SOLO-УРОВНЕВЫЕ ГРАФИЧЕСКИЕ КЕЙСЫ КАК СРЕДСТВО РАЗВИТИЯ ТВОРЧЕСКОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКЕ

Джумабаева Ф.И.
Вохидов Д.А.
Каюмов Х.А.
Ташкентский государственный транспортный университет

Annotation. *The credit-module system allocates about half or more of the study load of engineering students to independent learning, yet in engineering graphics this time is still spent mainly on reproducing standard drawings. The paper reports a design-based study carried out at Tashkent State Transport University whose aim was to redesign the independent work of first-year students as a system of graphic cases levelled by the SOLO taxonomy. A content analysis of the 100-hour computational-graphic work showed that 50 hours were devoted to reproductive, 40 to reconstructive and 10 to partially exploratory activity, with no creative tasks at all. A typology of four graphic cases (structured, situational-exploratory, TRIZ-contradiction and project cases), a seven-step case design algorithm and a two-week learning cycle were developed. Applied to all six tasks without changing their number, deadlines or total volume, they redistributed the hours to 22/30/27/21, respectively. A worked example on a ventilation elbow shows how a single task leads students from constructing a section to a segmented elbow whose developments fill one sheet without waste. The system is completed by a SOLO-matrix rubric with evidence indicators and a protocol for the use of generative artificial intelligence. The results provide a replicable way of turning existing independent-study hours into a staged path towards creative engineering activity.*

Keywords. *engineering graphics, independent learning, creative activity, SOLO taxonomy, graphic case, TRIZ, generative artificial intelligence, credit-module system.*

Аннотация. *В кредитно-модульной системе около половины и более учебной нагрузки студентов технических направлений отводится на самостоятельную работу, однако по инженерной графике это время по-прежнему расходуется главным образом на воспроизведение типовых*

чертежей. В статье представлены результаты проектного исследования, выполненного в Ташкентском государственном транспортном университете, цель которого – перепроектировать самостоятельную работу студентов первого курса в систему графических кейсов, выстроенных по уровням таксономии SOLO. Контент-анализ 100-часовой расчётно-графической работы показал, что 50 часов приходится на репродуктивную, 40 – на реконструктивную и 10 – на частично-поисковую деятельность, а творческие задания отсутствуют. Разработаны типология из четырёх видов графических кейсов (структурированные, ситуационно-поисковые, ТРИЗ-противоречивые и проектные), семишаговый алгоритм проектирования кейса и двухнедельный цикл самостоятельной работы. Их применение ко всем шести заданиям без изменения их количества, сроков и общего объёма перераспределило часы в соотношении 22/30/27/21 соответственно. На примере вентиляционного отвода показано, как одно задание ведёт студента от построения сечения к сегментному отводу, развёртки которого размещаются на одном листе без отходов. Система дополнена SOLO-матричной рубрикой с индикаторами-доказательствами и протоколом использования генеративного искусственного интеллекта. Результаты дают воспроизводимый способ превратить имеющиеся часы самостоятельной работы в поэтапный путь к творческой инженерной деятельности.

Ключевые слова: *инженерная графика, самостоятельная работа, творческая деятельность, таксономия SOLO, графический кейс, ТРИЗ, генеративный искусственный интеллект, кредитно-модульная система.*

Введение. Содержание инженерной деятельности быстро меняется: проектирование всё чаще осуществляется с использованием цифровых моделей, параметрических систем и инструментов искусственного интеллекта, а от инженера ожидается не воспроизведение известного решения, а принятие самостоятельных решений в плохо определённых ситуациях. В докладе Всемирного экономического форума «Будущее рабочих мест — 2025» аналитическое и творческое мышление, самоуправление и непрерывное обучение отнесены к наиболее востребованным работодателями навыкам [1]. В то же время в оценивании творческого мышления PISA 2022 учащиеся Узбекистана в возрасте 15 лет набрали в среднем 14 баллов из 60 против среднего показателя ОЭСР 33 балла [2]. Большинство этих молодых людей поступают в высшие учебные заведения, имея небольшой опыт выполнения

открытых творческих заданий, и первые инженерные дисциплины должны восполнять этот пробел.

В Узбекистане переход к кредитно-модульной системе, установленный Концепцией развития высшего образования до 2030 года [3] и нормативными документами по организации образовательного процесса [4], сделал самостоятельное обучение значительной частью учебной нагрузки. Инженерная графика, являясь первым курсом, в котором формируется инженерное мышление, представляет собой дисциплину, где самостоятельное обучение может стать творческой самостоятельной работой. Однако на практике часы самостоятельной работы по-прежнему преимущественно расходуются на воспроизведение типовых чертежей, а инновационные методы используются изолированно друг от друга.

Международные исследования дают несколько исходных ориентиров. S.A. Sorby показала, что целенаправленная тренировка пространственной визуализации в 3D улучшает результаты обучения и сохранение знаний у студентов инженерных специальностей [5]; G. Marunić и V. Glažar продемонстрировали, что пространственные способности развиваются в процессе изучения инженерной графики [6]; T. Kösa и F. Karakuş в экспериментальном исследовании установили, что работа с программным обеспечением автоматизированного проектирования (CAD) улучшает навыки пространственной визуализации студентов инженерных специальностей [7]. Эти исследования подтверждают формирующую роль инженерной графики, но в основном рассматривают навыки визуализации и воспроизведения, а не принятие проектных решений.

Методы активного обучения являются ещё одним ориентиром. Метаанализ S. Freeman и соавт. показал, что активное обучение повышает успеваемость студентов и снижает показатели неуспеваемости в естественно-научных, инженерных и математических дисциплинах [8]; C.K. Lo и K.F. Hew обнаружили положительный эффект перевёрнутого класса в инженерном образовании, особенно при использовании коротких тестов перед занятием [9]. В инженерной графике N. Olmedo-Torre и соавт. предложили учебный дизайн на основе проблемного обучения [10], S. Vdovinskienė применила перевёрнутый класс при обучении инженерной графике [11], а R.R. Sola-Guirado и соавт. обучали инструментам CAD/CAM/CAE посредством проектного обучения в дистанционном образовании [12]. Эти исследования преобразуют аудиторную деятельность, тогда как вопрос о том, как сами часы

самостоятельной работы должны быть структурированы по когнитивному уровню, остаётся открытым.

Таксономия SOLO (Structure of the Observed Learning Outcome — структура наблюдаемого результата обучения) J. Biggs и K. Collis [13] предлагает такую структуру. Она различает предструктурный, одноструктурный, многоструктурный, реляционный и расширенно-абстрактный уровни и в сочетании с конструктивным согласованием требует, чтобы результат обучения, учебная деятельность и оценивание были выражены на одном и том же уровне [14]. C.C. Chan и соавт. подтвердили применимость SOLO для оценивания результатов обучения [15]; C.F. Leung использовал её для измерения проектной деятельности студентов дизайна и технологий [16]; C. Brabrand и B. Dahl проанализировали прогрессирование компетенций в университетских естественно-научных программах с помощью SOLO [17]; R.H. Todaro и соавт. недавно интегрировали таксономии Bloom, Fink и SOLO в систему планирования, обучения и оценивания в инженерном образовании [18].

Творчество является вторым ключевым понятием. S.R. Daly и соавт. исследовали, как преподаётся творчество на инженерных курсах [19], а D.H. Cropley обосновал необходимость систематического развития творчества и инновационности в инженерном образовании [20]. Особенно эффективны структурированные методы развития творчества: Y.-S. Chang и соавт. показали, что обучение ТРИЗ повышает творческие способности студентов инженерных специальностей [21], а J.D. Cano-Moreno и соавт. подтвердили это с помощью подхода TRIZ10 в обучении инженерному проектированию [22]; недавний обзор Y. Tekmen-Araci обобщает подходы к обучению творчеству в инженерных школах [23].

Генеративный искусственный интеллект (ИИ) сделал эту проблему ещё более актуальной. M. Urban и соавт. установили, что ChatGPT улучшил показатели творческого решения задач у студентов университетов [24], а B.C. Lee и J. Chung наблюдали повышение творческого потенциала генерируемых идей [25]; с другой стороны, систематический обзор C. Zhai и соавт. показал, что чрезмерная зависимость от диалоговых систем ИИ ослабляет критическое и аналитическое мышление [26]. H. Guo и соавт. экспериментально исследовали влияние решения задач на основе контента, сгенерированного ИИ, на творческие способности студентов инженерных специальностей [27], а A. Johri и соавт. рассмотрели последствия использования генеративного ИИ для инженерного образования [28]. Поэтому необходимы чёткие правила, а не

запрет, как рекомендует ЮНЕСКО [29]. Наконец, исследования в области обучения CAD подчёркивают важность замысла проектирования и повторного использования параметрических моделей [30], а также ценность явно заданных критериев оценивания [31].

Таким образом, организация самостоятельного обучения, развитие пространственных и творческих способностей, а также использование инновационных методов изучались по отдельности, в том числе в Узбекистане [32], [33]. Однако проектирование часов самостоятельной работы по инженерной графике как системы графических кейсов, выстроенных по уровням SOLO и объединяющих case-study, ТРИЗ, параметрический CAD и ИИ в одном учебном цикле, ранее не рассматривалось. Цель данной статьи — обосновать такую систему и на примере расчётно-графической работы по курсу «Инженерная графика» показать, как существующие часы могут быть преобразованы в поэтапный путь к творческой деятельности.

Методы. Исследование выполнено в логике дизайн-ориентированного исследования и проведено на кафедре информатики и компьютерной графики Ташкентского государственного транспортного университета. Объектом проектирования являлась самостоятельная работа студентов первого курса по дисциплине «Инженерная графика», которая организована преимущественно в форме 100-часовой расчётно-графической работы (РГР), состоящей из шести заданий формата А3, сдаваемых каждые две недели (табл. 1).

Исследование включало четыре этапа. На первом этапе были проанализированы формулировки заданий РГР и сорока заданий двуязычного учебного пособия кафедры: ведущие глаголы, структура индивидуальных вариантов и наличие заданий, требующих поиска ошибок, сравнения методов, обоснования выбора или создания собственного примера. Каждое задание было классифицировано по типологии самостоятельной работы П.И. Пидкасистого [34] — репродуктивной, реконструктивно-вариативной, частично-поисковой и творческой — и часы задания были распределены между этими типами. На втором этапе четыре типа были соотнесены с уровнями SOLO: репродуктивная деятельность — с одноструктурным уровнем (U), реконструктивная — с многоструктурным (M), частично-поисковая — с реляционным (R), творческая — с расширенно-абстрактным уровнем (EA). На третьем этапе были разработаны типология графических кейсов и алгоритм проектирования кейса и применены к каждому заданию РГР при условии сохранения учебной программы, количества заданий, сроков их выполнения и общего объёма 100 часов. На четвёртом этапе были разработаны

инструменты оценивания и сопровождения: SOLO-матричная рубрика, классификатор типичных ошибок и протокол использования генеративного ИИ. Геометрические результаты разобранного примера были получены аналитически и проверены с помощью параметрической модели. Эффективность системы проверяется в отдельном педагогическом эксперименте; его результаты в данной работе не приводятся.

Таблица 1

Структура расчётно-графической работы и тип самостоятельной деятельности (традиционная организация)

№	Задание	Неделя	Часы	Ведущие глаголы	Часы U/M/R/EA
1	Анализ прямой линии, заданной координатами в ортогональных и аксонометрических проекциях	3	15	построить, определить	15/0/0/0
2	Метрические и позиционные задачи: расстояние от точки до плоскости, линия пересечения двух плоскостей	5	15	построить, определить	5/10/0/0
3	Пересечение поверхности плоскостью, истинная форма сечения, развёртка поверхности	7	15	построить	0/15/0/0
4	CAD-чертёж детали с сопряжениями и нанесением размеров в 2D	9	15	выполнить, начертить	15/0/0/0
5	Третий вид по двум заданным видам, сечение и аксонометрический вид в CAD (2D и 3D)	11	20	построить, выполнить	0/10/10/0
6	Чертёж и 3D-модель болтового соединения в CAD	13	20	выполнить, начертить	15/5/0/0
	Итого		100		50/40/10/0

Результаты и обсуждение.

Диагностика существующей самостоятельной работы. Шесть заданий охватывают основные разделы курса — теорию проецирования, метрические и позиционные задачи, поверхности, проекционное черчение и соединения, — а сроки их выполнения равномерно распределены в течение семестра. Однако формулировки всех заданий начинаются с глаголов «построить», «выполнить» или «начертить» и требуют применения известного алгоритма; индивидуальные варианты различаются только исходными данными, тогда как структура задачи для всех одинакова. Задания 1, 4 и 6 являются преимущественно репродуктивными, задания 2 и 3 — реконструктивно-вариативными, и только часть задания 5 (восстановление третьего вида по

двум заданным) является частично-поисковой. В целом 50 из 100 часов приходятся на репродуктивную деятельность, 40 — на реконструктивную и только 10 — на частично-поисковую, при полном отсутствии творческих заданий (табл. 1). Такая же картина выявлена в учебном пособии: почти все задания сформулированы как «построить», «определить» или «записать», а задания, требующие найти ошибку, решить задачу двумя способами и сравнить методы, обосновать выбор или составить собственный пример, практически отсутствуют. В терминах SOLO самостоятельная работа останавливается на многоструктурном уровне: студенты выполняют правильные, но не связанные между собой операции.

Типология графических кейсов. Под графическим кейсом здесь понимается профессиональная ситуация, представленная преимущественно в графической форме (чертёж, эпюр Монжа, эскиз или файл модели), которая содержит неполный, ошибочный или противоречивый элемент и требует от студента достижения определённого уровня SOLO для её решения. При проектировании кейсов применялись семь требований: профессиональный (транспортный) контекст, графическая форма исходных данных, уровневое построение по SOLO, наличие технического противоречия на верхних уровнях, индивидуальные варианты равной сложности, проверяемость решения по стандарту, в CAD-системе или по модели, а также временная норма, не превышающая часы задания. На этой основе выделены четыре типа графических кейсов (табл. 2). Каждый тип перемещает студента на одну ступень вверх по лестнице SOLO, благодаря чему кейсы образуют систему, а не набор отдельных упражнений.

Таблица 2

Типология графических кейсов

Тип кейса	Переход SOLO	Дидактическая цель	Пример в инженерной графике	Продукт
Структурированный	U → M	освоение алгоритма, выполнение всех элементов	проекции точки, отрезка или плоскости по координатам (например, наклонный раскос опоры путепровода)	полный эпюр Монжа или чертёж

Тип кейса	Переход SOLO	Дидактическая цель	Пример в инженерной графике	Продукт
Ситуационно-поисковый	M → R	установление связей между элементами, поиск ошибок, выбор и обоснование метода	анализ ошибочного чертежа; восстановление третьего вида; решение задачи двумя способами	исправленный чертёж с обоснованием
ТРИЗ-противоречивый	R → EA	выявление и разрешение технического противоречия	минимизация числа видов; предотвращение подрезания зуба; выбор угла косынки	ТРИЗ-карта, альтернативные эскизы, выбранное решение
Проектный	EA	перенос знаний, создание интегрированного проекта	выбор соединения для узла транспортной рамы и построение его параметрической модели	параметрическая модель, чертежи, защита

Типология опирается на различение D.H. Jonassen проблем по степени их структурированности [36], а на верхних уровнях использует понятие технического противоречия G.S. Altshuller [35]. В кейсе с ТРИЗ-противоречием сам поиск решения становится проблемой: студент должен сформулировать противоречие в форме «если…, то…, но…», определить идеальный конечный результат и предложить как минимум два решения. Для студентов первого курса полный аппарат ТРИЗ слишком сложен, поэтому используется упрощённая ТРИЗ-карта из восьми пунктов (система и функция; что следует улучшить; что ухудшается; противоречие; идеальный конечный результат; выбранные принципы; эскизы как минимум двух решений; результат проверки в CAD).

Алгоритм проектирования кейса. Каждый графический кейс проектируется в семь шагов: (1) результат обучения по заданию переписывается на языке SOLO с использованием глаголов, соответствующих уровню: «определяет» и «строит по алгоритму» (U), «выполняет», «представляет», «наносит размеры» (M), «восстанавливает», «сравнивает», «находит и обосновывает ошибку» (R), «проектирует», «обобщает», «предлагает новое решение» (EA); (2) выбирается профессиональный контекст транспортного машиностроения (элементы путепроводов и ферм, трубные отводы и воздуховоды, кронштейны и фланцы, узлы рам и корпуса

редукторов); (3) создаётся графическая ситуация: неполная (отсутствует проекция), ошибочная (преднамеренно внесены типичные ошибки) или противоречивая (два конфликтующих требования); (4) формулируются четыре задания по уровням; (5) для каждого уровня определяются индикаторы-доказательства и рубрика; (6) прилагаются ресурсы (видеомикролекция, шаблон DWT, таблицы стандартов и правило использования ИИ); (7) кейс апробируется на трёх-пяти студентах и корректируется. Работа с каждым кейсом осуществляется по двухнедельному циклу: подготовка с микролекцией и коротким тестом, анализ кейса с использованием графических организаторов, разрешение противоречия, параметрическое моделирование в CAD и рефлексия с самооценкой и взаимооценкой.

Перепроектирование расчётно-графической работы. Алгоритм был применён ко всем шести заданиям РГР. Содержание, формат, сроки и количество часов каждого задания были сохранены; изменились распределение часов между типами деятельности и формулировки заданий (табл. 3).

Таблица 3

Перепроектирование расчётно-графической работы как системы SOLO-уровневых графических кейсов

Задание РГР	Содержание уровней	Часы U/M/R/EA новые (традиционные)
Прямая линия (15 ч)	U — проекции и аксонометрия отрезка; M — положение, следы, истинная длина и углы наклона; R — поиск и обоснование трёх ошибок в ошибочном эпюре	6/6/3/0 (15/0/0/0)
Метрические и позиционные задачи (15 ч)	U — перпендикуляр из точки к плоскости; M — линия пересечения двух плоскостей и видимость; R — кратчайшее расстояние, найденное двумя методами и сравнённое	4/6/5/0 (5/10/0/0)
Сечение поверхности, развёртка (15 ч)	U — точки сечения; M — линия сечения и её истинная форма; R — развёртка, проверенная моделью; EA — вентиляционный отвод с минимальными отходами материала	3/5/4/3 (0/15/0/0)

Задание РГР	Содержание уровней	Часы U/M/R/EA новые (традиционные)
Деталь с сопряжениями, CAD 2D (15 ч)	U — контур; M — сопряжения и размеры; R — геометрические и размерные ограничения, обоснование ключевых размеров; EA — семейство деталей, управляемое таблицей параметров	3/4/4/4 (15/0/0/0)
Третий вид, сечение, аксонометрия (20 ч)	U — контуры третьего вида; M — сечение, штриховка, размеры; R — сравнение видов, полученных из 3D-модели, с построенными вручную; EA — ТРИЗ-кейс: полное определение формы при минимальном числе видов	3/5/6/6 (0/10/10/0)
Болтовое соединение, 3D-модель (20 ч)	U — выбор стандартных крепёжных изделий по таблицам; M — сборочный чертёж; R — 3D-сборка и проверка интерференции; EA — выбор типа соединения для узла рамы и обоснование его параметрической модели	3/4/5/8 (15/5/0/0)
Итого (100 ч)		22/30/27/21 (50/40/10/0)

В результате перепроектирования количество часов репродуктивной деятельности уменьшилось с 50 до 22, а реконструктивной — с 40 до 30, тогда как частично-поисковая деятельность увеличилась с 10 до 27 часов, и 21 час был выделен на творческую деятельность (рис. 1а). Нижние уровни не были исключены: 52 часа остаются репродуктивными или реконструктивными, поскольку без них невозможно достичь верхних уровней и поскольку для начинающих студентов разобранные примеры эффективнее, чем самостоятельный поиск без руководства [37]. На рис. 1б показана динамика в течение семестра: в первых заданиях доминируют нижние уровни, а к концу семестра возрастает доля реляционного и расширенно-абстрактного уровней в соответствии с принципом постепенного уменьшения руководства. Таким образом, система кейсов изменяет характер самостоятельной работы без увеличения нагрузки на студентов или объёма учебной программы.

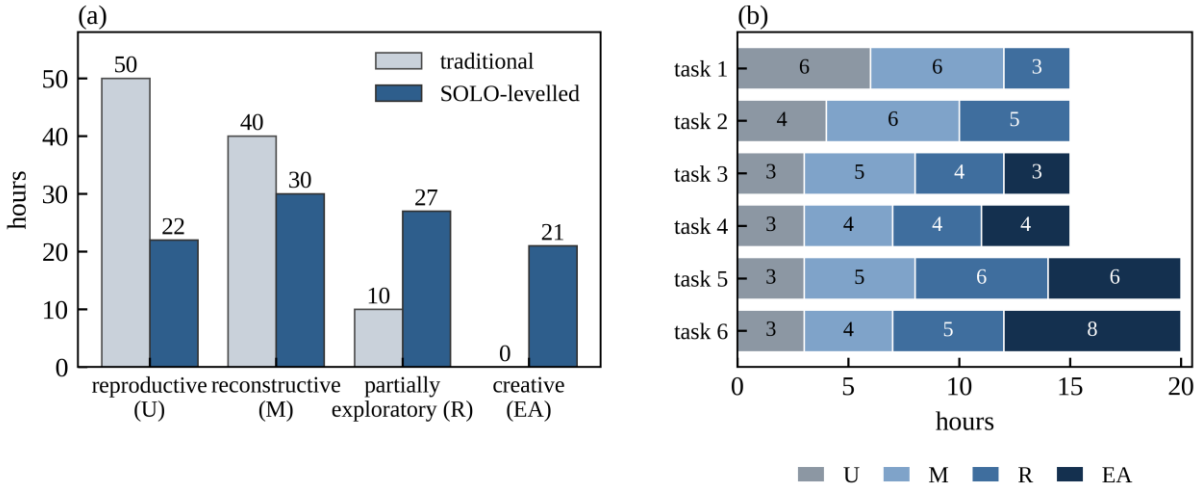


Рис. 1. Часы самостоятельной работы РГР: а) по типу деятельности при традиционной и SOLO-уровневой организации; б) по уровню SOLO в каждом перепроектированном задании

Разобранный пример: кейс «Вентиляционный отвод». Перепроектированное задание 3 сформулировано как профессиональная ситуация: «В вентиляционной системе ремонтного цеха для транспортных средств два цилиндрических воздуховода диаметром D = 200 мм соединяются под прямым углом. Для изготовления отвода из листового металла необходимы чертёж и развёртка». На одноструктурном уровне (3 ч) студент находит точки сечения цилиндра фронтально-проецирующей плоскостью под углом 45°, используя двенадцать образующих. На многоструктурном уровне (5 ч) линия сечения завершается с учётом видимости, а её истинная форма определяется заменой плоскостей проекций: это эллипс с малой осью 200 мм и большой осью $200 \cdot \sqrt{2} \approx 282{,}8$ мм. На реляционном уровне (4 ч) строится развёртка пересечённого цилиндра: её длина составляет $\pi D \approx 628{,}3$ мм, а линия сечения становится синусоидой с амплитудой, равной радиусу, 100 мм. Студент проверяет развёртку с помощью бумажной модели или в CAD и объясняет, почему сечение является эллипсом, тогда как его изображение на развёртке является синусоидой.

На расширенно-абстрактном уровне (3 ч) вводится противоречие: двухсекционный отвод прост в изготовлении, но создаёт большое сопротивление воздушному потоку, тогда как плавный отвод аэродинамически эффективен, но сложен в изготовлении из листового металла. Используя принцип сегментации ТРИЗ, студент проектирует четырёхсекционный отвод с радиусом изгиба R = 300 мм, состоящий из двух половинных сегментов и двух полных сегментов (рис. 2а). Каждый стык

изменяет направление на 30°, поэтому плоскости резки наклонены на β = 15° к нормальному сечению. Длина образующей половинного сегмента определяется формулой

$$L(\varphi) = \frac{h}{2} + a\cos\varphi, \qquad h = 2R\tan\beta, \qquad a = r\tan\beta, \tag{1}$$

где φ — угловая координата образующей, измеренная от внешней стороны изгиба, а r = D/2; для заданных данных h = 160,8 мм и a = 26,8 мм. Наиболее интересным для студентов является то, что если каждый второй сегмент повернуть на 180° вокруг своей оси, линии реза соседних сегментов совпадают. Развёртки всех четырёх сегментов тогда ограничиваются линиями

$$y_k(\varphi) = (2k-1)\frac{h}{2} + (-1)^{k+1}a\cos\varphi, \qquad k = 1,2,3, \qquad \varphi = \frac{2x}{D}, \tag{2}$$

где x — координата вдоль развёрнутой окружности, и вместе они заполняют один прямоугольник размером πD × 6Rtanβ = 628,3 × 482,3 мм без отходов, за исключением припусков на швы (рис. 2б). Студент, получающий этот результат, переносит знания в новую ситуацию и учитывает инженерный критерий — экономию материала, что является очевидным свидетельством расширенно-абстрактного уровня.

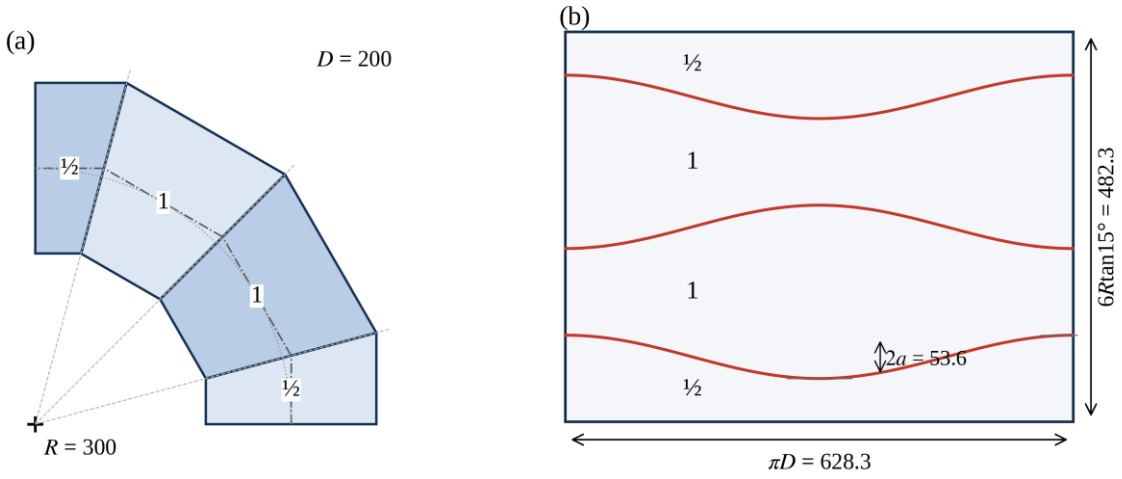


Рис. 2. Четырёхсекционный вентиляционный отвод (D = 200 мм, R = 300 мм): а) вид сбоку с плоскостями стыков; б) размещение развёрток всех сегментов на одном листе (размеры в мм)

Кейс также позволяет легко различать уровни SOLO по решениям: на предструктурном уровне точки сечения отмечены без проекционных связей; на одноструктурном уровне они правильны в одной проекции, но эллипс в профильном виде построен неверно; на многоструктурном уровне сечение, его истинная форма и развёртка построены, однако длины образующих на

развёртке не соответствуют сечению; на реляционном уровне все три элемента согласованы, и студент может объяснить связи между ними; на расширенно-абстрактном уровне результат обобщается на сегментный отвод, обосновывается число сегментов, а решение проверяется с помощью параметрической модели.

Оценивание и обратная связь. Решение графического кейса оценивается по 100-балльной рубрике по четырём критериям — геометрическая точность (30 баллов), соответствие стандартам ЕСКД и ГОСТ (30), выбор и выполнение сечений (20), инструментальная эффективность, то есть рациональное использование инструментов CAD и параметрических ограничений (20), — вместе с уровнем SOLO решения (табл. 4). В соответствии с компетентностной моделью R.H. Todaro и соавт., интегрирующей SOLO в планирование и оценивание [18], каждый уровень описывается не только результатом, но и индикатором-доказательством на чертеже и следующим действием преподавателя, что придаёт рубрике формирующую функцию. Рубрика дополнена классификатором типичных ошибок: ошибки оформления (1.1 — тип и толщина линии; 1.2 — нанесение размеров), проекционные ошибки (2.1 — нарушение проекционных связей; 2.2 — сечения) и цифровые инструментальные ошибки (3.1 — несоединённые линии и неиспользованные объектные привязки или ограничения в CAD). Обратная связь предоставляется с помощью кодов ошибок, а студенты используют классификатор как контрольный список для самопроверки и взаимооценивания.

Таблица 4

SOLO-матричная рубрика для оценивания решения графического кейса

Уровень SOLO (баллы)	Наблюдаемый результат	Индикатор-доказательство	Действие преподавателя
Предструктурный (0–34)	правила проецирования не поняты	виды не связаны друг с другом и геометрически неверны	повторное объяснение системы Монжа с помощью физической модели; структурированный кейс
Одноструктурный (35–49)	правильно выполнен один аспект	один вид выполнен правильно, остальные содержат проекционные ошибки	упражнения на связи между видами

Уровень SOLO (баллы)	Наблюдаемый результат	Индикатор-доказательство	Действие преподавателя
Многоструктурный (50–64)	элементы присутствуют, но не связаны	виды присутствуют, но сечения, размеры или сопряжения не согласуются	контрольный список, взаимооценивание
Реляционный (65–79)	элементы интегрированы в целое	виды согласованы, сечение обосновано, 3D-форма может быть восстановлена	запрос альтернативного решения и обоснованного выбора
Расширенно-абстрактный (80–100)	знания перенесены, противоречие разрешено	нестандартное, технически обоснованное решение; параметрическая модель адаптируется к изменениям	открытый проектный кейс, роль наставника

Протокол использования генеративного ИИ. Использование инструментов ИИ не запрещается, но регулируется четырёхэтапным протоколом: (1) самостоятельное решение — студент выполняет эскиз и первый вариант без ИИ и загружает его в систему управления обучением; (2) диалог — студент не запрашивает готовое решение, а задаёт вопросы по поводу собственного решения, используя шаблон запроса («Я решил задачу следующим образом… Есть ли ошибка в проекционных связях или в стандартах? Не давайте мне ответ; направляйте меня вопросами»); (3) критическая проверка — каждое предложение проверяется по стандартам, геометрическим правилам и CAD-модели, а непроверенные рекомендации не включаются; (4) раскрытие и рефлексия — студент заполняет декларацию, указывая, на каком этапе и для какой цели использовался ИИ и что изменилось в решении. Протокол сохраняет отмеченный в [24], [25] творческий эффект ИИ и одновременно препятствует чрезмерной зависимости, описанной в [26].

Обсуждение. Предложенная система согласуется с рассмотренными выше результатами исследований. Уровневое построение заданий по SOLO реализует конструктивное согласование [14] на уровне самостоятельной работы и следует логике прогрессирования компетенций, проанализированной в [17], [18]; кейсы с ТРИЗ-противоречиями вводят в самостоятельную работу структурированные методы развития творчества, эффективность которых для студентов инженерных специальностей экспериментально показана [21], [22]; инструменты самопроверки (стандарты,

CAD-модели, параметрические ограничения) обеспечивают обратную связь, которой в самостоятельном обучении обычно не хватает. Главное отличие от более ранних работ по кейс- и проектным методам в инженерной графике [10]–[12], [33] заключается в том, что кейсы не добавляются к курсу как отдельные виды деятельности, а встраиваются в существующие задания и часы, поэтому подход не требует изменений учебной программы. Следует отметить два риска. Первый — время, необходимое для подготовки кейсов; оно сокращается за счёт создания на уровне кафедры банка из 24 кейсов (четыре типа для каждого из шести заданий) и ежегодного обновления только вариантов. Второй — сложность верхних уровней для более слабых студентов; она смягчается двумя индивидуальными траекториями — базовой, в которой обязательны первые два уровня каждого кейса, и продвинутой, в которой обязательны третий и четвёртый уровни. Ограничение настоящего исследования состоит в том, что в нём представлены проектирование системы и её аналитическое обоснование; влияние на результаты обучения является предметом продолжающегося квазиэксперимента.

Выводы. Исследование показывает, что самостоятельная работа студентов первого курса по инженерной графике может быть перепроектирована от воспроизведения к творческой деятельности без изменения учебной программы или учебной нагрузки. Контент-анализ 100-часовой расчётно-графической работы выявил распределение 50/40/10/0 часов между репродуктивной, реконструктивной, частично-поисковой и творческой деятельностью. Типология четырёх графических кейсов, связанных с переходами между уровнями SOLO, семишаговый алгоритм проектирования и двухнедельный учебный цикл позволили перераспределить эти часы в соотношении 22/30/27/21 при сохранении количества, содержания, сроков и объёма заданий. Разобранный пример вентиляционного отвода показывает, как одно задание ведёт студентов от построения сечения к сегментному отводу, развёртки которого размещаются на одном листе без отходов. SOLO-матричная рубрика, классификатор типичных ошибок и протокол использования ИИ делают уровни наблюдаемыми и оцениваемыми. Подход может быть перенесён на другие графические дисциплины; его влияние на творческую самостоятельную работу студентов будет представлено после завершения педагогического эксперимента.

References

1. World Economic Forum. The Future of Jobs Report 2025. Geneva: WEF, 2025.

2. OECD. PISA 2022 Results (Volume III): Creative Minds, Creative Schools. Paris: OECD Publishing, 2024. DOI: 10.1787/765ee8c2-en.

3. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. PF-5847 dated October 8, 2019 “On approval of the Concept for the development of the higher education system of the Republic of Uzbekistan until 2030”. Lex.uz. 2019.

4. Resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan No. 824 dated December 31, 2020 “On measures to improve the system related to the organization of the educational process in higher education institutions”. Lex.uz. 2020.

5. Sorby S.A. Educational research in developing 3-D spatial skills for engineering students, International Journal of Science Education. 2009. Vol. 31(3). P. 459–480. DOI: 10.1080/09500690802595839.

6. Marunić G., Glažar V. Spatial ability through engineering graphics education, International Journal of Technology and Design Education. 2013. Vol. 23(3). P. 703–715. DOI: 10.1007/s10798-012-9211-y.

7. Kösa T., Karakuş F. The effects of computer-aided design software on engineering students’ spatial visualisation skills, European Journal of Engineering Education. 2018. Vol. 43(2). P. 296–308. DOI: 10.1080/03043797.2017.1370578.

8. Freeman S., Eddy S.L., McDonough M., Smith M.K., Okoroafor N., Jordt H., Wenderoth M.P. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics, Proceedings of the National Academy of Sciences. 2014. Vol. 111(23). P. 8410–8415. DOI: 10.1073/pnas.1319030111.

9. Lo C.K., Hew K.F. The impact of flipped classrooms on student achievement in engineering education: A meta-analysis of 10 years of research, Journal of Engineering Education. 2019. Vol. 108(4). P. 523–546. DOI: 10.1002/jee.20293.

10. Olmedo-Torre N., Peña M., Soriano M., Pujol-Ferran A. Instructional design using PBL active methodologies in the teaching of graphic engineering, Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning. 2025. Vol. 19(1). DOI: 10.14434/ijpbl.v19i1.33426.

11. Vdovinskienė S. Using flipped classroom as an active teaching method for teaching engineering graphics, Baltic Journal of Modern Computing. 2023. Vol. 11(3). P. 383–397. DOI: 10.22364/bjmc.2023.11.3.02.

12. Sola-Guirado R.R., Guerrero-Vacas G., Rodríguez-Alabanda Ó. Teaching CAD/CAM/CAE tools with project-based learning in virtual distance

education, Education and Information Technologies. 2022. Vol. 27(4). P. 5051–5073. DOI: 10.1007/s10639-021-10826-3.

13. Biggs J.B., Collis K.F. Evaluating the quality of learning: The SOLO taxonomy (Structure of the Observed Learning Outcome). New York: Academic Press, 1982. 245 p.

14. Biggs J. Enhancing teaching through constructive alignment, Higher Education. 1996. Vol. 32(3). P. 347–364. DOI: 10.1007/BF00138871.

15. Chan C.C., Tsui M.S., Chan M.Y.C., Hong J.H. Applying the Structure of the Observed Learning Outcomes (SOLO) taxonomy on student’s learning outcomes: An empirical study, Assessment & Evaluation in Higher Education. 2002. Vol. 27(6). P. 511–527. DOI: 10.1080/0260293022000020282.

16. Leung C.F. Assessment for learning: Using SOLO taxonomy to measure design performance of Design & Technology students, International Journal of Technology and Design Education. 2000. Vol. 10(2). P. 149–161. DOI: 10.1023/A:1008937007674.

17. Brabrand C., Dahl B. Using the SOLO taxonomy to analyze competence progression of university science curricula, Higher Education. 2009. Vol. 58(4). P. 531–549. DOI: 10.1007/s10734-009-9210-4.

18. Todaro R.H., Moura R.T., Kurokawa F.A. Competence-based framework for planning, teaching and assessment in engineering education: integrating Bloom’s, Fink’s, and SOLO taxonomies, Frontiers in Education. 2026. Vol. 11. Art. 1787697. DOI: 10.3389/feduc.2026.1787697.

19. Daly S.R., Mosyjowski E.A., Seifert C.M. Teaching creativity in engineering courses, Journal of Engineering Education. 2014. Vol. 103(3). P. 417–449. DOI: 10.1002/jee.20048.

20. Cropley D.H. Promoting creativity and innovation in engineering education, Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts. 2015. Vol. 9(2). P. 161–171. DOI: 10.1037/aca0000008.

21. Chang Y.-S., Chien Y.-H., Yu K.-C., Chu Y.-H., Chen M.Y.-C. Effect of TRIZ on the creativity of engineering students, Thinking Skills and Creativity. 2016. Vol. 19. P. 112–122. DOI: 10.1016/j.tsc.2015.10.003.

22. Cano-Moreno J.D., Arenas Reina J.M., Sánchez Martínez F.V., Cabanellas Becerra J.M. Using TRIZ10 for enhancing creativity in engineering design education, International Journal of Technology and Design Education. 2022. Vol. 32(5). P. 2749–2774. DOI: 10.1007/s10798-021-09704-3.

23. Tekmen-Araci Y. Teaching creativity in engineering schools: A review of the literature, International Journal of Engineering Education. 2024. Vol. 40(1). P. 126–143.

24. Urban M., Děchtěrenko F., Lukavský J., Hrabalová V., Svacha F., Brom C., Urban K. ChatGPT improves creative problem-solving performance in university students: An experimental study, Computers & Education. 2024. Vol. 215. Art. 105031. DOI: 10.1016/j.compedu.2024.105031.

25. Lee B.C., Chung J. An empirical investigation of the impact of ChatGPT on creativity, Nature Human Behaviour. 2024. Vol. 8(10). P. 1906–1914. DOI: 10.1038/s41562-024-01953-1.

26. Zhai C., Wibowo S., Li L.D. The effects of over-reliance on AI dialogue systems on students’ cognitive abilities: a systematic review, Smart Learning Environments. 2024. Vol. 11. Art. 28. DOI: 10.1186/s40561-024-00316-7.

27. Guo H., Zhou Z., Ma F. The influence of artificial intelligence generated content-based problem-solving on engineering students’ creativity: a controlled experimental study, Education and Information Technologies. 2025. Vol. 30(18). P. 25969–25999. DOI: 10.1007/s10639-025-13709-z.

28. Johri A., Katz A.S., Qadir J., Hingle A. Generative artificial intelligence and engineering education, Journal of Engineering Education. 2023. Vol. 112(3). P. 572–577. DOI: 10.1002/jee.20537.

29. UNESCO. Guidance for generative AI in education and research. Paris: UNESCO, 2023.

30. Camba J.D., Contero M., Company P. Parametric CAD modeling: An analysis of strategies for design reusability, Computer-Aided Design. 2016. Vol. 74. P. 18–31. DOI: 10.1016/j.cad.2016.01.003.

31. Company P., Contero M., Otey J., Plumed R. Approach for developing coordinated rubrics to convey quality criteria in MCAD training, Computer-Aided Design. 2015. Vol. 63. P. 101–117. DOI: 10.1016/j.cad.2014.10.001.

32. Malikov K.G. Improving the methodology for developing students’ creativity through the construction of axonometric projections: Abstract of PhD dissertation in pedagogical sciences. Tashkent: TSPU, 2022. (in Uzbek)

33. Jumabayeva F.I. Application of the case-study method in higher education in teaching engineering graphics subjects, solutions in scientific research, and measures for improvement based on innovative technologies, Current Research Journal of Pedagogics. 2026. Vol. 7(4). P. 39–45. DOI: 10.37547/pedagogics-crjp-07-04-04.

34. Pidkasistyi P.I. Self-directed cognitive activity of schoolchildren in learning: a theoretical and experimental study. Moscow: Pedagogika, 1980. 240 p. (in Russian)

35. Altshuller G. The innovation algorithm: TRIZ, systematic innovation and technical creativity. Worcester, MA: Technical Innovation Center, 1999. 312 p.

36. Jonassen D.H. Learning to solve problems: A handbook for designing problem-solving learning environments. New York: Routledge, 2011. 432 p.

37. Kirschner P.A., Sweller J., Clark R.E. Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching, Educational Psychologist. 2006. Vol. 41(2). P. 75–86. DOI: 10.1207/s15326985ep4102_1.