

ИННОВАЦИИ В МЕНЕДЖМЕНТЕ

Старцев В.А.,

к.э.н., Проректор по научной работе и инновационной деятельности ГБОУ ВО МО «Технологический Университет»

УДК: 338.1

JEL Classification: J310

Фалько С.Г.,

проф., д.э.н. Зав. каф. «Экономика и организация производства» МГТУ им. Н.Э.Баумана

ЭВОЛЮЦИЯ ПОДХОДОВ И ПРИНЦИПОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ ПРОДУКТОВ¹

Аннотация

Приведено описание эволюции подходов и принципов проектирования технических средств в периоды ремесленного, мануфактурного и капиталистического производства; рассмотрены подходы к системному проектированию с середины прошлого века по настоящее время с применением компьютерной техники и прикладных программ; изложены современные тенденции в разработке новых продуктов.

Ключевые слова:

Новый продукт, принципы разработки, системное проектирование, современные тенденции, эволюция.

Vjacheslav A. Startsev, Ph.D. Technological University Moscow Region, Vice-Rector for Research and Innovative Activity

Sergey G. Falko, Prof., Doctor of Economic Sciences, Head of the Department Economics and industrial engineering, BMSTU

EVOLUTION OF APPROACHES AND PRINCIPLES WHEN DEVELOPING NEW PRODUCTS

Abstract

The description of the evolution of approaches and principles of the design of technical means during the periods of handicraft, manufactory and capitalist production is given; approaches to system design from the middle of the last century to the present time with application of computer technology and applied programs are considered; present trends in the development of new products.

Keywords:

New product, development principles, system design, modern trends, evolution.

Введение

Разработка и выпуск нового продукта для большинства предприятий остается одной из ключевых функций. Предприятия вынуждены инвестировать в разработку инновационных продуктов, поскольку практически по всем видам продукции в мире имеются прямые

или косвенные конкуренты, которые предлагают аналоги или другие продукты/услуги, удовлетворяющие потребности клиентов.

Мировые тренды таковы, что при разработке продукта приходится учитывать не только результаты научно-технического прогресса, но и расширение кру-

¹ Наряду с термином «продукт», в статье будут использованы следующие термины-синонимы: изделия, новая техника, технические средства, технические системы. Это связано с тем, что в работах ряда авторов на которых даны ссылки, используется приведенная выше терминология.

га физических и институциональных стейкхолдеров, ужесточение нормативных требований по экологии, безопасности, эргономике и т.п., а также рост требовательности и правовой грамотности клиентов.

В статье рассмотрены лишь эволюционные и организационно-технические аспекты процесса разработки продукта. Вопросы стратегического планирования продуктового портфолио, управления рисками и изменениями при создании нового продукта, а также системного проектирования и управления качеством будут рассмотрены в последующих публикациях.

Эволюция подходов и принципов проектирования технических средств: XI–начало XX вв.

Практика создания технических средств в доремесленный период подробно рассмотрена в работе [6]. Каменные орудия труда, найденные археологами, имели форму удобную для производительной работы. На длительном отрезке времени наблюдалась эволюция орудий труда, что говорит о постоянном процессе создания новых изделий на основе предыдущего опыта, передаваемого устно и иллюстрируемого примитивными рисунками.

Технические средства в ремесленном периоде (V–середина XV в.) создавались единолично мастером, который брал в качестве прототипа изделия предшественников и совершенствовал их методом проб и ошибок. Ученики-подмастерья перенимали опыт мастера и старались не делиться им с другими кланами, создавая своеобразную монополию.

Переход от ремесленного к мануфактурному производству охватывает период XVI–XVIII вв. В работе К. Маркса «Капитал. Критика политической экономии» дано подробное описание с примерами способов становления мануфактур [5]. Автор выделял два основных способа:

- 1) в одной мастерской под руководством капиталиста-собственника собираются мастера, выполняющие отдельные операции до окончательной готовности продукта. Ранее каждый из них был независим и выполнял самостоятельно токарные, слесарные, лакировочные, портняжные и прочие работы;
- 2) второй способ заключался в объединении ремесленников, выполняющих однородную работу в общей мастерской.

Таким образом, мануфактура обеспечивает реализацию процесса разделения труда и объединяет самостоятельные ремесла в единый процесс производства.

Эволюция мануфактурного производства происходила в направлении замены ручного труда машинным,

поэтому появилась потребность в изучении и обобщении опыта проектирования и изготовления сложных технических средств.

Как отмечается в [6, с. 69], «Процесс создания новых технических средств в XVI–XVIII вв. не претерпел принципиальных изменений». При этом результативность и эффективность процесса производства новых технических средств, благодаря разделению труда и применению машин, существенно выросли.

Итак, в производстве продукции прогресс, а в разработке новых технических средств по-прежнему практиковался метод «проб и ошибок», который порождал многочисленные переделки и доработки на всех этапах. Отсутствовало четкое разграничение работ по стадиям разработки продукта, однако наметилась тенденция в использовании чертежей и экспериментальной проверки работоспособности технических средств на моделях (прототипах) перед запуском в производство. Шел процесс накопления эмпирических данных о поведении предметов и явлений при конструировании новых машин.

Капиталистический способ производства, предусматривающий использование частным собственником рабочей силы в производстве за вознаграждение, предполагает стремление собственника к получению и капитализации прибыли. Для этого нужны новые технические средства замены человека или механизации труда с целью повышения производительности и снижения себестоимости продукции, а также совершенствование технологических процессов и материалов.

Большая потребность в разработке технических средств обусловила необходимость в обращении к техническим наукам, помогающим найти «более дешевые способы» для достижения целей.

Середина XIX века характеризуется систематизацией конструктивных решений, которые были разработаны машиностроителями за длительный период времени, а также активным проникновением научных знаний в процесс создания технических средств. Во многих странах издавались атласы и сборники машиностроительных чертежей для изготовления типовых деталей и механизмов, которые рекомендовалось выбирать при конструировании технических средств. По сути дела, инженеры занимались стандартизацией и типизацией элементов и узлов конструкции, что ускоряло процесс создания новых изделий.

Наряду с положительной стороной стандартизации, позволяющей идти по проверенному пути и обеспечивающей работоспособность создаваемых машин, возникала опасность застоя в решении практических задач, которые возникали в ходе развития капиталистического производства. Другими слова-

ИННОВАЦИИ В МЕНЕДЖМЕНТЕ

ми, стандартизация и типизация тормозили научно-технический прогресс. Об этом явлении в свое время писал профессор Ремесленного учебного заведения (ныне МГТУ им. Н.Э. Баумана) А.С. Ершов: «Неужели вечно будут строить фабрики по образцу других, часто исполненных с ошибками, не обращая внимания ни на местные обстоятельства, ни на другие данные, совершенно изменяющие положение дела?» [4, с.68]. В полной мере этот тезис был справедлив и по отношению к техническим средствам, создаваемых на основе предыдущего опыта.

Для изготовления нового изделия в производственных цехах нужны были чертежи, создаваемые инженерами-конструкторами. Чертеж – это статическая модель разрабатываемого технического устройства. По чертежу можно увязывать размеры и подбирать формы деталей, компоновать узлы и агрегаты и т.д.

В XIX и начале XX вв. производственные процессы серийного и массового выпуска продукции строились на принципах разделения труда, взаимозаменяемости деталей, исключения ручной подгонки по образцу, изготовления деталей и узлов строго по чертежам.

Уже в 70–90 гг. XIX века чертежи деталей вычерчивались на отдельных листах с указанием способа и чистоты обработки деталей, технологических припусков. Появились условные изображения резьбы, зубчатых соединений, пружин и т.п. Разработанные немецкими инженерами стандарты по оформлению чертежей были приняты в отечественной промышленности в 1915–1917 гг. [6].

Однако чертеж содержал, как правило, отдельные частные решения при создании конкретных технических устройств для определенных условий их функционирования. В чертежах отражался ранее накопленный опыт, который далеко не всегда можно было использовать при создании принципиально новых машин.

С начала XX столетия при проектировании технических средств, разработке новых технологий и методов организации производства инженеры использовали достижения фундаментальной и прикладной науки. Для проведения научных исследований компании создавали специальные бюро, лаборатории, институты. Широко известен пример лаборатории Т.А. Эдисона, которая со временем превратилась в крупный научно-исследовательский центр в США. До начала первой мировой войны в США было около 100 промышленных научно-исследовательских лабораторий, многие из которых работали в области электротехники и химии [6, с. 138].

В России, несмотря на отсталость в промышленности, не столь масштабно как в США, но, тем не менее,

велись научно-исследовательские работы (НИР) прикладного характера на базе лабораторий университетов и Академии наук.

Широкую известность в то время получило «Общество содействия успехам опытных наук и их практических применений им. Х.С. Леденцова», созданное в 1909г. при Московском университете и Императорском московском техническом училище (ИМТУ). Задача общества заключалась в содействии изобретательской деятельности, внедрению технических новшеств и проверке их работоспособности на практике.

Частный бизнес в России также использовал передовой опыт в проектировании технических устройств и использовал достижения прикладных наук. В частности, речь идет о технической конторе предпринимателя А.В. Бари, в которой выдающийся российский инженер- выпускник ИМТУ В.Г. Шухов стал главным инженером и создал проектно-конструкторское бюро, а также монтажную группу по сборке металлических конструкций. Это был фактически первый в России успешный опыт создания отдельного подразделения по проведению НИР и ОКР в структуре компании [7].

В [10] отмечается, что во время работы Шухова В.Г. на нефтепромыслах в Баку были заложены основы Шуховского метода:

- 1) поиск принципиально новых инженерных решений;
- 2) использование научно-аналитического, а не господствовавшего в то время эмпирического подхода;
- 3) постановка инженерных задач с определяющим экономическим критерием оптимальности при наилучшем использовании ресурсов.

Так, например, при проектировании цилиндрических резервуаров вместо прямоугольных конструкций, разработанных американскими инженерами, Шухов В.Г. применил принципы унификации и стандартизации, что позволило организовать поточное производство резервуаров. Унифицированные таблицы позволяли определять объем, вид и расход материала, а также финансовые затраты. Можно констатировать, что «оптимизация и оптимальность» – кредо его инженерного творчества. Шухов В.Г. при изготовлении металлических конструкций опирался на три основных принципа [10]:

- экономия материала как принцип проектирования;
- незначительные трудовые затраты как технический принцип;
- быстрый монтаж как принцип строительства.

Разработка новых продуктов в середине XX начале XXI вв.

Разработка новых продуктов в этот период основы-

вается на тесной связи научных исследований фундаментального и прикладного характера с технической и организационной подготовкой производства.

Входными данными для разработки продукта в странах с развитой рыночной экономикой были результаты маркетинговых исследований и требования специалистов по продажам. В условиях плановой экономики входные параметры для новой продукции отличались в зависимости от ее назначения. Для военной продукции (техники) входными параметрами служили заданные военными специалистами тактико-технические характеристики изделий (например: скорость, дальность и высота полета, вес, надежность и т.п.). Гражданские отрасли, производящие продукцию не конечного потребления (станки, оборудование и т.п.), осуществляли разработки в научно-исследовательских отраслевых институтах и конструкторских бюро совместно с опытным производством. В качестве входных данных для разработки новых изделий выступали результаты НИ-ОКР и патентных исследований, а также заказы смежников и лучшие образцы западной техники.

Так называемые «товары народного потребления» в период плановой экономики разрабатывались по аналогичной схеме. Зачастую отечественные инженеры разрабатывали новые продукты конечного потребления на основе доступных западных образцов. Хорошо известны из отечественной практики примеры заимствования при производстве автомобилей, велосипедов, мотоциклов, стиральных машин, холодильников и т.п. Впрочем, это мировая практика заимствований (имитаций), помогающая сократить сроки вывода продукции на развивающихся рынках.

С середины XX века сперва в развитых странах Запада, а затем в 70-е годы и в России все большее распространение получает системный подход к проектированию новой техники [1, 2, 3, 8, 9].

При создании нового продукта инженеры стремились к достижению не только лучших для своего времени технико-технологических характеристик, но и пытались создавать изделия с меньшими затратами как в производстве, так и эксплуатации, то есть опирались на принципы и кредо В.Г. Шухова.

Если говорить о российской практике проектирования новых технических средств, то технико-экономические расчеты при проектировании проводились, но к сожалению, как правило, после того, как уже выходил опытный образец или прототип. В большинстве дипломных работ студентов технических вузов как в прошлом веке, так и сегодня, экономические расчеты проводятся на завершающей стадии, то есть после выполнения чертежей, написания технологий и разработки приспособлений. Другими словами, ста-

вится задача посчитать затраты на разработку нового или модифицированного изделия. Возникает вопрос: «Какой смысл в экономических и финансовых расчетах после проведения разработки?». Пожалуй один плюс в этом имеется: студент должен продемонстрировать комиссии знания и умения по расчету затрат. Но к оптимизации разрабатываемого изделия по экономическим критериям это не имеет отношения.

Необходимо вновь вспомнить сущность Шуховского подхода: сначала экономическая постановка задачи, а затем поиск конструкторско-технических и технологических решений.

Для продукции военно-космического назначения экономические критерии до недавнего времени практически не играли никакой роли. Сегодня эта проблема подымается, но у большинства отечественных инженеров зрелого возраста финансово-экономический взгляд на разрабатываемый продукт либо вообще отсутствует, либо делегируется экономистам: «Пусть посчитают, чтобы определить цену и эффект!».

В рассматриваемый период в технологии проектирования новых продуктов произошли существенные изменения, связанные с массовым производством и применением электронно-вычислительных машин (ЭВМ), обладающих способностью хранить, обрабатывать и передавать огромные объемы информации об изделиях, узлах и деталях в цифровом виде. Это способствовало существенному росту производительности разработчиков. Постепенно исчезала профессия чертежника, поскольку чертежи создавались машинным способом на основе образцов, заложенных в память ЭВМ.

В 60-е годы XX века в Массачусетском технологическом институте (США) был введен термин CAD (Computer Aided Design) который можно перевести на русский язык как «автоматическое конструирование с применением компьютера» [15].

Проектирование с помощью CAD позволяет производить не только геометрические расчеты, выбирать формы деталей, рисовать чертежи, но и моделировать функциональные и кинематические процессы.

Интеграция CAD-систем с производственным оборудованием, оснащенным устройством с числовым программным управлением, позволяет изготавливать прототипы деталей в реальном масштабе времени.

Многочисленные технологии прототипирования: стереолитография, послойное спекание порошков лазерным лучом, 3D-печать и т.п., позволяют изготовить макет детали для анализа работоспособности и презентации потенциальным заказчикам, что ускоряет процесс разработки и вывода изделия на рынок.

Стремительный научно-технический прогресс в

ИННОВАЦИИ В МЕНЕДЖМЕНТЕ

области создания сверхмощных ЭВМ (Hardware), прикладных программных продуктов (Software), инструментов и технологий прототипирования создает предпосылки для ускоренных разработок новых продуктов, что несомненно создает преимущества в условиях сокращения жизненного цикла изделий. Однако при этом растут затраты в стоимостном выражении, поскольку новые технологии и программные средства недешевы, к тому же для работы с ними требуются высококвалифицированные специалисты.

При наличии больших технико-технологических возможностей у современного инструментария разработчиков пока нельзя утверждать, что в методологии проектирования наметились существенные прорывы. По-прежнему инженеры-разработчики преимущественно обращают свои взоры на достижения в мире науки и техники и разрабатывают новейшую технику, которая не всегда акцептируется заинтересованными лицами, поскольку не учтены их требования и желания. Свежий пример в подтверждение данного тезиса можно привести из области создания военной техники в Германии.

В Германии был разработан новейший танк Puma. Это самая современная и очень дорогая модель в своем классе. Разработчики заложили наилучшие характеристики по защите, огневой мощи и мобильности. Однако оказалось, что солдаты ростом выше 1,84 м, включая высоту шлема, не помещаются в заднем боевом пространстве танка. В передней части танка максимально допустимый рост со шлемом 1,91 м. В предыдущей модели немецкого танка Marder помещались солдаты ростом до 1,96 м. Предполагалось, что хорошо обученные танкисты переседают на новую модель танка и тем самым отпадет необходимость в затратах на обучение. Предполагалось, что до 2020 г. Бундесвер закупит 350 новых моделей танков на смену устаревшим. Теперь у военного руководства дилемма: дорабатывать модель с точки зрения расширения внутреннего пространства, но для этого согласно прогнозам понадобится примерно 5 лет, следовательно сроки поставки танков в армию существенно сдвинутся. Соответственно вырастут затраты на 55% (примерно на 1,2 млрд €), то есть каждый танк станет дороже примерно на 3,5 млн € при первоначально заявленной цене 8 млн €. Кроме того, нет уверенности, что пространство можно будет увеличить, не ухудшив другие – боевые характеристики.

Почему же это произошло? Дело в том, что за 15 лет, прошедших с начала разработки, новое поколение молодых людей анатомически изменилось: они стали в среднем существенно выше ростом. Этот фактор разработчики не учли при формировании требований.

Хотя в 2015г. в рабочей группе разработчиков, состоящей из специалистов 2-х проектных предприятий оборонного профиля, произошла дискуссия на экзотическую тему: нужно ли учитывать тот факт, что беременная женщины-танкист может принимать участие в боевых действиях и каковы условия ее допуска, а также угрозы повреждения околоплодной воды газами после выстрела.

Таким образом, слабая проработка проектантами требований в части допустимого роста танкистов без учета анатомических параметров в будущем поставила под угрозу срыва проект стоимостью около 4,0 млрд €.

Современные тенденции в разработке новых продуктов

Если кратко охарактеризовать современные тенденции в разработке продуктов, то можно для простоты ограничиться одним словом – разграничение [12]. Как уже отмечалось выше, в прежние времена разработка продуктов была исключительно вотчиной конструкторов и инженеров, которые действовали в границах своих компетенций и в соответствии с принятыми правилами и этапами конструирования и проектирования. Разработанная в соответствии с результатами маркетинговых исследований и требованиями специалистов по продажам конструкторско-технологическая документация, обеспечивающая по замыслу разработчиков сформулированные требования, передавалась на изготовление в производственные подразделения.

Сегодня такой подход с простым и четко определенным разделением и последовательным решением задач не позволяет создавать действительно конкурентоспособные продукты. Ниже приведены основные принципы и положения, которые необходимо учитывать при организации работ по разработке продукта в современных условиях [11, 12, 13, 14]:

1. В качестве объекта разработки должны выступать все фазы жизненного цикла продукции, а не только конструирование проектирование. Другими словами, необходим целостный подход к разработке продукта.
2. С целью ускорения процесса разработки и выведения продукта на рынок необходимо перейти от последовательной схемы к параллельной, то есть синхронизировать хотя бы частично фазы разработки.
3. Разработка продукта превращается в совместную работу инженеров-разработчиков, инженеров-технологов, инженеров по эксплуатации и утилизации с привлечением специалистов по всем стадиям жизненного цикла: маркетингов, экономистов, организаторов производства, экологов, сбытовиков.
4. Разработка продукта не обязательно должна осуществляться в рамках отдельного предприятия и

не только в линейной цепочке создания стоимости: поставщики–производители–сбытовики. Целесообразно переходить к сетевой структуре, в которой взаимосвязаны различные предприятия.

5. Продукт в современном понимании – это не только материальный продукт, состоящий из элементов механики (узлы, отдельные детали и т.п.). Сегодня необходимо говорить о мехатронном продукте, в который, кроме элементов механики, входят электронные, электротехнические и компьютерные компоненты. В сочетании с software разрабатываемые мехатронные продукты обладают большим потенциалом по увеличению добавленной стоимости по сравнению с чисто материальным продуктом.

6. Все большее количество разрабатываемых продуктов имеют техническую возможность подключаться к сетям. Это означает, что продукт существует не только в физическом мире, но и в Интернете вещей. Сегодня уже активно применяется термин «киберфизический продукт».

7. В настоящее время наблюдается тенденция исчезновения границ между физическим продуктом и услугой, поскольку все большее число клиентов предпочитают не обладать продуктом, а иметь возможность удовлетворять свои потребности, например, в индивидуальной мобильности посредством бизнес-модели carshering и т.п.

Выводы

На протяжении многих столетий разработчики новых продуктов, опираясь на опыт прошлых лет, дей-

ствовали методом «проб и ошибок», как правило, единолично или с привлечением подмастерьев.

По мере роста научно-технического прогресса росла потребность в разработке новых технических средств, что привело к активному использованию научных достижений при проектировании новых машин, а также к обособлению подразделений по проектированию в специальные лаборатории и опытно-конструкторские бюро.

Развитие ЭВМ и программных средств в XX-м веке способствовало сокращению сроков создания новых технических средств, однако проблема обеспечения системности при проектировании еще далека от решения.

Несмотря на различия в экономических системах СССР и индустриально развитых стран Запада, процессы разработки новых продуктов в виде сложных технических систем (различные виды вооружения, энергетические установки, ракетно-космическая техника и т.п.) существенно не отличались. Конструкторы и инженеры фокусировались в основном на «мире науки и техники», ставя цели достижения лучших по сравнению с конкурентами технических характеристик на основе фундаментальных и прикладных исследований.

Социально-экономические, гуманитарные, экологические и другие не технические критерии отходили на второй план, либо вообще не учитывались.

Перечисленные кратко современные тенденции в разработке новых продуктов желательно учитывать, но при этом на предприятиях-разработчиках должны быть обеспечены условия для их реализации.

Литература:

1. Анискин Ю.П., Моисеева Н.К., Проскуряков А.В. Новая техника: повышение эффективности создания и освоения. М.: Машиностроение, 1984. 192 с.
2. Диксон Д. Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений. Пер. с англ. изд. (1966 г.). М.: Мир, 1969. 440 с.
3. Дитрих Я. Проектирование и конструирование: системный подход. Пер. с польск. изд. (1974г.). М.: Мир, 1981. 456 с.
4. Ершов А.С. О содержании и преподавании практической механики //Журнал министерства народного просвещения. 1845. №2 (45). С.57–70.
5. Маркс К. Капитал. Критика политической экономии. Книга 1. ПСС. Т.23. М.: Государственное издательство политической литературы, 1960. 907 с.
6. Уварова Л.И. Научный прогресс и разработка технических средств: эволюция и современное состояние. М.: Наука, 1973. 271 с.
7. Фалько С.Г. Интеллектуальное наследие В.Г. Шухова /Предисл. к репринт. изд. книги Шухова В.Г. «Трубопроводы и их применение к нефтяной промышленности. Насосы прямого действия». М.: НИЦ «Инженер», 2014. С.10–15.
8. Холл А. Опыт методологии для системотехники. Пер. с англ. изд. (1965 г.). М.: Советское радио, 1975. 448 с.
9. Хубка В. Теория технических систем. Пер. с нем. изд. (1974г.). М.: Мир, 1987. 208 с.
10. Шухов В.Г. (1853–1939). Искусство конструкции: Пер. с нем./Под ред. Р.Греффе, М.Ганпоева, О. Перчи. М.: Мир, 1994. 192 с.
11. Anderl R., Eigner M., Sandler U., Stark R. Smart Engineering. Interdisziplinare Produktentstehen. Berlin, Heidelberg; Springer Verlag. 2012.
12. Lindemann U. Handbuch Produktentwicklung. Munchen: Carl Hanser Verlag, 2016. 1036 s.
13. Porter M.E.,Heppelmann J.E. Wie smarte Produkte die Wettbewerb verändern // Harvard –Business –Manager. 2014. N 36 (12). S.34–60.

ИННОВАЦИИ В МЕНЕДЖМЕНТЕ

14. Spath D. Taking the Puls of economic development. Service trends. Munchen: Carl Hanser Verlag, 2011.
15. Wiendahl H.-P. Betriebsorganisation fur Ingenieure. Munchen; Wien: Carl Hanser Verlag, 1989. 418 s.

References:

1. Aniskin YU.P., Moiseeva N.K., Proskuryakov A.V. Novaya tekhnika: povyshenie ehffektivnosti sozdaniya i osvoiniya. M.: Mashinostroenie, 1984. 192 s.
 2. Dikson D. Proektirovanie sistem: izobretatel'stvo, analiz i prinyatie reshenij. Per. s angl. izd. (1966 g.). M.: Mir, 1969. 440 s.
 3. Ditrih YA. Proektirovanie i konstruirovaniye: sistemnyj podhod. Per. s pol'sk. izd. (1974g.). M.: Mir, 1981. 456 s.
 4. Ershov A.S. O sodержanii i prepodavanii prakticheskoy mekhaniki //Zhurnal ministerstva narodnogo prosveshcheniya. 1845. №2 (45). S.57–70.
 5. Marks K. Kapital. Kritika politicheskoy ehkonomii. Kniga 1. PSS. T.23. M.: Gosudarstvennoe izdatel'stvo politicheskoy literatury, 1960. 907 s.
 6. Uvarova L.I. Nauchnyj progress i razrabotka tekhnicheskikh sredstv: ehvolyuciya i sovremennoe sostoyanie. M.: Nauka, 1973. 271 s.
 7. Fal'ko S.G. Intellektual'noe nasledie V.G. SHuhova /Predisl. k reprint. izd. knigi SHuhova V.G. «Truboprovody i ih primeneniye k neftyanoy promyshlennosti. Nasosy pryamogo dejstviya». M.: NIC «Inzhener», 2014. S.10–15.
 8. Holl A. Opyt metodologii dlya sistemotekhniki. Per. s angl. izd. (1965 g.). M.: Sovetskoe radio, 1975. 448 s.
 9. Hubka V. Teoriya tekhnicheskikh sistem. Per. s nem. izd. (1974g.). M.: Mir, 1987. 208 s.
 10. SHuhov V.G. (1853–1939). Iskusstvo konstrukcii: Per. s nem./Pod red. R.Greffe, M.Gappoeva, O. Perchi. M.: Mir, 1994. 192 s.
 11. Anderl R., Eigner M., Sandler U., Stark R. Smart Engineering. Interdisziplinare Produktentstehen. Berlin, Heidelberg; Springer Verlag. 2012.
 12. Lindemann U. Handbuch Produktentwicklung. Munchen: Carl Hanser Verlag, 2016. 1036 s.
 13. Porter M.E., Heppelmann J.E. Wie smarte Produkte die Wettbewerb verandern //Harvard –Bussines –Manager. 2014. N 36 (12). S.34–60.
 14. Spath D. Taking the Puls of economic development. Service trends. Munchen: Carl Hanser Verlag, 2011.
 15. Wiendahl H.-P. Betriebsorganisation fur Ingenieure. Munchen; Wien: Carl Hanser Verlag, 1989. 418 s.
-