФПиУ, а также научных понятий, используемых для объяснения работы каждого прибора; 3) оценки парных сравнений ФПиУ по шкале $-1, 0, 1$. При этом используется векторное представление объектов и вычисляется «расстояние» между ними. Алгоритм состоит в следующем: 1) сеть принимает

на вход пару объектов (O_1, O_2); 2) оба объекта проходят через одинаковые подсети (ветви) с одинаковыми весами и архитектурой и обрабатываются идентичным образом; 3) на выходе каждой ветви получается векторное представление объекта: $V_1 = f(O_1)$ и $V_2 = f(O_2)$; 4) сеть вычисляет евклидово «расстояние» между точками или косинус угла между векторами в многомерном пространстве. Для получения сводных таблиц результатов оценки ДС и ее компонентов использовались электронные таблицы *Excel*. Также применялись общенаучные методы анализа и синтеза, качественного и количественного моделирования, формализации и абстрагирования, метод построения графов.

Методологической основой исследования являются работы ученых: J. Sweller, P. Ayres, S. Kalyuga [9] (теория когнитивной нагрузки); Г.В. Абраменко, Д.В. Васильков, А.И. Григорьев [1] (теория систем); Д.Ф. Люгер [3], C.D. Manning, P. Raghavan, H. Schutze [8] (ИТ и обработка информации); С.В. Микони, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов [5] (методы квалиметрии); С.А. Кудж [2], В.Я. Цветков [2; 10], Р.В. Майер [4], О.Э. Наймушина, Б.Е. Стариченко [6] (сложность и обучение); P. Checkland, J. Scholes [7] (методология мягких систем).

Результаты исследования

В теории систем выделяют следующие виды сложности [1]: 1) структурная сложность, зависящая от количества составляющих элементов и связей, их разнообразия, глубины иерархии и общего числа подсистем; 2) сложность функционирования, определяемая набором возможных состояний, алгоритмами переходов между ними, характером взаимодействия объекта со средой; 3) сложность выбора поведения, возникающая в ситуациях, требующих принятия решений среди множества альтернатив; 4) сложность развития; 5) сложность моделирования.

Анализ научно-методической литературы показывает, что дидактическая сложность прибора зависит не только от его технической конструкции, но и от его доступности для экспериментального изучения и понятности теоретического обоснования. При этом виртуальные лаборатории и интерактивные модели частично компенсируют недостаток реального оборудования и позволяют отрабатывать навыки работы с приборами. Для успешного освоения сложных устройств необходимо поэтапное формирование умений: от распознавания условных обозначений до сборки реальных электрических цепей, установок, систем.

В результате анализа учебной, методической и научно-методической литературы по физике установлено, что дидактическая сложность изучения конструкции ФПиУ и их принципа действия зависит от совокупности когнитивных и содержательных факторов. Они перечислены ниже:

- 1) уровень абстрактности понятий показывает насколько упоминаемые объекты и явления непосредственно воспринимаются органами чувств, или их ученик должен представлять в своем воображении (например, поля, элементарные частицы, кванты и т.п.);
- 2) сложность физических принципов и законов определяет сложность объяснения происходящих явлений и процессов, лежащих в основе функционирования ФПиУ;
- 3) сложность конструкции прибора, зависящая от количества функциональных элементов и взаимосвязей между ними, а также наличия вспомогательных систем, обеспечивающих вакуум, охлаждение, магнитное поле и т.д.;
- 4) степень опосредованности измерений, позволяющая учесть: а) наличие цепочки преобразований (физическая величина → сигнал → цифровое значение → регистрирующее устройство); б) является измерение прямым (измерение длины линейкой) или косвенным (измерение ускорения свободного падения с помощью нитяного маятника);
- 5) наблюдаемость объектов и происходящих процессов показывающая, возможно ли функционирование прибора (устройства) увидеть непосредственно или нет (счетчик Гейгера, транзистор);
- 6) наличие прибора дома и/или в школьной лаборатории, возможность его использования в повседневной жизни (насос, термометр, мультиметр).

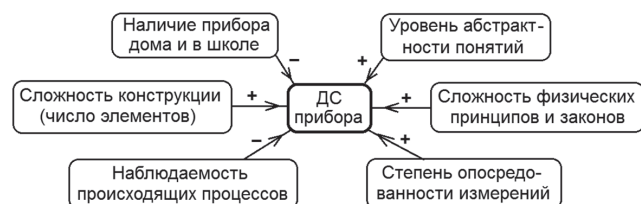


Рис. 1. Факторы, влияющие на дидактическую сложность приборов

Семантическая сеть, показывающая влияние перечисленных факторов на ДС, представлена на рис. 1. Знаки «+» и «-» означают, что данный фактор увеличивает или уменьшает ДС ФПиУ соответственно. Кроме перечисленного выше, сложность изучения приборов зависит от математической сложности теории, степени идеализации, наличия

компьютерных симуляций, помогающих понять устройство ФПиУ, трудности использования на практике, особенностей интерпретации результатов измерений. Все эти факторы могут комбинироваться, усиливая или ослабляя общую дидактическую сложность. При проектировании учебного процесса важно учитывать их совокупное влияние и при необходимости снижать сложность объяснения путем моделирования, пошагового введения понятий, использования ИТ и дифференцированного подхода.

Трудность понимания и усвоения работы ФПиУ определяется соотношением между ДС прибора и уровнем знаний ученика (студента). Для вычисления ДС прибора предлагается математическая модель:

$$ДС = A * (X_1 - X_2 + X_3) + B,$$

где X_1 – сложность объяснения работы прибора или устройства, зависящая от: 1) абстрактности используемых понятий; 2) необходимости оперировать невидимыми или гипотетическими сущностями (атомы, поля, токи и т.п.); 3) сложности физических законов, лежащих в основе функционирования прибора;

X_2 – возможность наблюдения за работой ФПиУ, зависящая от: 1) наличия прибора дома и/или в школе; 2) возможности непосредственно пронаблюдать его функционирование;

X_3 – сложность конструкции прибора и его использования, зависящая от: 1) количества функциональных элементов и взаимосвязей между ними, а также наличия вспомогательных систем (вакуум, охлаждение, магнитное поле, стабилизация температуры и т.д.); 2) степени опосредованности измерений, позволяющей учесть наличие цепочки преобразований: физическая величина → аналоговый сигнал → цифровой сигнал → регистрирующее устройство; 3) от того, измерение является прямым или косвенным.

Формула учитывает, что чем больше X_1 , X_3 и чем меньше X_2 , тем выше ДС ФПиУ. Для определения ДС ФПиУ необходимо определить значения перечисленных выше характеристик X_1 , X_2 и X_3 у небольшой совокупности ФПиУ и сформировать базу сравнения из 10–15 объектов. Значения A и B подбираются так, чтобы ДС изменялась от 0 до 1. В результате анализа учебно-методической литературы был составлен список из 25 приборов различной сложности: 1. Линейка, рулетка; 2. Весы рычажные; 3. Термометр жидкостный; 4. Динамометр; 5. Линзы; 6. Зеркала (плоские, вогнутые, выпуклые); 7. Психрометр; 8. Барометр-анероид; 9. Манометр;

10. Термос, сосуд Дьюара; 11. Калориметр; 12. Электрометр; 13. Гальванометр; 14. Реостат, потенциометр; 15. Дифракционная решётка; 16. Акселерометр; 17. Маятник Обербека; 18. Осциллограф; 19. Мост Уитстона; 20. Лазер; 21. Спектроскоп; 22. Фотоэлектронный умножитель; 23. Счётчик Гейгера; 24. Масс-спектрометр; 25. Прибор для изучения ЯМР.

Для оценки характеристик X_1 , X_2 и X_3 у каждого прибора необходимо перечислить составляющие его компоненты и научные понятия, используемые при объяснении функционирования ФПиУ. Используется нейросеть *Qwen*, запрос имеет вид: «Перечисли все компоненты прибора (или устройства) и научные термины, употребляемые для объяснения его работы. Формат ответа: номер, название прибора: перечень компонентов через запятую (в скобках перечень научных терминов, необходимых для объяснения работы прибора или устройства)». Полученный результат редактировался так, чтобы избавиться от неопределенностей типа: термометр жидкостный или цифровой, барометр ртутный или aneroid и т.д. Результат имел следующий формат: «Термос (или сосуд Дьюара): двойные стенки, вакуум между ними, серебрённое покрытие, пробка (теплопроводность, конвекция, тепловое излучение, тепловая изоляция, теплопередача)».

Оценка характеристик X_1 , X_2 и X_3 также осуществлялась с помощью нейросети *Qwen*; запрос содержал: 1) описание оцениваемой характеристики; 2) список оцениваемых приборов с перечислением составляющих их компонентов и терминов, используемых для объяснения функционирования; 3) описание шкалы оценивания (–1, 0, +1) и указание метода парных сравнений. При этом каждый объект O_i сравнивается с каждым объектом O_j . Используется шкала: +1, если объект O_i сложнее, чем O_j ; 0, если они приблизительно равны по сложности; –1, если

объект O_i проще O_j . В результате более 300 сравнений для каждого из 25 объектов получается вектор (строка) из 25 чисел 1, 0 или –1.

В качестве примера рассмотрим запрос для оценки X_3 : «Сложность конструкции прибора и его использования зависит от: 1) количества функциональных элементов и взаимосвязей между ними, а также наличия вспомогательных систем (вакуум, охлаждение, магнитное поле, стабилизация температуры и т.д.); 2) степени опосредованности измерений, позволяющей учесть наличие цепочки преобразований: физическая величина → аналоговый сигнал → цифровой сигнал → регистрирующее устройство; 3) является измерение прямым (измерение длины линейкой) или косвенным (измерение сопротивления мостом Уитстона). Дан список приборов: “1. Акселерометр: чувствительный элемент (масса), пьезоэлемент, демпфер, корпус (ускорение, инерция, второй закон Ньютона, смещение, пьезоэффект, колебательная система); 2. Маятник Обербека: крестовина с грузами, ось вращения, нить, шкив, груз-перегрузок, стойка (момент инерции, угловое ускорение, вращательное движение, натяжение нити, закон сохранения энергии, тангенциальное ускорение); ... 25. Фотоэлектронный умножитель: фотокатод, система динодов, анод, вакуумный баллон, делитель напряжения (внешний фотоэффект, вторичная электронная эмиссия, коэффициент усиления, квантовая эффективность, электронная лавина)”. Прими метод парного сравнения, сопоставляя каждый объект с каждым другим объектом и сравнивая их по сложности конструкции прибора и его использования. Используй шкалу: +1 (больше), 0, –1 (меньше). Для каждого из 25 объектов получи одномерную матрицу из 25 оценок».

В табл. 1 представлены результаты оценки значений X_1 , X_2 и X_3 у 25 приборов, а также их ДС, нормированная на интервале [0; 1]. Это позволило

Таблица 1

Результаты оценки 25 приборов (шкала)

	НАЗВАНИЕ ПРИБОРА	X1	X2	X3	ДС								
						13	Электрометр	*	0,38	0,38	0,38	0,46	
1	Линейка	*	0,00	1,00	0,00	0,00	14	Гальванометр		0,42	0,46	0,42	0,46
2	Динамометр	*	0,04	0,63	0,08	0,16	15	Спектроскоп		0,67	0,88	0,83	0,54
3	Термометр жидкостный		0,13	0,54	0,04	0,21	16	Маятник Обербека		0,75	0,50	0,46	0,57
4	Зеркала		0,46	0,92	0,17	0,24	17	Калориметр	*	0,54	0,33	0,50	0,57
5	Весы рычажные	*	0,08	0,96	0,63	0,25	18	Мост Уитстона		0,33	0,21	0,71	0,61
6	Реостат / потенциометр		0,29	0,71	0,21	0,26	19	Акселерометр	*	0,71	0,29	0,67	0,70
7	Термос		0,21	0,67	0,33	0,29	20	Осциллограф	*	0,79	0,25	0,79	0,78
8	Манометр		0,17	0,58	0,29	0,29	21	Лазер	*	0,96	0,17	0,75	0,85
9	Линзы		0,50	0,71	0,13	0,31	22	Счетчик Гейгера		0,83	0,13	0,88	0,86
10	Дифракционная решетка	*	0,63	0,79	0,25	0,36	23	Фотоэлектр. умножитель	*	0,88	0,08	0,96	0,92
11	Психрометр		0,58	0,83	0,54	0,43	24	Масс-спектрометр		0,92	0,04	0,92	0,93
12	Барометр-анероид		0,25	0,46	0,58	0,46	25	Пр-р для изучения ЯМР	*	1,00	0,00	1,00	1,00

отобрать 11 объектов (приборов), у которых ДС более менее равномерно изменяется от 0 до 1; они отмечены звездочками. Эти объекты могут быть использованы для оценки других ФПиУ в качестве базовой шкалы ДС.

Для оценки 50 приборов были организованы запросы к нейросети *Qwen*, с помощью которых оценивались X_1 , X_2 и X_3 для каждого ФПиУ путем их сравнения со списком из 11 объектов, считающихся эталонным. Например, запрос для оценки X_1 выглядит так: «Сложность объяснения работы прибора или устройства зависит от: 1) абстрактности используемых понятий; 2) необходимости оперировать невидимыми или гипотетическими сущностями (молекулы, поля, электроны и т.п.); 3) сложности физических принципов и законов, лежащих в основе функционирования прибора.

Имеется список приборов *A* (50 объектов): 1) штангенциркуль: основная шкала, нониус, измерительные губки, глубиномер, стопорный винт (принцип нониуса, точность измерения, цена деления, линейное измерение); 2) секундомер: маятник, регулируемый груз, анкерный механизм, заводная пружина (период колебаний, частота, гармонические колебания, кварцевая стабилизация, темп, изохронность); 3) весы рычажные: коромысло, опорная призма, грузоприёмные чашки, стрелка-указатель, шкала, разновесы (принцип рычага, момент силы, равновесие, гравитация, масса); ... 50) генератор синусоидального сигнала на транзисторе: транзисторы, резисторы, конденсаторы, катушка индуктивности, источник питания (автогенератор, положительная обратная связь, частотная стабильность).

Дан список приборов *B* (11 объектов): 1) Линейка: прямоугольная пластина, шкала с миллиметровыми делениями, нулевая отметка, торцевой упор (линейные измерения, цена деления, метрическая система); 2) Динамометр: пружина, корпус, шкала с делениями в ньютонах, указатель, крюк для приложения силы, ограничитель хода (закон Гука, упругая деформация, сила, калибровка, предел измерения, жёсткость пружины); ... ; 13) прибор для изучения ЯМ-резонанса: сверхпроводящий магнит, радиочастотная катушка, пробный стакан с образцом, градиентные катушки, приёмник и компьютерная система обработки (ядерный спин, магнитный момент, прецессия Лармора, резонансное поглощение, время релаксации).

Необходимо каждый прибор из списка *A* сравнить с каждым прибором из списка *B* по характеристике: сложность объяснения работы прибора ученику (студенту). Используй шкалу +1 (больше), 0, -1 (меньше). Для каждого из 50 объектов из списка *A* получи одномерную матрицу из 11 оценок».

Аналогичным методом были определены и другие характеристики приборов из списка *A*, после чего вычислена их дидактическая сложность ДС. Полученные оценки были подвергнуты нормировке так, чтобы самому простому прибору соответствовала ДС = 0, а самому сложному ДС = 1. Данная последовательность действий была выполнена дважды. В результате усреднения получились представленные ниже значения ДС: рычаг – 0; штангенциркуль – 0,04; микрометр – 0,06; маятник пружинный – 0,10; весы рычажные – 0,14; секундомер – 0,15; физический маятник – 0,16; призма стеклянная – 0,19; манометр – 0,30; барометр ртутный – 0,36; электромагнит – 0,37; акустический резонатор – 0,37; гироскоп – 0,39; омметр – 0,43; термометр цифровой – 0,44; микрофон или динамик – 0,44; трансформатор – 0,50; микроскоп – 0,51; телескоп – 0,52; фотоаппарат – 0,52; рефрактометр – 0,52; электродвигатель – 0,53; генератор переменного тока – 0,53; счетчик энергии – 0,55; ваттметр – 0,60; поляриметр – 0,61; фотодиод – 0,61; вакуумный насос – 0,62; холодильная установка – 0,62; фотоэлемент – 0,65; эхолот – 0,66; двигатель внутреннего сгорания – 0,68; интерферометр Майкельсона – 0,69; усилитель – 0,69; анализатор спектра звука – 0,69; пирометр – 0,70; генератор синусоидального сигнала на транзисторе – 0,73; интерферометр Фабри – Перо – 0,73; генератор сигналов – 0,74; тепловизор – 0,78; магнетометр – 0,79; криостат – 0,87; голографическая установка – 0,89; радиолокационная установка – 0,89; сцинтилляционные детекторы – 0,89; камера Вильсона – 0,94; пузырьковая камера – 0,94; циклотроны – 1; линейные ускорители – 1. Из сравнения двух результатов оценки ДС приборов следует, что их погрешность около 10%. Коэффициент корреляции между ними, вычисленный в *Excel*, составляет 0,96.

Заключение

Показана эффективность применения нейросетевых технологий и метода парных сравнений для количественной оценки дидактической сложности физических приборов и устройств. Для 75 приборов определены: 1) сложность объяснения работы прибора или устройства; 2) возможность наблюдения за работой прибора (устройства); 3) сложность конструкции прибора и его использования; 4) общая дидактическая сложность. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации учебного процесса, а также при проектировании учебных программ, дифференциации заданий, разработке интерактивных моделей и виртуальных лабораторий.

Литература

1. Абраменко Г.В. Применение системного анализа при исследовании сложных технических систем [Текст] / Г.В. Абраменко, Д.В. Васильков, А.И. Григорьев. — М.: Изд-во ЦНИИХМ, 2010. — 256 с.
2. Кудж С.А. Факторы когнитивной сложности [Текст] / С.А. Кудж, В.Я. Цветков // Информационные технологии в науке, образовании и управлении. — 2018. — № 6. — С. 34–41.
3. Люгер Д.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем [Текст] / Д.Ф. Люгер. — М.: Вильямс, 2003. — 864 с.
4. Майер Р.В. Сложность решения учебной задачи [Текст]: монография / Р.В. Майер. — Глазов: Изд-во ГИПУ, 2026. — 170 с.

References

1. Abramenko G.V., Vasil'kov D.V., Grigor'ev A.I. Primenenie sistemnogo analiza pri issledovanii slozhnykh tekhnicheskikh sistem. Moscow: CNIИHM, 2010. 256 p.
2. Kudzh S.A., Tsvetkov V.Ja. Faktory kognitivnoj slozhnosti // Informatsionnye tehnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii. 2018. № 6. pp. 34–41.
3. Ljuger D.F. Iskusstvennyj intellekt: strategii i metody reshenija slozhnykh problem. Moscow: Vil'jams, 2003. 864 p.
4. Mayer R. V. Slozhnost' reshenija uchebnoj zadachi: monografija. Glazov: GIPU, 2026. 170 p.

5. Микони С.В. Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов [Текст]: монография / С.В. Микони, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов. — М.: РАН, 2018. — 314 с.
6. Наймушина О.Э. Многофакторная оценка сложности учебных заданий [Текст] / О.Э. Наймушина, Б.Е. Стариченко // Образование и наука. — 2010. — № 2. — С. 58–70.
7. Checkland P., Scholes J. Soft System Methodology in Action. John Wiley & Sons Ltd, 1990. 346 p.
8. Manning C. D., Raghavan P., Schutze H. An Introduction to Information Retrieval. Cambridge University Press, 2008. 544 p.
9. Sweller J., Ayres P., Kalyuga S. Cognitive Load Theory. New York: Springer. 2011. 274 p.
10. Tsvetkov V.Ya. Complexity Index // European Journal of Technology and Design. 2013, vol. 1, no. 1, pp. 64–69.

5. Mikoni S.V., Sokolov B.V. Jusupov R.M. Kvalimetrija modelej i polimodel'nykh kompleksov: monografija. Moscow: RAN, 2018. 314 p.
6. Najmushina O.Je., Starichenko B.E. Mnogofaktornaja otsenka slozhnosti uchebnykh zadaniy // Obrazovanie i nauka. 2010. № 2, pp. 58–70.
7. Checkland P., Scholes J. Soft System Methodology in Action. John Wiley & Sons Ltd, 1990. 346 p.
8. Manning C. D., Raghavan P., Schutze H. An Introduction to Information Retrieval. — Cambridge University Press, 2008. 544 p.
9. Sweller J., Ayres P., Kalyuga S. Cognitive Load Theory. New York: Springer. 2011. 274 p.
10. Tsvetkov V.Ya. Complexity Index // European Journal of Technology and Design. 2013, vol. 1, no. 1, pp. 64–69.