

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОМЕТРИИ

УДК 514

DOI: 10.12737/2308-4898-2023-11-4-3-14

М.Н. Лепаров

Канд. техн. наук, профессор,
Технический университет Софии,
Болгария, София 1000, бул. Кл. Охридски, 8

О геометрических основах проектирования технического объекта

Аннотация. ТЦель статьи — предложить основные положения (условное общее название закона, закономерности, принципы и правила) о геометрии технических объектов и о процессе их проектирования, которые вместе с существующими и будущими утверждениями образуют геометрические основы проектирования. Представлено 26 утверждений и предложены классификация, функции и свойства с точки зрения распространения и значимости геометрии для технических объектов и процессов проектирования. В своей совокупности представленные утверждения являются доказательством важности и влияния геометрии в проектной деятельности. В работе обоснована возможность использования частичного или полного геометрического переноса на детали или сборочные единицы, условно называемых реципиентами, от любой детали или сборочной единицы, условно называемых донорами. Показано, что любой конструкт (термин для обозначения чего-либо, независимо от типа, конструкции и характеристик) может быть использован для изменения геометрии любого технического объекта. Отмечены влияние геометрии на потоки, протекающие и проходящие через вещество, влияние потоков на геометрию, а также влияние геометрии на свойства вещества. Подчеркивается, что геометрия является фундаментальным «строительным блоком» как технического объекта, так и процесса проектирования. Заслуженное размещение геометрии в центре проектной деятельности дает новый взгляд на процесс проектирования, что расширяет возможности и инструменты его реализации.

Ключевые слова: геометрия, технический объект, проектирование, значимость геометрии, утверждения о геометрии.

M.N. Leparov

Ph.D., Professor,
Technical University of Sofia,
8, boulevard Kliment Ohridski, Sofia 1000, Bulgaria

About Geometric Basis of Designing a Technical Object

Abstract. The purpose of the article is to propose basic statements (a conditional general name for law, regularity, principle and rule) about the geometry of technical objects and about the process of their design, which, together with existing and future statements, form the geometric foundations of design. 26 statements are presented and a classification, functions and properties of geometry are proposed from the point of view of distribution and the importance of the latter for the technical object and the design process.

In their entirety, the presented statements are proof of the importance and influence of geometry in the design process. The work substantiates the possibility of obtaining partially or completely the geometry of any other part or assembled unit, conditionally called a recipient, from any part or assembled unit, conditionally called a donor. It is shown that any “item” (a term for naming anything, regardless of type, structures and characteristics) can be used to change the geometry of any technical object. The impact of the geometry on the flowing through and passing through the substance, the influence of the flows on the geometry, as well as the influence of the geometry on the properties of the substance are noted. It is emphasized that geometry is a fundamental „building block“ of both the technical object and the design process. The well-deserved placement of geometry at the center of the design activity gives a new perspective on the design process, which expands the possibilities and tools for its realization.

Keywords: egeometry, technical object, design, importance of geometry, statements about geometry.

1. Введение

Принятые сокращения: Д — деталь, СЕ — сборочная единица, ПП — процесс проектирования, ТО — технический объект, Ф — функция, ФПД — физический принцип действия.

Базой любой науки являются фиксированные законы, закономерности, принципы и правила. В [15] сделан вывод о том, что между указанными терминами существует сильная связь и синонимичность, а также отсутствие четко выраженных критериев их разграничения и различия. Исходя из того, что для всех перечисленных понятий гиперонимом является утверждение, этот термин принимается за обобщающий и заменяющий термины закон, закономерность, принцип, правило. Под «**утверждением**» в этой работе понимается объективно существующее отношение, существенное и устойчивое при заданных условиях. В части утверждений используется понятие эвристической бесконечности [12]. Оно означает совокупность элементов, чье количество является большим числом. Большим числом принимается 100 000.

Распространение геометрии во всех типах объектов и процессов (вещественные, энергетические и информационные/сигнальные) и ее значимость [8], а также рассмотрение развитие науки «Геометрия технических объектов» как междисциплинарной науки [9], представляются предпосылками настоящего исследования, целью которого является предложить утверждения о геометрии технического объекта (ТО) и о процессе его проектирования (ПП), которые вместе с существующими и будущими утверж-

дениями образуют геометрические основы проектирования ТО.

В той или иной форме, а чаще всего в виде общих принципов, такие утверждения можно встретить в проектной литературе, напр. [1; 17; 18; 27; 29; 30 и др.] (систематизация методов проектирования выполнена в [31]). Утверждения для геометрии ТО и ПП представлены в работах [6; 8; 9; 13; 14; 19], а для эвристических типов утверждений, относящихся к ТО – в [12].

2. Утверждения

Утверждение 1

Геометрия вещественной среды влияет на свойства или параметры любого потока, который обтекает или проходит через эту среду.

Обоснование. Материальная среда сопротивляется всем видам воздействующих на нее потоков, обтекающих ее или проходящих через нее, причем вид потока определяет название сопротивления (газовое, гидравлическое, механическое, тепловое, электрическое, магнитное, оптическое, акустическое и др.). Формулы расчета сопротивлений, например в [22], показывают, что через свои элементы (п. 3.1) геометрия влияет на величину каждого вида сопротивления, а через него – на свойства или параметры потока.

Из того, что вещественная среда сопротивляется потоку (Утверждение 1), следует, что она изменяется. Геометрия является частью вещества и обладает как ее свойствами (Утверждение-гипотеза 4), так и ее реакциями на поток. Сказанное является обоснованием для обратного.

Утверждение (гипотеза) 2

Любой поток, обтекающий вещественную среду или проходящий через нее, временно или постоянно влияет на ее геометрию.

Утверждение 3

Внутренняя геометрия является влияющим фактором при определении физических и химических свойств веществ (материалов ТО).

Обоснование 1. Все свойства кристаллов [23] – механические, электрические, магнитные, оптические, транспортные (диффузия, тепло- и электропроводность и др.) и другие – обусловлены атомно-кристаллической структурой, ее симметрией, силами связи между атомами и энергетическим спектром электронов решетки, а некоторых из свойств – дефектами структуры, т.е. [23] физические, физико-химические и иные свойства определяются их атомной структурой (расположение атомов в элементарной ячейке кристалла и расстояния между ними) и ее дефектами [23]. Расположение, размеры, число атомов, симметрия и др. представляют собой геометри-

ческие характеристики. Химические свойства определяются строением внешних электронных оболочек атома [25]. Последние характеризуются количеством электронов, расположением и соответствующим энергетическим уровнем, а количество и расположение являются геометрическими характеристиками.

В [4] резюмировано, что в соответствии с молекулярно-кинетической теорией строения веществ химические и физические свойства вещества [4] определяются числом и типом атомов в его молекулах, а также зависят от внутреннего расположения атомов относительно друг друга и от внешних условий.

Обоснование 2. Геометрия влияет на плотность вещества [8], а плотность является одним из физических свойств вещества. Кроме того, плотность влияет и на другие свойства вещества.

Утверждение (гипотеза) 4

Геометрия вещества обладает свойствами вещества.

Обоснование. Геометрия представляет собой совокупность внешних точек вещества и как таковая является частью вещества.

Замечание. В этом случае возможны две трактовки термина «точка». Первая интерпретация – математическая, она относится к идеальной геометрии и при систематическом изложении геометрии точка обычно принимается за одно из исходных понятий [16]. Другая трактовка может быть названа вещественной, она относится к реальной геометрии и может быть определена как внешняя часть вещества с размером ε – бесконечно малой величиной – настолько большой, что она не влияет на погрешность измерения положения точки и настолько малой, что характерные свойства вещества сохраняются.

Другими словами, настоящая геометрия – это вещественная геометрия, которая, помимо традиционных геометрических свойств, приобретает также физические и химические свойства вещества, границей которого она является.

Утверждение 5

Геометрия является фундаментальной характеристикой технических объектов.

Обоснование 1. Согласно [8, Утверждение 2], геометрия является атрибутивной характеристикой веществ, деталь (Д) – частный случай, а сборочная единица (СЕ) – совокупность Д и потоков, причем потоки также являются вещественными.

Обоснование 2. Каждая функция Д требует соответствующей геометрии (Утверждение 11).

Обоснование 3. Геометрия вместе с потоками и материалом обеспечивает функционирование ТО, а потоки и материал имеют свою геометрию как атрибутивную характеристику (потоки – внешний и внутренний; материал – и внутренний).

Обоснование 4. Геометрия определяет геометрические свойства и влияет на физические и химические свойства веществ деталей ТО (Утверждение 3).

Обоснование 5. ПП ТО заключается в постоянном уточнении геометрии ТО (Утверждение 8).

Обоснование 6. Функции геометрии, приведенные в п. 3.2, подтверждают это утверждение.

Обоснование 7. Утверждение является частным случаем [8, Утверждение 23], согласно которому геометрия является основой материального мира.

Утверждение 6

Геометрия является фундаментом функциональных объектов.

Функциональным можно назвать сообщество технических и биологических объектов, в которых реализуются целевые функции.

Обоснование 1. Геометрия является атрибутивной характеристикой веществ ([8, Утверждение 2]), причем как ТО, так и биологические объекты являются вещественными.

Обоснование 2. Оба типа объектов однотипны с точки зрения функций и их реализации посредством геометрии, материала и потоков, а также применяемых в них законов [8]. По этой причине Утверждение 5 можно применить к сообществу обоих типов объектов.

Утверждение 6 обуславливает использование одной области (биологических объектов) для проектирования и развития другой области (ТО) и наоборот.

Утверждение 7

Структура любого технического объекта геометрическая.

Обоснование. Структура [21] – устойчивая упорядоченность в пространстве и времени элементов системы и их связей, причем элементы и связи между ними, составляющие ТО и играющие решающую роль в ее функционировании, имеют геометрический характер (Утверждение 11).

Утверждение 8

Любая деятельность в процессе проектирования технического объекта прямо или косвенно связана с геометрией.

Обоснование 1. Согласно ГОСТ 2.103-2013 [3] каждая из стадий разработки изделия (Техническое предложение, Эскизный проект, Технический проект, Рабочая конструкторская документация: а) опытного образца/опытной партии изделия, б) на изделие серийного/массового производства и в) на изделие единичного производства) содержит в конечном результате совокупность конструкторских документов. Виды документов и их комплектность для каждого стадия регламентированы ГОСТ 2.102-2013 [2]. Все стандартизированные документы можно разделить на: а) различные виды чертежей и схем; б) ор-

ганизационные документы, наименование которых начинается с «*Ведомость*», которые не относятся непосредственно к ТО, а представляют собой перечни документов или иную справочную информацию; к ним также относятся *Документы*, содержащие данные для проведения ремонтных работ на специализированных предприятиях и в) другие. Все чертежи содержат преимущественно геометрическую информацию, организационные документы по своей природе не представляют интереса, а документы других типов содержат геометрию в каком-то виде, см. п. 3.1 (*Расчет* – звеньями линейной размерной цепи являются размеры деталей, а они есть геометрические величины; звеньям размерной цепи с отклонениями расположения – допуски расположения, являющиеся геометрическими допусками; *Расчет на прочность* обеспечивает/проверяет необходимую геометрию деталей с точки зрения прочности; *Пояснительная записка* – описание устройства и принципа работы разрабатываемого изделия, а также обоснование технических решений, принятых при его разработке, пояснительная записка невозможна без включения геометрии в каком-либо виде) или являются результатом проектирования геометрии ТО (*Программа и методика испытаний, Эксплуатационные документы, Документы, предназначенные для использования при эксплуатации, обслуживании и ремонте изделия в процессе эксплуатации, Ремонтные документы, Инструкция, Технические условия*).

Кроме того, на этапах «Эскизный проект» и «Технический проект» при необходимости разрабатывается модель, которая реализуется в материальном или электронном виде. Основное содержание модели – геометрическое.

Другими словами, результатом каждой стадии являются документы (часто еще и модели), а они содержат исключительно или в значительной степени геометрию.

Обоснование 2. Любой ТО можно представить как совокупность внешней геометрии, материала деталей и потоков, причем геометрия участвует как в материале, так и в потоках и влияет на их свойства. Ее распространенность и значимость для ТО определяют ее участие в той или иной форме в каждой деятельности ПП.

Обоснование 3. ПП сводится к применению множества методов (совокупности методов) для решения всех подзадач основной задачи «проектирование, т.е. создание геометрической модели (2D, 3D) технического объекта». Любой метод, в том числе и эвристический, содержат в той или иной форме описание ТО или его части, т.е. всегда существует модель объекта (представленная описанием), и она может быть разной для разных методов. Каждое описание в той

или иной степени имеет геометрическую составляющую, и каждое описание в сознании проектировщика так или иначе (сознательно или же бессознательно) связано с определенной геометрией. Естественно, что на начальных этапах, когда решения об объекте минимальны, геометрическая информация об объекте будет скудной, неполной и нефинальной, и наоборот – на заключительных этапах практически все решения об объекте приняты, и его геометрия почти полностью задана.

Обоснование 4. Цель ПП – получить геометрическую модель ТО. По этой причине все промежуточные шаги ПП приводят к этой модели, по крайней мере, косвенно. Для работы будущего ТО необходимо добавить в геометрическую модель входящие потоки, но эти потоки взаимодействуют с геометрией и преобразуются с помощью геометрии (в некоторых случаях с геометрией и материалом).

Обоснование 5. Геометрия является существенной характеристикой для каждого этапа жизненного цикла ТО (Утверждение 10), причем процесс проектирования рассматривает и учитывает требования к ТО на всех этапах, а в более широком аспекте включает и проектирование этих этапов.

Обоснование 6. ПП в любой момент связан с ТО, потому что он является объектом ПП, а ТО – это геометрия, потоки и материал (которые тоже имеют геометрию). Следовательно, в той или иной форме (видимой или скрытой) геометрия неизменно присутствует в каждый момент ПП. На начальных этапах одних методов проектирования она менее заметна, в отличие от более поздних этапов, а на других методах легко прослеживается повсюду. Первым этапом ПП по задаче «проектирование нового изделия» является концептуальное проектирование. Для него ТО чаще всего представляется как совокупность функций (функционального анализа и синтеза) [31], которые в нем реализованы и благодаря которым он функционирует. Разные методы проектирования имеют разный подход к проектированию ТО, в одних методах функции занимают ведущее место, в других они скрыты за конкретными терминами, например, за названием (назначением) составных частей ТО, за физическим принципом действия (ФПД) и т.д., но везде, видимые или нет, они присутствуют. Согласно Утверждениям 11 и 12 необходимым и достаточным условием наличия конкретной геометрии Д/СЕ является наличие функции, и наоборот, – необходимым и достаточным условием существования функции является наличие геометрии Д/СЕ, т.е. функция и геометрия взаимосвязаны. Определение любой функции связано с каким-то представлением (инженерным или основанным на жизненном опыте) о некоторой геометрии; это не обязательно окончательная гео-

метрия ТО, но присутствует первоначальный и, возможно, отдаленный вариант.

Еще несколько аргументов относительно концептуального проектирования в другом виде (нефункциональном) описании:

- действительно, в эскизном проекте при поиске идеи/идей по принципу работы ТО геометрия скрыта, но следует учитывать, что в полном объеме данный вид проектирования выполняется только в задаче «создание нового продукта», что охватывает около 25% [10] всех задач проектирования. В остальных задачах («проектирование вариантного изделия» – 25% и «проектирование улучшенного изделия» – 50%) имеется доступная геометрия ТО, которую необходимо частично доработать. Более того, когда идея создается или обсуждается (концептуальное проектирование), сознательно или неосознанно, часть ее приобретает расплывчатую форму и некоторую геометрию, основанную на опыте участников ПП;
- обычно на этом этапе идея представляется схематически, причем каждое схематическое изображение часто содержит ряд/расположение составляющих элементов, что является геометрической характеристикой; схематическое изображение часто сопровождается основными расчетами, которые проводятся на этом этапе;
- часть расчетов потоков включает геометрические величины, другая часть требует отражения влияния потоков на геометрию и свойства составных частей СЕ [11];
- если описание ТО в концептуальном проектировании осуществляется путем создания ФПД, то наличие соответствующей базы данных с инженерными эффектами позволяет автоматически формировать множество ФПД с различными инженерными эффектами [5; 20; 26], в том числе и сравнительную оценку вариантов посредством многокритериальной оптимизации [5]; в этом случае концептуальное проектирование носит кратковременный характер;
- тип и объем концептуального проектирования в значительной степени зависят от принятого метода проектирования, а в некоторых методах геометрия в большой степени присутствует и на этом этапе проектирования, например [28].

Посредством концептуального проектирования ищется идея, а затем на ее основе создается геометрия. Данное обстоятельство предполагает использование геометрических методов для поддержки или реализации проектирования, что позволит расширить инструментарию для работы.

В результате сказанного можно резюмировать, что геометрия является основой ПП, геометрической

основой ПП, а ПП можно определить как процесс непрерывного уточнения геометрии модели (ТО). Другими словами, Утверждение 8 можно преобразовать в Утверждение 9.

Утверждение 9

Геометрия является фундаментом процесса проектирования технического объекта.

Утверждение 10

Геометрия является важной характеристикой на каждом этапе жизненного цикла ТО.

Обоснование 1. С одной стороны, геометрия ТО оказывает исключительное влияние на его функционирование (Утверждения 11 и 12), а с другой стороны, потоки (рабочие или из окружающей технической или природной среды) влияют и изменяют геометрию – Утверждение 13. Поэтому важной задачей является сохранение/обеспечение геометрии в приемлемых функциональных пределах в течение всего жизненного цикла ТО. Эта задача решается в ПП посредством так называемого проектирования под нужды жизненного цикла, и в то же время она представляется первоочередной задачей для реализации на протяжении всего жизненного цикла ТО.

Обоснование 2. Основными этапами жизненного цикла ТО являются проектирование, изготовление, транспортировка, хранение, эксплуатация, в том числе техническое обслуживание, ремонт и утилизация. На каждом этапе, как правило, меняется геометрия – как при проектировании (от начальной, в том числе недостающей, до конечной геометрии), так и при производстве (из геометрии заготовок получается реальная геометрия), так и при сборке (из геометрии разобранных узлов, получена геометрия функционирующего ТО), и при транспортировке и хранении – из-за воздействия окружающей среды, и в эксплуатации (в результате условий труда и воздействия окружающей среды – климатических, тепловых, электромагнитных, радиационных, химических и т.д., происходит изменение реальной геометрии и необходимость технического обслуживания для ограничения изменений геометрии), и ремонта (восстановление реальной геометрии), и утилизации (отделение одних компонентов от других). Нежелательное изменение геометрии (этапы: изготовление, транспортировка, хранение и эксплуатация) ограничивается соответствующими решениями в ПП, в том числе с обслуживанием и ремонтом.

Обоснование 3. После подготовки итоговой модели ТО в ПП (в электронном или бумажном виде) для нужд остальных этапов жизненного цикла изделия используется эта модель или ее элементы, причем модель является геометрической.

С точки зрения Утверждения 10 есть основание говорить о геометрической природе этого цикла или даже о геометрическом жизненном цикле.

Утверждение 11 [9, Утверждение 20]

Необходимым и достаточным условием наличия конкретной геометрии детали является наличие функции, и наоборот, – необходимым и достаточным условием существования функции является наличие геометрия детали.

Замечание. Из этого утверждения есть исключения, например при использовании стандартизированной или покупной (уже разработанной) Д, когда она может иметь избыточные формы, но по каким-то причинам является предпочтительной, например из-за более низкой цены по сравнению с вновь разработанной.

Поскольку всякая СЕ представляет собой совокупность Д, из предложения 11 следует

Утверждение 12

Необходимым и достаточным условием наличия конкретной геометрии на СЕ является наличие функции на СЕ, и наоборот, – необходимым и достаточным условием существования функции (на СЕ) является наличие геометрия СЕ.

По самой своей природе замечание к предложению 11 имеет смысл и здесь.

Несоблюдение Утверждений 11 и 12 в конкретной Д или СЕ является основанием считать, что при их проектировании допущена ошибка.

Утверждение 13

Геометрию каждого ТО можно изменить с сохранением его функционального назначения. Число возможных вариантов составляет эвристическую бесконечность.

Обоснование. Согласно [12, Утверждение 5], модификации ТО составляют эвристическую бесконечность. Под модификацией понимается новый ТО, полученный на основе исходного ТО, имеющий ту же главную функцию, но отличающийся от исходного объекта. Утверждение 13 представляет собой другую форму изложения упомянутого выше Утверждения 5 из [12]. Некоторые возможности геометрических преобразований СЕ (операции и методы) приведены в [6].

Утверждение 14

Из каждого ТО (Д, СЕ), условно называемого донором, может быть частично или полностью получена геометрия любого другого ТО, условно называемого реципиентом.

Обоснование 1. Преобразование одного ТО в другой ТО является допустимой эвристической задачей, и согласно Утверждению 11, доказанному в [12], любая правильная эвристическая задача разрешима. Поскольку данная задача корректна (ее условие не нарушает законов, закономерностей и принципов), то она разрешима.

Обоснование 2. Согласно [12, Утверждение 48] любой элемент (общее понятие ТО, произвольный

объект и т.п.) может быть основой (отправной точкой) поиска решения эвристической задачи. В данном случае речь идет о задаче, сформулированной в основании 1.

Обоснование 3. (Донор: СЕ-реципиент: СЕ (СЕ-СЕ); Д-Д) Каждая две СЕ имеют по крайней мере одну общую функцию, материализацию которой можно заимствовать. Такой общей функцией является «крепление» (обязательная для каждой СЕ [10]), это может быть «присоединение к окружающей среде» (технической или природной; функция обязательна для Д и традиционна для СЕ), «эстетическая функция», свободные поверхности (обычно имеется — для Д, а значит, и для СЕ, в который она входит) и т.д. Подобный подход заимствования геометрии подходящей основной функции донора имеет место при решении проектной задачи «поиск дополнительной функции реципиента», где для реципиента добавляется новая основная функция.

(СЕ-Д) СЕ состоит из деталей и каждая ее Д может быть донором; вариант — условно предположить, что контактных поверхностей между деталями СЕ не существуют, она состоит из одного типа материала и представляет собой единую Д.

(Д-СЕ) Некоторые возможности таковы: а) формы Д принимаются как формы различных составных частей СЕ; б) расположение различных форм Д принимается как возможное расположение деталей СЕ; в) поскольку донор Д, как правило, принадлежит некоторой СЕ, эта СЕ принимается в качестве донора и дело становится СЕ-СЕ.

Замечание. Эти соображения относительно комбинаций СЕ-Д и Д-СЕ также применимы и к другим обоснованиям для рассматриваемого утверждения.

Обоснование 4. В дизайнерском проектировании заимствование реципиентом (частично или полностью) внешней формы донора не является проблемой, поскольку выбранная форма может не быть связана с функционированием реципиента, а иметь лишь декоративный характер.

Обоснование 5. Условно можно предположить, что при проектировании какой-то Д имеется пустое место, которое необходимо заполнить согласно требованиям к Д и решениям, принятым в ПП; начинать с пустого пространства и добавлять к нему подходящие материальные части или начинать с любого объекта, к которому добавляются и удаляются материальные части, — это два теоретически возможных способа работы; при первом подходе пространство заполняется подходящими формами без отвлечения внимания имеющихся случайных материальных форм, а при втором подходе присутствует материальная форма, направляющая мысль в некотором возможном направлении поиска решения. При втором подходе

не имеет значения, что является объектом-донором, поскольку к нему можно как добавить что угодно, так и удалить что угодно. Существенным для этого подхода является возможность возникновения новых перспектив в поисках решения, перспектив, которые в противном случае, вероятно, ускользнули бы от взгляда проектировщика. Этот вывод подтверждается и Утверждением 54 [12], согласно которому из одного и того же элемента можно получить большое количество аналогий.

Обоснование 6. Каждый объект можно представить как набор простых геометрических тел (основной способ чтения чертежей в Инженерной графике и основной способ построения 3D-моделей в компьютерной графике CAD — добавление и удаление геометрических примитивов, представляющих собой простые геометрические тела). Неважно, что является исходным объектом — добавляя и удаляя соответствующие примитивы, можно получить любой желаемый объект. Важным в данном случае является то, что исходный ТО (донор) дает некое направление для аналогии или ассоциации для поиска решения проблемы.

Обоснование 7. Существует множество разнообразных вариантов изменить донора, например: а) путем применения к нему или его части мысленных воздействий; для этой цели можно использовать любые глаголы действия, например гибка/развертка, деформация/выпрямление, продольная резка (резка, сверление)/уплотнение, удаление/добавление, замена, накатка, прокатка, гравировка, сварка, ковка, литье, штамповка, штанцовка, волочение, выворачивание наизнанку, надувание, усадка, расширение/сокращение, масштабирование, умножение элемента, а также многие другие «технологические» операции/воздействия; при этих воздействиях возможными считаются любые изменения донора — изменения вида и свойств материала, элементов, расположения, функций и т.д.; неограниченные возможности воображаемого воздействия являются обоснованием утверждения; б) посредством операций над СЕ [6]; в) через систематизацию элементов, свойств и т.д. [14].

Обоснование 8. В принципе, заимствование может быть прямым (типа «копия») или косвенным (символическим), являясь отправной точкой для поиска решения. Поскольку «символ есть знак [24], наделенный всей органичностью и неисчерпаемой многозначностью образа», после принятия донора в качестве символа он приобретает неисчерпаемую многозначность содержания. Соответствующая интерпретация символа позволяет осуществлять передачу знаний, в том числе геометрические знания, от донора к реципиенту.

Обоснование 9. Согласно [12, Утверждение 5], варианты (модификации) ТО составляют эвристическую бесконечность, поэтому весьма вероятно, что какой-то вариант включает в себя частичную донорскую геометрию.

Обоснование 10. Метод и примеры, иллюстрирующие способ преобразования разных ТО (СЕ, Д) в другие ТО (СЕ, Д), приведены в [28]. Преобразования случайно выбранных доноров в случайно выбранных реципиентов (из Д в СЕ, из СЕ в Д, из Д в Д, из СЕ в СЕ) были успешно реализованы на протяжении многих лет всеми студентами специальности «Инженерный дизайн» Технического университета, София (общее количество за период – около 1000) с использованием CAD-SolidWorks, в том числе и как обязательная часть экзамена (некоторые примеры приведены в [28]). Полученные результаты подтверждают это утверждение и являются его практическим обоснованием.

Замечание 1. Поскольку преобразование одного ТО в другой является эвристической задачей, не обязательно, чтобы это преобразование успешно осуществлялось [10] между любыми двумя ТО любого человека. Утверждение лишь показывает, что эта проблема разрешима, но решение носит эвристический характер.

Замечание 2. Различные обоснования Утверждения 14 (а также и для других утверждений) дают разные точки зрения на него и открывают разные возможности его практического использования.

Практический смысл изложенного выше утверждения сводится к возможности трансформации случайного донора в искомого реципиента, поскольку донор посредством своей геометрии в некоторой степени эвристически «подсказывает» возможную геометрию реципиента, и это, как можно утверждать, – он оставляет свой геометрический «отпечаток» на реципиенте.

Выраженное другими словами, Утверждение 14 преобразуется в

Утверждение 15

Любой ТО может быть частично или полностью преобразован в любой другой ТО.

Следствием Утверждения 14 являются

Утверждение 16

Каждый ТО может быть использован в качестве отправной точки для проектирования геометрии любого другого ТО

и

Утверждение 17

Геометрию любого ТО можно использовать для изменения геометрии любого другого ТО.

Утверждение 18

Любой конструкт можно использовать для изменения геометрии любого ТО.

Конструкт – термин [8] для названия всего, что угодно, независимо от типа, структуры и характеристики, например, самолет, камень, сердце, электрон, галактика, идея, лист, теория, число, буква и т.д.

Обоснование 1. Каждый конструкт имеет геометрическую составляющую [8, Утверждение 13], поэтому его условно можно считать ТО, а согласно Утверждению 14 геометрию любого ТО можно заимствовать.

Обоснование 2. Согласно [12, Утверждение 48] каждый элемент (принятое в [12] название конструкта) может быть базой (отправной точкой) для поиска решения эвристической задачи, например методом «Аналогии» [10]. Любая корректная эвристическая задача может быть решена методом «Аналогии» [12 Утверждение 22], и в этом случае задача состоит в том, чтобы «от данного конструкта-донора изменить геометрию данного ТО».

Обоснование 3. Каждой конструкт имеет множество элементов – назначение (главную функцию), функции (в случае объектов искусственного происхождения функции можно считать вложенными, а в случае природного происхождения – принимаемыми/переменными [13]), составные части, свойства, структура, описания, определения, похожие конструкты и т.д., причем каждый элемент можно рассматривать буквально или метафорически. В свою очередь, каждое определение включает в себя определенное количество понятий, каждое из которых можно рассматривать как вспомогательный конструкт. Множество элементов конструкта и вспомогательных конструктов образуют множество возможностей использования геометрии донора.

Обоснование 4. Обоснование 8 Утверждения 14.

Обязательное наличие геометрии в каждом ТО и ее фундаментальное значение для ТО (Утверждение 5) являются обоснованием для

Утверждение 19

Геометрия – существенная связь между любыми двумя ТО, а также между всеми ТО.

Утверждение 20

Геометрия – существенная связь между функциональными объектами (сообществом технических и биологических объектов).

Обоснование. Геометрия присутствует как в ТО, так и в биологических объектах. Более того, геометрия важна для обоих типов объектов (Утверждения 5 и 6).

Утверждение 21

Геометрическая связь между двумя ТО является информационным каналом между ними.

Обоснование. Геометрическая связь – это связь между любыми двумя объектами (конструктами), а также отношение между всеми объектами (конструктами), т.е. это абсолютная связь ([13, Утверждение

14]). Согласно [13, Утверждение 16], связь между двумя объектами является информационным каналом между ними, а ТО представляют собой частный случай этих объектов.

Связь между двумя ТО (например, конкретные: функция, ФПД, инженерный эффект, любое описание или элемент описания ТО) является общей и реализуется геометрически в каждом из них. Информацией в этих реализациях можно обмениваться между двумя ТО (перенос геометрии) и изменять их.

Обязательное и важное участие геометрии в каждом ТО является предпосылкой

Утверждение 22

Геометрия – возможный критерий сравнения ТО.

Некоторые варианты этого утверждения:

Геометрия – возможный критерий сравнения множества технических объектов.

Геометрия является возможным критерием сравнения двух похожих или произвольных ТО.

Геометрия является возможным критерием сравнения двух реализаций ТО или его элементов (функция, составная часть и т.п.).

Сравнение может проводиться в абсолютных или относительных величинах по отношению к свойству, параметру и т.д.

Утверждение 23 [8, Утверждение 16]

Геометрия – мера упорядоченности объекта (в данный момент времени).

Утверждение 24 [8, Утверждение 17]

Геометрия – мера плотности объекта на соответствующем уровне рассмотрения (система, подсистема, надсистема).

Утверждение 25

Геометрия – мера эстетической/дизайнерской характеристики объекта.

Примечание. Если внешние формы предметов не вступают в зрительный контакт (длительный, кратковременный) с человеком, эта характеристика обычно игнорируется.

Обоснование. Инженерный дизайн ТО включает в себя внешнюю геометрию объекта, а также другие элементы (цвета, покрытия, украшения и т.п.), но все элементы имеют свою геометрию, и упомянутые различные типы геометрии имеют свое значение для дизайнерской характеристики ТО.

Следует отметить, что в ПП, и особенно в концептуальном проектировании, в значительной степени присутствует творческая деятельность, использующая эвристические методы. Поскольку применение последних в ПП неудовлетворительно [31], можно предположить, что часть эвристических методов, а именно тех, которые решают задачи с геометрией ТО или используют геометрию какого-либо объекта для решения эвристической задачи ТО, со-

ставляют часть эвристики, которую можно назвать «Геометрической эвристикой». Обособление, структурирование и развитие последней представляет собой «геометрическую» возможность поиска творческих решений в ПП. Ее целью будет специализация эвристики для геометрических задач творческого типа ПП.

Некоторые другие утверждения, непосредственно относящиеся к рассматриваемой теме, представлены в [6; 8; 9; 13; 19]. Утверждения о методах, задачах, идеях и т.п. приведены в [7; 12–14] – они эвристические, но направлены на геометрию ТО и ПП ТО, то есть, их можно считать частью геометрической эвристики, а также геометрической основой ПП. Можно предположить, что все эти утверждения составляют часть теоретической базы геометрических основ проектирования.

Утверждения, представленные в статье, а также утверждения из [6; 9; 19] можно резюмировать в виде

Утверждение 26

Геометрия является фундаментальным строительным блоком как технического объекта, так и процесса его проектирования.

3. Характеристика геометрии

3.1. Классификация

Геометрию ТО возможно классифицировать следующим образом:

- по виду геометрии: а) реальная (геометрия ТО), б) идеальная (геометрические фигуры 2D- и 3D-типа, расположение и размеры (фигура – математический термин для геометрического объекта), в) корректирующая: в1. допуски формы, в2. допуски расположения, в3. волнистость, в4. шероховатость, в5. предельные отклонения размеров – тип и значения; в ПП реальная геометрия ТО заменяется идеальной, а последняя корректируется геометрическими допусками, благодаря чему она значительно приближается к реальной в допустимых (для заданных требований к ТО) пределах, т.е. реальная заменяется функциональной (исправленной идеальной) геометрией;
- по месту в веществе: а) внешняя (форма и расположение границы вещества); б) внутренняя (форма и расположение частей вещества на соответствующем иерархическом уровне рассмотрения) и в) полная (внешняя и внутренняя геометрия);
- по способу представления: а) графическое, б) аналитическое – явное, неявное, в) параметрическое; г) табличное;
- по типу описания ТО [9]: а) реальная; б) символическая; в) вербальная и г) смешанная геометрия;

- в соответствии с используемым научным аппаратом для решения своих задач [9]: а) эвристическая; б) математическая и в) комбинированная геометрия;
- в соответствии с типом ТО [9]: а) геометрия Д и б) геометрия СЕ;
- по содержанию [9]: а) геометрия форм и б) геометрия: расположения;
- в соответствии с классификации ТО [9]: а) геометрия для семейства ТО (все ТО); б) геометрия для рода ТО (часть ТО) и в) геометрия для вида ТО;
- по объему представления геометрии: а) полностью представленная геометрия и б) частично представленная геометрия;
- по характеристике геометрии: а) форма, в том числе вогнутость, выпуклость (и размеры – линейные и угловые, в том числе расстояние, радиус, диаметр, дуги); б) расположение (а также размеры, количество, последовательность/порядок); в) геометрические отношения (равенство, подобие, пропорция, совпадение, параллельность, вертикальность, коллинеарность, горизонтальность, концентричность, симметрия, касание, нормаль и др.) и г) другие;
- по пространству, рассматриваемому относительно геометрии: а) геометрия материального пространства и б) геометрия нематериального/пустого пространства (отверстия);
- по состоянию в данный период времени: а) статическая (неизменяемая) и б) динамическая (изменяемая) геометрия;
- другие.

3.2. Функции и свойства реальной геометрии

На основании утверждений можно сформулировать следующие функции (Ф) и свойства геометрии ТО:

А. Геометрия ТО

Ф1: быть границей и определять пространство, занимаемое веществом;

Ф2: влиять на все виды потоков, обтекающих или проходящих через вещество;

Ф3: изменяться в соответствии с происходящими процессами (поэтому она может выполнять идентификационную функцию — из ее состояния можно получить информацию о прошлых или текущих процессах);

Ф4: влиять на свойства вещества, в состав которого она входит;

Ф5: содержать свойства вещества (физические и химические);

Ф6: реализовывать функции ТО (иметь соответствие выполняемым функциям в ТО и биологических объектах);

Ф7: определить структуру ТО;

Ф8-Ф10: Служить критерием для:

Ф8 — упорядоченности ТО;

Ф9 — неплотности ТО;

Ф10 — эстетической характеристики ТО.

• другие.

Б. Геометрия между техническими (функциональными) объектами

Ф11: служить критерием для сравнения технических объектов;

Ф12: служить важным связующим звеном:

• между всеми ТО;

• между всеми функциональными объектами (биологическими и ТО);

Ф13: служить информационным каналом между двумя ТО (функциональными объектами).

Свойства геометрии:

- функциональность (геометрия имеет решающую роль для функционирования ТО);
- вариативность (одна геометрия ТО может быть заменена другой с сохранением функциональных возможностей ТО);
- многофункциональность (одна и та же геометрия может реализовывать разные функции);
- «изменчивость» в ПП (любая исходная геометрия в ПП может быть изменена (трансформирована/деформирована/«вылеплена») так, чтобы она выполняла желаемую функцию, при этом соблюдая требования к ТО — функциональные, технологические и т.д.; некоторые возможные мыслительные воздействия даны в основании 7а) Утверждения 14;
- другие.

Целью ПП является получение геометрии, и все действия, все решаемые задачи и используемые методы прямо или косвенно служат этой цели. Следует четко подчеркнуть, что фаворитизирование по этой причине геометрической точки зрения в настоящей статье никоим образом не означает пренебрежения или умаления других точек зрения и соответствующих методов, имеющих место на разных этапах и в деятельности ПП, напр. маркетинговые, математические, эвристические, технологические и т.д. Только путем объединения разных точек зрения можно добиться успеха.

4. Выводы

1. Из-за своей распространенности и важности геометрия является фундаментом каждого технического объекта и процесса его проектирования, а технический мир в замечательной степени является геометрическим миром.
2. В своей совокупности изложенные утверждения являются доказательством значимости и влияния геометрических основ в ПП ТО.

3. Рассмотрение ПП с различных, в том числе и нетрадиционных точек зрения, открывает возможности для поиска новых, в том числе и нетрадиционных методов его реализации. Поскольку геометрия является основой ТО, поскольку во всех действиях ПП геометрия участвует в той или иной форме, из этого следует, что каждое действие ПП можно анализировать/исследовать с геометрической точки зрения. Заслуженное размещение геометрии в центре проектной деятельности дает новый взгляд на ПП, расширяющий возможности и инструменты для его реализации.
4. Значительное количество утверждений в настоящей работе, а также в [6; 8; 9; 12; 19 и др.], являются предпосылкой развития теории геометрических основ проектирования, а также формального или неформального получения новых утверждений.
5. Существенные связи между ТО и биологическими объектами, названными здесь функциональными объектами – геометрией, функциями, функционированием, законами, «инженерными эффектами» и т.д. – являются основанием считать, что все утверждения о ТО в этой и других статьях применимы и ко всему сообществу функциональных объектов.
6. Данное исследование, а также исследования в [6; 8; 9; 19 и др.] могут служить ориентиром для возможной трансформации учебного содержания общеобразовательных графических дисциплин в технических вузах в дисциплина с названием, например «Геометрические основы техники», «Геометрические основы технических объектов», «Геометрические основы проектирования» и др.

Литература

1. *Анурьев В.И.* Справочник конструктора-машиностроителя [Текст]. В 3 т. Т. 1–3 / В.И. Анурьев; под. ред. И.Н. Жестковой. — 9-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение-1, 2006. — Т. 1. — 928 с., Т. 2. — 960 с., Т. 3. — 928 с.
2. ГОСТ 2.102-2013 ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов [Текст] / ГОСТ 2.102-2013. — М.: Стандартинформ, 2014. — 12 с.
3. ГОСТ 2.103-2013 ЕСКД. Стадии разработки [Текст] / ГОСТ 2.103-2013. — М.: Стандартинформ, 2013. — 6 с.
4. *Жданов Л.С.* Физика [Текст] / Л.С. Жданов, Г.Л. Жданов. — М.: Наука, 1987. — 512 с.
5. *Зарипов М.Ф.* Энергоинформационный метод научно-технического творчества [Текст] / М.Ф. Зарипов, Н.Р. Зайнуллин, И.Ю. Петрова. — М.: Изд-во ВНИИ-ПИ, 1988. — 124 с.
6. *Лепаров М.Н.* Геометрические преобразования сборочных единиц [Текст] / М.Н. Лепаров // Геометрия и графика. — 2016. — Т. 4. — № 3. — С. 62–72. — DOI: 10.12737/21535.
7. *Лепаров М.Н.* Някои основни твърдения за процеса на проектиране на технически обекти [Текст] / М.Н. Лепаров // Сборник доклади от 21 международна научно-техн. конф. «Автоматизация на дискретното производство» АДП 2012. — Созопол. — 2012. — С. 58–63.
8. *Лепаров М.Н.* О геометрии, еще один раз [Текст] / М.Н. Лепаров // Геометрия и графика. — 2022. — Т. 10. — № 1. — С. 3–13. — DOI: 10.12737/2308-4898-2022-10-1-3-13.
9. *Лепаров М.Н.* О науке «Геометрия технических объектов» [Текст] / М.Н. Лепаров // Геометрия и графика. — 2019. — Т. 7. — № 2. — С. 28–38. — DOI: 10.12737/article_5d2c187251b6c8.21632403.
10. *Лепаров М.Н.* Основы на инженерното проектиране [Текст] / М. Лепаров, М. Вичева, М. Георгиев. — 3-е изд., перераб. и доп. — София: Софттрейд, 2015. — 360 с.
11. *Лепаров М.Н.* Относно пресмятанията в процеса на проектиране на технически обекти [Текст] / М.Н. Лепаров // Българско списание за инженерно проектиране. — 2011. — № 9. — С. 45–57.
12. *Лепаров М.Н.* Твърдения в теорията на евристичното проектиране [Текст] / М. Лепаров // Българско списание за инженерно проектиране. — 2010. — № 5. — С. 77–88.
13. *Лепаров М.Н.* Технология «Друга гледна точка» при проектиране на технически обект. Ч.1. Твърдения [Текст] / М.Н. Лепаров // Българско списание за инженерно проектиране. — 2023. — № 46. — С. 42–50.
14. *Лепаров М.Н.* Технология «Систематизация на елемент» за проектиране на технически обект [Текст] / М.Н. Лепаров // Българско списание за инженерно проектиране. — 2022. — № 45. — С. 11–17.
15. *Лепаров М.Н.* Эвристичный подход при формировании утверждений в технетике [Текст] / М.Н. Лепаров, М.Х. Попов // Технетика и симеотика, Ценологические исследования. — М.: Центр системных исследований. — 2012. — Вып. 46. — С. 45–50.
16. Математический энциклопедический словарь [Текст] / Гл. ред. Ю.В. Прохоров — М.: Сов. энциклопедия, 1988. — 847 с.
17. *Орлов П.И.* Основы конструирования [Текст]: В 2 кн.: справочно-методическое пособие / П.И. Орлов, под ред. П.Н. Учаева. — 3-е изд. испр. — М.: Машиностроение, 1988. — Кн. 1. — 560 с., Кн. 2. — 544 с.
18. *Орлов Н.А.* Методически основы на конструирането. Правила и принципи [Текст] / Н.А. Орлов. — Русе: ВТУ «А. Кънчев», 1986. — 331 с.
19. *Половинкин А.И.* Законы строения и развития техники [Текст] / А.И. Половинкин. — Волгоград: Изд-во ВолгПИ, 1985. — 202 с.

20. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества [Текст] / А.И. Половинкин. — СПб.: Лань, 2007. — 368 с.
21. Попов М.Х. Терминологический словарь по технетике [Текст] / М.Х. Попов. — М.: Технетика, 2009. — 392 с.
22. Сулейманов Н.Т. Величины и параметры оптических цепей [Электронный ресурс]: Конф. Эффективные инструменты современных наук, 2012. — URL: http://www.rusnauka.com/13_EISN_2012/Physica/7_103459.doc.htm (дата обращения: 19.09.2023).
23. Физическая энциклопедия [Текст]. В 5 т. Т. 2. / гл. ред. А.М. Прохоров. — М.: Советская энциклопедия, 1990. — 704 с.
24. Философский энциклопедический словарь [Текст] / гл. ред. Л.Ф. Ильичев. — М.: Советская энциклопедия, 1983. — 840 с.
25. Химическая энциклопедия [Текст]. В 5 т. Т. 1 / гл. ред. И.Л. Кнунянц. — М.: Советская энциклопедия, 1988. — 625 с.
26. Яковлев А.А. Инженерно-физический метод синтеза технических решений преобразователей энергии [Текст]: автореф. дис. д-ра техн. наук / А.А. Яковлев. — Волгоград: Изд-во Волг. гос. техн. университета, 2008. — 347 с.
27. Koller R. Konstruktionsmethode für den Maschinen-Geräte- und apparatebau. Berlin: Springer-Verlag, 1976. 191 p.
28. Leparov M. Method “Conversion of any Random Technical Object” for Conceptual Design of Technical Objects. Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods&Technologies. 2013, V. 7, I. 3, pp. 137–159.
29. Otto K., Wood K. Product Design. Techniques in Engineering and New Product Development, NJ, Prentice Hall, 2001. 1065 p.
30. Pahl G., Beitz W., Feldhusen J., Grote K.H. Engineering Design. A Systematic Approach, Springer-Verlag Berlin, 2007. 617 p.
31. Tomiyama T., Gu P., Jin Y., Lutters D., Kind C., Kimura F. Design methodologies: Industrial and educational applications. CIRP Annals — Manufacturing Technology. 2009, 58, pp. 543–565.
5. Zaripov M.F. *Energo-informacionnnyy metod nauchno-tekhnicheskogo tvorchestva* [Energy-information method of scientific and technical creativity]. Moscow, VNIPI Publ., 1988. 124 p. (in Russian)
6. Leparov M.N. Geometricheskiye preobrazovaniya sborochnykh yedinit [Geometric transformations of assembly units]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2016, V. 4, I. 3, pp. 62–72. (in Russian)
7. Leparov M.N. Nyakoi osnovni tverdeniya za protsesa na projektirane na tekhnicheski obekti [Some basic statements about the design process of technical objects]. *Sbornik dokladi ot 21 mezhdunarodna nauchno-tehn. konf. “Avtomatizaciya na diskretnoto proizvodstvo” ADP2012* [Proc. 21st Int. Symp. “Automation of discrete manufacturing” ADM2012]. Sozopol, 2012, pp. 58–63. (in Bulgarian)
8. Leparov M.N. O geometrii, yeshche odin raz [About geometry, one more time]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2022, V. 10, I. 1, pp. 3–12. DOI: 10.12737/2308-4898-2022-10-1-3-13. (in Russian)
9. Leparov M.N. O nauke «Geometriya tekhnicheskikh ob'yektov» [About science «Geometry of technical objects»]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2019, V. 7, I. 2, pp. 28–38. DOI: 10.12737/article_5d2c187251b6c8.21632403. (in Russian)
10. Leparov M., Vicheva M., Georgiev M. *Osnovi na inzhenerното projektirane* [Fundamentals of engineering design]. Sofia, Softtrejd Publ., 2015. 360 p.
11. Leparov M.N. Otnosno presmyataniyata v protsesa na projektirane na tekhnicheski obekti [About calculations in the process of designing technical objects]. *Bylgarsko spisanie za inzherno projektirane* [Bulgarian Journal of Engineering Design]. 2011, I. 9, pp. 45–57. (in Bulgarian)
12. Leparov M.N. Tverdeniya v teoriyata na evristichното projektirane [Statements in Heuristic Design Theory]. *Bylgarsko spisanie za inzherno projektirane* [Bulgarian Journal of Engineering Design]. 2010, I. 5, pp. 77–88. (in Bulgarian)
13. Leparov M.N. Tekhnologiya «Druqa gledna tochka» pri projektirane na tekhnicheski obekt. CH. 1. Tverdeniya [Technology «Another point of view» in the design of a technical object. Part 1. Statements]. *Bylgarsko spisanie za inzherno projektirane* [Bulgarian Journal of Engineering Design]. 2023, I. 46, pp. 42–50. (in Bulgarian)
14. Leparov M.N. Tekhnologiya «Sistematizatsiya na element» za projektirane na tekhnicheski ob'ekt [Technology «Systemization of element» for design of technical object]. *Bylgarsko spisanie za inzherno projektirane* [Bulgarian Journal of Engineering Design]. 2022, I. 45, pp. 11–17. (in Bulgarian)
15. Leparov M.N., Popov M.H. Evristichnyy podhod pri formirovaniy utverzhdeniy v tekhnietike [A heuristic approach to the formation of statements in engineering]. *Tehnetika i simeotika, Tehnologicheskije issledovaniya* [Engineering and simeotics, Cenological research]. 2012, I. 46, pp. 45–50. (in Russian)
16. Prokhorov YU.V. *Matematicheskij entsiklopedicheskij slovar'* [Mathematical Encyclopedic Dictionary]. Moscow, Sov. entsiklop. Publ., 1988. 847 p. (in Russian)

References

1. Anur'ev V.I. *Spravochnik konstruktora-mashinostroitelya* [Handbook of mechanical engineering designer]. V 3 t., V. 1–3. 9-e izd. pererab. i dop. Moscow, Mashinostroenie-1 Publ., 2006. V. 1, 928 p., V. 2, 960 p., V. 3, 928 p. (in Russian)
2. State Standard 2.102-2013 ESKD. *Vidy i kompleknost' konstruktorskih dokumentov* [Unified system for design documentation. Types and sets of design documentation]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 12 p. (in Russian)
3. State Standard 2.102-2013 ESKD. *Stadii razrabotki* [Unified system for design documentation. Stages of designing]. Moscow, Standartinform Publ., 2013. 6 p. (in Russian)
4. Zhdanov L.S., Zhdanov G.L. *Fizika* [Physics]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 512 p. (in Russian)

17. Orlov P.I. *Osnovy proektirovaniya* [Design Basics] V 2 kn.: spravochno-metodicheskoe posobie. Pod red.P.N. Uchaeva. 3-e izd. ispr. Moscow, Mashinostroeni Publ., 1988. Kn. 1. 560 p., Kn. 544 p. (in Russian)
18. Orloev N.A. *Metodicheski osnovi na konstruiraneto. Pravila i printsipi* [Methodological foundations of construction. Rules and principles]. Ruse, VTU “Angel Kynchev” Publ., 1985. 331 p. (in Bulgarian)
19. Polovinkin A.I. *Zakony stroeniya i razvitiya tehniki* [Laws of building and development technics]. Volgograd, VolgPI Publ., 1985. 202 p.
20. Polovinkin A.I. *Osnovy inzhenernogo tvorchestva* [Basics of engineering creativity]. Saint Petersburg, Lan’ Publ., 2007. 368 p.
21. Popov M.H. Terminological dictionary of technetics [Tehnologicheskie issledovaniya]. Moscow, Tehnetika Publ., 2009. 392 p.
22. Sulejmanov N.T. Velichiny i parametry opticheskikh tsepey [Magnitudes and parameters of optical circuits]. *Konf. Effektivnyye instrumentyi sovremennyih nauk* [Proc. of the conf. Effective tools of modern sciences], 2012. Available at: http://www.rusnauka.com/13_EISN_2012/Phisica/7_103459.doc.htm (accessed 19 September 2023).
23. Prohorov U.V. *Fizicheskaya entsiklopediya* [Physical Encyclopedia]. V 5 t., V. 1. Moscow, Sov.entsikl. Publ., 1990. 704 p.
24. Ilich’ev L.F. *Filosofskij entsiklopedicheskij slovar’* [Philosophical Encyclopedic Dictionary]. Moscow, Sov.entsiklop. Publ., 1983. 840 p.
25. Knunqnts I.L. *Himicheskaya entsiklopediya* [Chemical Encyclopedia]. V 5t. V. 1. Moscow, Sov.entsikl.Publ., 1988. 625 p.
26. Yakovlev A.A. *Inzhenerno-fizicheskij metod sinteza tehniceskikh reshenij preobrazovatelej energii. Dokt. Diss.* [Engineering-physical method for synthesizing technical solutions for energy converters. Doct. Diss.]. Volgograd, 2008. 347 p.
27. Koller R. *Konstruktionsmethode für den Maschinen-Geräte- und apparatebau-* Berlin: Springer-Verlag, 1976. 191 p.
28. Leparov M. Method “Conversion of any Random Technical Object” for Conceptual Design of Technical Objects. *Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods&Technologies*. 2013, V. 7, I. 3, pp. 137–159.
29. Otto K., Wood K. *Product Design. Techniques in Engineering and New Product Development*, NJ, Prentice Hall, 2001. 1065 p.
30. Pahl G., Beitz W., Feldhusen J., Grote K.H. *Engineering Design. A Systematic Approach*, Springer-Verlag Berlin, 2007. 617 p.
31. Tomiyama T., Gu P., Jin Y., Lutters D., Kind C., Kimura F. Design methodologies: Industrial and educational applications. *CIRP Annals — Manufacturing Technology*. 2009, 58, pp. 543–565.