

DOI: 10.15643/libartrus-2015.5.1

## Место и роль науки в контексте технических проектов XX века

© А. И. Липкин, В. С. Федоров\*

Московский физико-технический институт

Россия, Московская обл., 141707 Долгопрудный, Институтский пер., д 9.

\*Email: feoff3@gmail.com

*В статье анализируется взаимодействие науки и техники в контексте научно-технических проектов XX века. Для этого вводится различие «чистой науки» и техники и на ее основе дается определение и схема прикладного исследования и прикладной науки, а также технической науки. Представленные понятия и схемы лежат в основе проводимого в статье методологического анализа линейной, каскадной и нелинейной модели взаимодействия чистой науки и техники. Основным примером последней и объектом анализа является научно-технический проект создания атомного оружия в СССР. Выделяется особая роль организации и управления в развитии прикладных исследований и технических разработок проекта. Указывается, что в рамках проекта взаимосвязи между наукой и техникой имеют принципиально новый характер, и это изменение существенно повлияло на развитие современных форм организации научной деятельности.*

**Ключевые слова:** атомный проект, НИОКР, линейная модель, философия науки, философия техники, история науки, методология науки, организация науки, каскадная модель, инновации.

Нам представляется, что в течение XX в. произошло несколько существенных изменений во взаимоотношениях между наукой, техникой и практикой. Проанализировать их – существенно важно для понимания места науки в современном технологическом, общественном и экономическом развитии. Прояснение этих аспектов является особенно важным на фоне неугасающих дискуссий об отечественной науке (особенно в контексте реформы РАН), ее месте в общественной и экономической жизни страны, инновациях и научной политике.

Мы предлагаем систему понятий, с помощью которой проанализируем модели отношений между наукой, техникой, обществом, которые появляются в прикладной науке и научно-технических проектах второй трети XX века, прежде всего в «атомном проекте».

### 1. «Чистая наука» и «техника»

Будем понимать под наукой – систематическое доказательное знание о некоторых явлениях (объектах, процессах), получаемое манипулированием по определенным правилам идеальными сущностями (т.е. умозрение)<sup>1</sup>.

Это общее определение подвержено критике и имеет альтернативы [13], но в нашем случае ситуация упрощается тем, что мы будем ориентироваться на более конкретные регионы

---

<sup>1</sup> В естественных и технических (возможно и общественных) науках обоснование включает материальную реализацию идеальных сущностей. В математических науках обоснование осуществляется внутри пространства идеальных сущностей.

науки, а именно «чистую» и «прикладную» естественную науку и «техническую» науку, которые постараемся определить более четко.

Под «чистой наукой» будем понимать теоретические и экспериментальные исследования явлений, направленные на построение теории последних. В центре «чистой науки» находится построение пары «явление – теория»: выделение «интересного» явления и построения для него теории, или же, наоборот, выведение («на кончике пера») новых явлений, следующих из теории. Явление – это некий объект или процесс, который не имеет теоретического описания (следовательно, непонятен), и признан сообществом ученых интересным, т.е. заслуживающим исследования и построения его теории. Признание сообществом ученых интересным является обязательным качеством явления в чистой науке. При этом строительным материалом для теории являются базовые сущности различных наук и их разделов, которые содержатся в основаниях соответствующих разделов науки<sup>2</sup> [9, 10].

Теперь обратимся к понятию техники. Согласно методологу В. М. Розину, «Одну из первых концептуализаций, способствовавших развитию техники... наметил Аристотель, который различил, с одной стороны, „природу“ и „естественное изменение“, с другой – „искусство“ (в античном понимании – это всякое изготовление, включая техническое) и „деятельность“... «Естественное мы имеем у тех вещей, у которых оно зависит от природы... природою в первом и основном смысле является сущность вещей, имеющих начало движения в самих себе как таковых...» [1, с. 82, 123]. „Искусство“ и „деятельность“ связаны со способностями человека. «Названием способности прежде всего обозначается начало движения или изменения, которое находится в другом, или поскольку оно – другое, как, например, строительное искусство есть способность, которая не находится в том, что строится» [1, с. 91–92; 14, с. 492] (курсив наш).

Согласно историкам науки А. Г. Григорьяну и В. П. Зубову, со времен Древней Греции до Нового времени господствовали представления, что «область механики – область *технической деятельности*, тех процессов, которые не протекают в природе как таковой без участия и *вмешательства человека*. Предмет механики – явления, происходящие «вопреки природе», т. е. вопреки течению физических процессов, на основе «искусства» (τέχνη) или «ухищрения» (μυχανή)... Механические проблемы... представляют самостоятельную область, а именно область операций с инструментами и машинами, область «искусства»... Под механикой понимается некое «искусство», искусство делать орудия и приспособления, помогающие одолеть природу... Во второй половине XVII в. продолжало держаться старое представление о механике как теории машин, основанной на началах статики» [4, с. 9–11].

В [9, 10] показывается, что это заданное в античности разведение на потоки натурфилософии и техники (в широком смысле) в Новое время наследуется потоками развития естественной науки и техники, которые взаимодействуют (техника вносит свой вклад в развитие используемых в науке приборов, а наука иногда вбрасывает кое-что в технику, о чем речь ниже), но, по крайней мере, до середины XX в., это два хорошо различимых потока, причем, как ни удивительно, аристотелевское различие «иметь начало движения» «в себе» или «другом» оказывается вполне адекватной основой для различения «чистой науки» и «техники».

---

<sup>2</sup> Работу с этими основаниями можно выделить как «фундаментальную чистую науку», в том смысле, что она работает с фундаментальными «строительными блоками» и принципами науки. Ее мы рассматривать не будем, ибо она находится за горизонтом исследуемых нами процессов. Т.е. то, что мы ниже будем называть «чистой наукой» – это «нормальная» (в смысле Куна) наука.

Это подтверждают и приводимые В. М. Розиним современные определения техники. «В отличие от явлений первой природы технические изделия (орудия, механизмы, машины, сооружения, техническая среда), даже очень сложные, например, городские структуры или космические системы являются искусственными образованиями, то есть артефактами. Определяя технику как артефакт, обычно подчеркивают именно это: техника – не явление первой природы, она создана человеком... В философском словаре 1991 г. читаем: «Техника (от греч. *Techne* – искусство, навыки, мастерство) в качестве понятия имеет два смысла. В первом обозначает орудия и инструменты труда и любые искусственные устройства (артефакты), созданные человеком и используемые для преобразования окружающей среды... Во втором смысле обозначает систему навыков, уровень мастерства в реализации того или иного вида деятельности» [14, с. 491–492; 17, с. 456–457] (курсив наш).

Положим в основание определения техники – *технические устройства* (изделия) и их изготовление и использование. Нам представляется, что все вышеприведенные определения техники этому соответствуют<sup>3</sup>.

Это понимание техники дополним рассматриваемым В. М. Розиним понятием техники как *опосредования* между замыслом и реализацией: «Как *опосредование техника связывает между собой замысел и реализацию и предполагает создание технического устройства, обеспечивающего эту реализацию*» [14, с. 493].

В технике как опосредовании четко выделена цель-замысел. Обычно речь идет о *практических (прагматических) целях*<sup>4</sup>.

Технологии – одна из форм существования техники. «Технология – это область *целенаправленных усилий* человека и общества, направленных на создание *новшеств (артефактов)*» [14]. В. М. Розин называет «*технологией в широком понимании*» особый случай опосредования, когда для создания соответствующих технических средств задействуются различные типы деятельности и ресурсы из науки, техники, практики, политики, то есть создаются целые отрасли промышленности. В результате такой целенаправленной многосторонней деятельности между замыслом и реализацией проходят не века, как в случае создания самолета, а годы, как в случае рассматриваемого ниже создания атомной бомбы.

В технике весь процесс организуется согласно воле человека, поэтому *в центре оказываются технические устройства* (или технологии), определяемые практическими функциями и целями.

Указанные выше определяющие черты техники: «артефакты, созданные человеком», нечто «*начало движения или изменения, которого находится в другом*» – в человеке, отличают ее от чистой науки. В чистой науке, несмотря на наличие искусственного технического элемента в приготовлении лежащих в основании явлений объектов, которые нельзя в готовом виде найти в природе (типа сверхпроводимости), созданный в лаборатории объект предполагает

---

<sup>3</sup> В терминах В. М. Розина это определение техники – техника как артефакт, является одним из нескольких возможных. Но для нашей задачи – различить технику и чистую науку, именно оно является наиболее подходящим.

<sup>4</sup> Однако из приводимого в [14] примера с историей создания самолета, видно, что цели могут быть не только прагматическими. В этом примере цель исходно, как она была сформулирована в мифе об Икаре, была скорее идеалистической – летать подобно птицам. Но для второй половины XX в., это не типичный случай, здесь все результаты развития техники «заземляются» на человеческие потребности (которые можно создавать) и рынок. Поэтому мы можем ограничиться прагматическими, практическими целями. К таким практическим (прагматическим) целям относится и создание супероружия – атомной бомбы.

поведение согласно *собственной природе, а не воле человека, «имеет начало движения в самом себе»*. Именно такое поведение является предметом чистой науки.

Такое понятийное (не эмпирическое) различие техники и чистой науки является основой для анализа взаимодействий науки и техники.

## 2. «Прикладная наука» и «техническая наука»

Обозначив принципиальное отличие науки и техники, перейдем к описанию взаимодействия между ними. Для этого нам потребуются понятия «прикладной науки» и «технической науки».

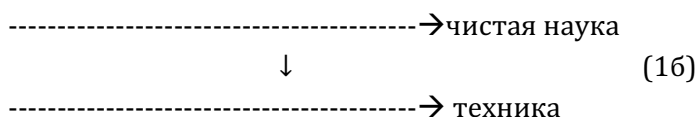
«**Прикладная наука**» занимается использованием теорий явлений, полученных в чистых науках для применения в технике. В отличие от чистой науки, ее целью является не новая теория явления, а *применение имеющейся в чистой науке теории явления в технике*. Уточним это функциональное определение прикладной науки с помощью ряда элементарных схем.

Первую схему назовем «*рождением явления*». Здесь явление выделяется из техники и приобретает самостоятельное развитие в рамках чистой науки (стрелка вверх на сх. 1а).



Примерами реализации такой схемы может быть изучение возникающих при радиопередаче явлений, связанных с распространением и отражением радиоволн в атмосфере, или возникновение разбираемой ниже физики магнитной жидкости (ее начало).

Вторую схему назовем «*применением*», состоящим в использовании явления и его теории из чистой науки (стрелка вниз на сх. 1б)



Схемы 1а и 1б показывают, что если из техники в науку могут поступать задачи (построения теории явления), то из науки в технику – модели и знания о тех или иных частях технических устройств.

Однако, с одной стороны, исторические случаи реализации схемы «применения» редки. История науки и техники демонстрирует много случаев, когда в технике начинали использовать заимствованное из чистой науки явление без (до) его теории (электромагнитные волны, рентгеновское излучение и др.). С другой стороны, «принципиального понимания, как оно предоставлено в общей теории, обычно недостаточно для того, чтобы создать новое устройство. Множество деталей необходимо добавить для того, чтобы получить устойчивый (к параметрам среды) и надежный контроль за процессами, лежащими в основе технического устройства» (Carrier 2010).

Поэтому, более значимой схемой для описания взаимодействия между наукой и техникой представляется «петлевая» схема выделенного *прикладного исследования* (сх. 1в). В этом слу-

чае выделенное из техники явление не приобретает самостоятельного развития в рамках чистой науки. Линии чистой науки, как на сх. 1а, не возникает, она здесь вырождается в «точку» (короткий отрезок), в построение теории только данного «прикладного явления».



Можно найти массу примеров прикладных исследований. Можно сказать, что такого рода схема взаимодействия характерна для промышленной науки XX века.

Конкретная *прикладная наука* представляет собой совокупность уже проведенных прикладных исследований («петель исследования» 1в) и «применений» (1б), относимых к определенной чистой науке.

Так, например, прикладная электродинамика, согласно Г. Д. Богомолу занимается применением электродинамики к рассмотрению «линии передачи на сверхвысоких частотах», «поверхностных волн», «колебательных систем СВЧ», квазиоптическими методами в коротковолновых диапазонах СВЧ» [2]. Приблизительно то же можно сказать и об учебнике «Ядерная физика и ядерные реакторы» А. Н. Климова, где «изложены основы ядерной физики, знание которых необходимо для понимания процессов, протекающих в ядерных реакторах, физические принципы их работы. Описаны исследовательские и энергетические реакторы, нашедшие применение в ядерной энергетике» [7]. В подобных книгах излагаются *физические* методы и теоретически описываемые явления (т.е. теории, использующие базовые понятия (идеальные сущности) физики как чистой науки), которые могут быть применены в соответствующей технике<sup>5</sup>.

От прикладных наук следует отличать *технические науки*, которые строят теоретические модели *технических устройств и их узлов* (не явлений), вводя *собственные базовые элементы*. Классическим примером технической науки является *радиотехника*, которая в качестве базовых элементов использует конденсатор, сопротивление, индуктивность, колебательный контур, отличные от базовых элементов ближайшей к ней естественной науки – электродинамики, базовыми элементами которой являются заряд, ток, электромагнитное поле. Технические, как и «чистые» науки, тоже имеют собственное развитие [13]. Но в центре их внимания – технические устройства, а не явления, их базовые элементы и цели совпадают с базовыми элементами техники, их цель и результат – использование в технике. Представляется, что для описания взаимосвязи технических наук и отдельных технических устройств и систем применимы приведенные схемы, однако для простоты изложения мы сконцентрируем внимание лишь на взаимодействии техники и «чистых» (естественных) наук (технические науки в данной статье, как правило, оказываются включенными в понятие техники).

С середины XX в. становятся очень важными слои *управления и ресурсов* (сюда входят промышленность, сырье, финансы, люди, политика и др.). Они тоже могут порождать «петли», захватывающие технику.

<sup>5</sup> При этом в учебниках нет петель, там только правые части петель и неотличимые от них тогда «применения». Поскольку монографии, как правило, представляют результаты исследования, то там тоже может наблюдаться аналогичная картина.

### 3. Взаимосвязь чистой и прикладной науки с техникой

После введения основных понятий и элементарных схем взаимодействия, мы можем перейти к рассмотрению основных моделей сосуществования и взаимодействия чистой науки (в виде физики и химии) и техники, распространенных в начале и середине XX века.

#### 3.1. Линейная модель

Линейная модель, представляющая взаимосвязь между наукой, техникой и практикой, укоренилась в сознании ученых, промышленников и государственных деятелей в период между 1940-ми и 1980-ми годами. Инновация в данном контексте – включение результатов науки в практическую жизнь. «Модель постулирует, что инновации начинаются с фундаментальных исследований, за ними следуют прикладные исследования и разработки, которые имеют результатом производство и распространение» [25, р. 639]. В [16] утверждается, что «в классическом представлении об инновациях движение от науки к практике происходит линейно: на основе научного открытия, изобретается новая техника, которая потом уже внедряется в практику (например, производство). В этой модели... научная, инженерная и практическая деятельность строго разграничены, переходы научных открытий в технику, а также внедрение новой техники в практику (так называемый технологический трансферт) оказывается зачастую результатом случайных стечений обстоятельств, а не какого-либо направленного действия». В случае трудностей в развитии техники помощь науки, которая могла бы изучить и предложить решение этих трудностей сильно запаздывала. Так, например, отсутствие теории распространения электромагнитных волн в атмосфере, привело к невозможности предсказать работу радио на дальних расстояниях, что существенно сужало возможность применения радиотехники. Это обуславливало малую скорость производства и распространения инноваций, характерную для XIX и начала XX века<sup>6</sup>.

Согласно рассмотренным ранее схемам, линейная модель предполагает единственный тип связи между наукой и техникой – *применение*.

Связь между исследованиями, направленными на применение, и исследованиями, направленными на поиск истины, представляется с точки зрения линейной модели просто: на основе фундаментальных исследований строятся прикладные.

#### 3.2. Каскадная модель

Современными исследователями прикладной науки XX века была выявлена более сложная «каскадная» модель [21], которая утверждает, что научное понимание необходимо технике, но не предшествует ей (как это постулируется в линейной модели). Технические решения и научное понимание развиваются совместно.

Иллюстрацией этой модели является совместное развитие физики магнитной жидкости (ФМЖ) и техники, ее использующей.

---

<sup>6</sup> Сплошной временной интервал лежит между: а) открытием электромагнитных волн Герцем (1888 год); б) первым приемником (Маркони, Попов, 1896 год); в) первым применением «беспроводного телеграфа» (Маркони, 1904 год); первым заводом, производящим радиоаппаратуру (Маркони, 1912 год); первой широкоэмитальной радиостанцией (1920 год). Радио – одна из самых быстрых по освоению инноваций, – оказалась такой благодаря тому, что создать технику и суметь связать ее с практикой, постепенно развивая, как технику, так и практику, сумел один и тот же человек – Гильерме Маркони.



«Магнитная жидкость» (МЖ) – это *стойкая* суспензия тонко измельченных частиц твердого ферромагнитного тела в жидкости-„носителе“. Такая двухфазная система очень чувствительна к магнитному полю и во многих отношениях ведет себя как однородная жидкость» [19]. Она была запатентована в 1965 г. С. Папеллом из NASA. Это было результатом решения поставленной перед ним технической задачи: создать жидкое топливо, потоком которого можно было бы управлять в невесомости с помощью магнитного поля [22]. Решение этой задачи NASA не потребовалось, но созданная в результате устойчивая магнитная жидкость (именно эту непростую задачу решил Стивен Папелл), с одной стороны, нашла различные технологические применения<sup>7</sup>, а с другой, будучи интересным физическим объектом, породила ветвь чистой науки – физику магнитной жидкости [19]. Так возникает физика магнитной жидкости как чистая наука (левая стрелка на сх. 1г). Результаты этой чистой науки могут применяться в технике путем использования полученных в ФМЖ теоретических моделей для создания нужных в технике свойств МЖ<sup>8</sup>.

Приведем пример прикладной исследовательской задачи из практики одного из авторов статьи. Одна из прикладных технических задач, которой занимались в лаборатории физики волновых процессов в ФИАН в 1983 г., где работал один из авторов, требовала механизма быстрой и глубокой модуляции скорости звука. Просматривая научные статьи, сотрудники лаборатории наткнулись на статью с исследованием свойств магнитной жидкости, где была выявлена сильная зависимость скорости звука в ней от магнитного поля. Перед автором была поставлена задача построить теорию акустических свойств магнитной жидкости, чтобы понять, можно ли совместить в ней величину указанного эффекта с требуемой высокой скоростью этого изменения. Для этого он сначала погрузился в изучение состояния ее теории в рамках чистой науки, т.е. в физику магнитных жидкостей, выяснил ее неудовлетворительность и построил в рамках этой чистой науки новую физическую модель магнитной жидкости, которая дальше «осталась жить» в рамках физики магнитной жидкости (линия чистой науки на сх. 1г). После чего он применил полученную теоретическую модель магнитной жидкости к нужному явлению и получил ответ (отрицательный) на прикладной вопрос об использовании в технике данного явления (эту часть можно описать «петлей», отображенной правой парой стрелок на сх. 1г) [12, с. 25–30; 11, с. 340–345].

Описанный пример можно изобразить как комбинацию «рождений явлений» и «применений»:

---

<sup>7</sup> Например, как охладитель звуковых динамиков. «Сегодня крохотные звуковые динамики внутри ваших мобильных телефонов, ноутбуков, планшетов и наушников могут содержать магнитную жидкость – в мельчайших количествах» [24].

<sup>8</sup> Научно-исследовательские работы по магнитным жидкостям и их применению были начаты в СССР в Ивановском энергетическом институте в 1960-х годах. С 1965 г. по инициативе профессора Д. В. Орлова и под его руководством на кафедре «Электрические машины и аппараты» начались работы по созданию герметизирующих устройств космических аппаратов. Поиск более эффективного метода решения проблемы привел научную группу Д. В. Орлова в 1970 г. к идее использования вместо жидких металлов магнитных жидкостей. В ИЭИ было создано научное направление «Магнитные жидкости». В рамках этого направления ведущие специалисты научно-исследовательского сектора решали проблемы создания устойчивых магнитных коллоидов с заданными свойствами. В 1980 г. по решению Государственного комитета СССР по науке и технике в Ивановском энергетическом институте были открыты Проблемная научно-исследовательская лаборатория прикладной феррогидродинамики и Специальное конструкторско-технологическое бюро «Полус» [6].



Такого рода динамическое взаимоотношение между чистой наукой, прикладной наукой и техникой существовало на протяжении второй трети XX века. Конструкторские бюро выступали заказчиками прикладных исследований в отраслевых и академических институтах, а исследовательские группы разрабатывали в чистой науке модели явлений, появлявшихся в прикладных исследованиях.

Таким образом, реализовывалось взаимовыгодное сотрудничество между наукой и техникой. Техника поставляла науке актуальные задачи (тем самым техника влияла на течение чистой науки), а наука помогала с выбором надежных технических решений. Для такого типа развития система отраслевых НИИ в Советском Союзе являлась вполне эффективной формой организации<sup>9</sup>.

Каскадная модель ведет к спокойному постепенному развитию чистой науки и техники, характерной для периода «нормального» (в смысле Т. Куна) их развития<sup>10</sup>.

Рассмотренный ниже «атомный проект» отвечает «аномальному», революционному развитию техники.

### 3.3. Нелинейная модель. «Технонаука 1»

Атомный проект задает новый тип и новый образец взаимосвязи чистой и прикладной науки с техникой и различными ресурсами. Назовем ее «технонаука 1». Здесь на первый план выходят новые формы *организации и соорганизации* различных типов деятельности и ресурсов. Эти формы в современной литературе получили название «программных». Поясним важную разницу между проектом и программой.

#### 3.3.1. Программа и проект

Организационно, «проект – это совокупность задач или мероприятий, связанных с достижением запланированной цели, которая обычно имеет уникальный и неповторяющийся характер» [8, с. 276]. При создании проекта определяется его цель, сроки ее достижения, а также ресурсы, в том числе человеческие, такие как специалисты и организации, которые требуются

<sup>9</sup> У такой организации есть ряд экономических ограничений. Во-первых, должен существовать своего рода рынок заказчиков и исполнителей прикладных исследований. Во-вторых, так как на рынке предоставляются уникальные услуги, то особую важность представляет возможность получения информации об исполнителях, обладающих соответствующими компетенциями. Развитие науки и производства, то есть увеличение количества агентов рынка, уменьшало эффективность такой организации. Резкое уменьшение спроса на исследование в связи с распадом СССР привело к его почти полному коллапсу. Концентрация определенных исследовательских компетенций внутри «фундаментальной лаборатории» какой-либо корпорации являлась частичным решением этой проблемы «экономики рынка исследований» на Западе. Однако, к 90-ым годам, и она оказалась неэффективной [21].

<sup>10</sup> Известны также случаи, когда такое взаимодействие приводило к революционным изменениям в науке и технике. Например, изучение полупроводников в Лаборатории Белла в контексте поиска замены для ламповых элементов привело как к существенному развитию теории твердого тела, так и к созданию новых полупроводниковых диодов и транзисторов. Кроме того, революционная для биологии идея «ретровируса», то есть вируса способного транскрибировать РНК в ДНК во время репликации, была найдена около 1970-го года в практическом контексте разработки противодействий инфекционным заболеваниям. Эта идея имела огромные последствия для биологических представлений, например, для корректировок так называемой «центральной догмы молекулярной биологии» [21].



для достижения поставленной цели. Обычно, проект предполагает фиксированный план действий. Расхождение с планом по мере выполнения проекта хоть и считается возможным, но является нежелательным.

Проектный подход имеет ряд существенных недостатков [8, с. 255]. Во-первых, проект зависит от качества и полноты информации, известной в момент его начала – при недостатке знаний составление сколько-нибудь адекватного плана представляется проблематичным. Во-вторых, проект зависит от квалификации экспертов, их оценок и прогнозов. Если в новой предметной области их еще нет, то оценить сроки и ресурсы проекта оказываться невозможным. В-третьих, проект не позволяет избежать риска, того что заявленная цель окажется недостижимой при доступных ресурсах в приемлемые сроки. В-четвертых, проектный подход не позволяет выбрать лучший проект, если проектов достижения определенной цели несколько.

Поэтому в том случае, когда создается новый уникальный продукт или технология на острие науки и техники, тем более в условиях срочности и дефицита некоторых ресурсов, проявляются все недостатки проектного подхода. Создание атомного оружия в 40-ые годы XX века было именно таким случаем.

Важным шагом развития *организационных форм коллективного труда*, направленного на *выполнение уникальных и сложных целей*, является использование программного подхода.

«Программа – совокупность взаимосвязанных проектов и другой деятельности, направленных на достижение общей цели и реализуемых в условиях общих ограничений» (ГОСТ Р 54871-2011). Программы имеют цели, которые соединяют разрозненные проекты вместе (в англоязычной литературе такая цель называется «миссия»).

По мере разработки предметной области и накопления экспертизы – получения новых знаний и опыта, возможны модификации отдельных проектов и создание новых проектов внутри одной программы по мере их необходимости.

Возможно проведение декомпозиции цели программы, разбив её на такие подцели (за их реализацию будут отвечать подпрограммы или проекты), которые должны быть, безусловно выполнены для достижения цели программы. Такая декомпозиция позволяет программе быть гибкой относительно используемых ресурсов, подключая специалистов и организации к отдельным проектам программы по мере ее выполнения.

Программный подход подразумевает, что возможно существование нескольких конкурентных альтернативных проектов внутри программы. В условиях неопределенности, это обстоятельство позволяет уменьшить риск провала всей программы. В зависимости от текущей цели и наличия ресурсов, руководство программы может выбрать самый подходящий проект.

### 3.3.2. Анализ атомной программы в СССР

Чистая наука к 1939 г. показала принципиальную возможность создания атомной Бомбы (одним из первых это осознал Лео Сциллард, живший в то время в Нью-Йорке, который уже в январе 1939 предложил Э. Ферми засекретить исследования по делению ядра). В марте 1940 г. Р. Пайерлс и О. Фриш (университет Бирмингема) «составили меморандум «О конструкции «супербомы», основанной на цепной ядерной реакции в уране», где сформулировали ряд основополагающих вопросов» [18, с. 88].

После этого фаза чистой науки кончается и происходит постепенный переход к программе создания атомной бомбы, где лидерство переходит от чистой науки к управлению и организации различных типов деятельности: научной, технической, проектной, создание

необходимых ресурсов, затрагивающих сферы экономики и политики и др.<sup>11</sup> Ход развития и реализации этой программы мы будем рассматривать на историческом материале советского «атомного проекта» (в современных понятиях – программы) периода 1945–1949 годов.

Несмотря на немалую роль разведки, сведения которой облегчали и ускоряли реализацию программы, ее наличие не влияло кардинальным образом на взаимодействие чистой науки, техники и управления. Советская программа могла использовать чужой опыт для выбора наиболее перспективных направлений и отброса проектов, которые оказались тупиковыми в программах других стран. Однако, непосредственное развитие проектов, включенных в программу науки и техники целиком зависело от советских ученых и инженеров. То есть, в своей основе, структура взаимодействия между чистой наукой, техникой, управлением мало отлична от американского проекта.

Датой начала советской атомной программы можно считать 20 августа 1945 года. Именно эта дата значится на «Постановлении Государственного Комитета Обороны» [3, с. 28]. Целями программы были «создание урановой промышленности и атомной бомбы».

В плане практических государственных задач стоит заметить, что создание (единичной) атомной бомбы и урановой промышленности (то есть технологии серийного производства бомб) – это две, хотя и взаимосвязанные, но разные задачи. Первая призвана продемонстрировать вероятному противнику (в первую очередь США) собственный потенциал, вторая – обеспечить арсеналы оружием, достаточным, чтобы вести полномасштабную атомную войну. (Так, США, которые, как известно, первыми получили несколько атомных бомб в 1945 году, создали серийное производство лишь в начале 50-х годов. В 1945 году, США продемонстрировали своим противникам (Японии) и вероятным противникам (СССР) собственный потенциал. Бомба, сброшенная на Нагасаки, была последней на тот момент бомбой в арсенале США.

Создание первых атомных бомб предполагало создание ряда заводов, скажем, по выработке и обработке плутония, например, Челябинск-40. Однако, говорить о готовой технологии (в широком смысле) производства атомного оружия на тот момент – преждевременно<sup>12</sup>. Несмотря на то, что с 1948 года, реактор по выработке плутония начал работать на полную мощность, часто возникали аварии и внештатные ситуации, требовавшие технологических доработок реактора. На реакторе «А» по получению плутония в Челябинске-40 «условия работы были окончательно приведены в норму только спустя 8–10 лет после начала эксплуатации реактора» [3, с. 154]. Для того, чтобы говорить об атомной отрасли – «технологии в широком смысле (верхнего уровня)», а не отдельном заводе, технологии производства должны быть масштабируемы. Технология масштабируема лишь в том случае, если известны требуемые ресурсы и технологические процедуры для создания нового промышленного объекта, и существуют технологические нормы и регламенты его эксплуатации.

---

<sup>11</sup> В слое управления важную роль начинает играть особые языки, используемые для организационной деятельности и сложного представления явлений, языки предметных синтезов и организационной работы [15].

<sup>12</sup> Осмысленным в данном рассмотрении представляется разбиение технологий на несколько уровней. «Технологии низшего уровня» – способы производства какого-либо продукта (типа «технология сверления»). «Технологии среднего уровня» – социотехническую систему организации и устройства производства, то есть заводы, фабрики, электростанции т.п. «Технологию высокого уровня» (они же «технологией в широком понимании») предполагает создание уже целых отраслей промышленности (а не отдельных заводов). Возможность создания «технологии высокого уровня» зависит от разработанности и надежности технологий более низкого уровня.

Перейдем теперь к анализу программы создания первой атомной бомбы – «атомному проекту». Как уже говорилось, центр тяжести здесь находится на управлении и организации различных типов деятельности и средств. На высшем уровне этой организации выделяется несколько основных относительно независимых *подпрограмм*: проведение научных исследований радиоактивных веществ; добыча урана и получение нужных изотопов радиоактивных веществ (назовем ее «программой материалов»); и собственно создание атомной бомбы. Более подробно рассмотрим последнюю.

Основные проекты по созданию атомной бомбы в 1945 году, в зависимости от основных конструктивных решений можно разбить на несколько классов в соответствии с рядом конструктивных альтернатив. Первая основная альтернатива – это *выбор используемого в бомбе вещества* – того, в котором происходит распад ядер с выделением энергии и нейтронов для продолжения цепной реакции – плутоний или уран-235 [3, с. 86]. Вторая основная альтернатива – метод *получения критической массы* вещества для начала цепной реакции. Основными альтернативами был метод имплозии (взрывного сжатия) вещества, и использование пушки, выстреливающей одну половину критической массы в другую. Таким образом, возможны 4 класса устройств.

Отдельный класс альтернатив, от которых существенно зависела конструкция бомбы, задавал еще так называемый «запал» – источник нейтронов, необходимых для начала цепной реакции. Разнообразные работы велись в этом направлении, однако до 50-х годов использовался лишь один вариант запала – небольшой шар из сплава бериллия с радиоактивным элементом полонием, излучавшим нейтроны с необходимыми характеристиками.

Именно в пространстве состоящих из этих альтернатив происходила работа над атомной бомбой с 1945 года по 1949 год (когда была готова и взорвана первая советская бомба)<sup>13</sup>.

Основные альтернативные проекты (их классы) отбирались *руководителем программы* изготовления атомной бомбы Курчатовым и технический советом при ГКО. «На совет возлагалось рассмотрение научных и технических вопросов, выносимых на обсуждение специального комитета при ГКО, рассмотрение планов научно-исследовательских работ и отчетов по ним, а также технических проектов сооружений, конструкций и установок по использованию внутриатомной энергии урана... Именно он формулировал принципиальные предложения: «что, как и когда» делать» [5]. Таким образом, совет производил координацию работ, исследований, проведение научно-технической экспертизы предлагаемых проектов.

Экспертиза позволяла, например, отметить заранее нежизнеспособные классы проектов. Так, класс проектов, обозначенный как «плутониевая пушка» оказался неосуществим в текущих условиях [3, с. 93].

Кроме того экспертиза, основанная на научном и инженерном анализе проектов, позволяла проводить исследовательскую и конструкторскую деятельность, направленную на выяснение наиболее подходящих параметров и устройства бомбы. [3, с. 91]. В зависимости от массы, устройства и формы заряда теоретически рассчитывалась жизнеспособность устройства, а также его КПД. То есть, каждая принципиальная конструкция («дизайн-проект») предполагала проведение отдельных *прикладных исследований* в области радиохимии, ядерной физики, теории взрывов и цепной реакции (и так далее в зависимости от того, что находится

---

<sup>13</sup> При этом имела место еще связь между подпрограммами. Так и в случае с ураном, и в случае с плутонием вопрос о возможности применения зависел от успехов соответствующих проектов программы материалов.

в устройстве). Проведение этих исследований позволяло указать на возможные проблемы той или иной конструкции, оценить те или иные характеристики бомбы.

Это означало, что все время при работе в атомной программе необходимо было соединять конструкторские умения построение технических устройств (бомб) с научным пониманием и исследовательской работой по анализу предлагаемых конструкций. Рассматриваемой нами подпрограммой руководил Ю. Б. Харитон, он был основным специалистом по «бомбостроению» (в современных проектах такая роль называется «архитектор»), который должен был конфигурировать знания из науки и техники в «дизайны-проекты» (принципы устройства) бомб.

Таким образом, в атомной программе *все время возникали новые прикладные исследовательские проекты на всем пространстве возможных дизайнов технических устройств* (в рассматриваемом случае – бомб, однако тоже можно сказать про реакторы и другие продукты ядерной науки и технологии).

Основной парой, отвечающей «чистой науке» и «технике» здесь, в первую очередь, является парадоксальная *физика и ядерная техника*. Они развиваются вместе, в тесной связи друг с другом. Взаимодействие, переплетенность чистой науки и техники здесь было особенно интенсивно<sup>14</sup>. Ядерная реакция и ядерный реактор (его активная зона – «котел»)<sup>15</sup> образуют центр, вокруг которого выстраиваются, как вся деятельность проектирования, так и исследовательские проекты, направленные на анализ существующих технических решений, либо же на поиск новых знаний и возможностей в рамках чистых исследований. Физика ядерных реакций является центральной научной составляющей, остающейся незаменимой на протяжении всей программы. Явление высвобождения энергии атомного ядра и процесс цепной реакции занимает в атомной программе особую роль. Они определяют саму возможность существования атомной бомбы (или в более широком смысле – атомной энергетики) и соответствующей программы ее разработки.

Напомним, что первые работы Зельдовича и Харитона по теории цепной реакции в уране до 1941 года носили исключительно исследовательский характер, принадлежат чистой науке. Они «провели свой цикл первых ядерных исследований исключительно по собственной инициативе, вне рабочего дня, исходя из научного интереса. Они хотели посмотреть, что получится, если применить теорию цепных химических реакций Семенова к ядерным реакциям» [3, с. 49]. Можно сказать, что они пытались сконструировать и изучить потенциально интересное с точки зрения науки явление.

В 1941 году, стало очевидно, что цепная реакция может привести к сверхмощному взрыву. С этого момента высвобождение энергии ядра атома представилось одновременно и физическим явлением, проистекающим по природным законам (пусть даже в искусственных условиях), и практической целью, которую преследует человек (уничтожению противника мощным взрывом).

С этого момента, создание практически важного технического устройства, в котором происходит необходимый процесс, то есть атомной бомбы, и физика ядерных реакций, конструирующая и изучающая этот процесс, – неразлучны.

---

<sup>14</sup> Эту взаимосвязанность хорошо выражает название и содержание журнала «NuclearScienceandTechnology» посвященного темам разработки и использованию ядерных технологий и связанной с этим прикладным аспектам (исследованиям) физики, химии и биологии.

<sup>15</sup> Атомную бомбу можно считать некоторым подвидом реактора. Как и в реакторе, центральным элементом бомбы является активная зона цепной ядерной реакции.

Устройство (технический проект) атомной бомбы *определяет, что за процесс* (явление) моделирует физика ядерных реакций (например, прохождение реакций при сжатии сферы плутония в определенном состоянии в шар в случае устройства типа «имплозия», или же прохождение реакций при пушечном соединении вещества). В то же время физика ядерных реакций *диктует требования* к материалам, а также дополнительным техническим устройствам (например, «запалам», генерирующим дополнительное количество нейтронов для начала реакции). Кроме того, новые исследования в физике ядерных реакций (например, нахождение нового вещества – плутония, который может быть использован вместо урана-235 [3]) изменяют набор возможных технических проектов.

Таким образом, можно говорить о постоянном *со-конструировании* (или ко-генерации) технических проектов (дизайнов) и физических моделей ядерных процессов. Можно утверждать, что с момента создания проекта до начала промышленного производства технического изделия происходит непрерывный *обмен задачами*, проблемами и результатами *между ядерной физикой и ядерной техникой* (во второй половине XX века эта взаимосвязь получила название НИОКР, R&D). Текущий набор компромиссов между возможностями и проблемами оформляется в виде дизайна (принципиального устройства) бомбы.

При этом физика связана, но не растворяется, в технике (она четко выделена). Указанная взаимосвязь может быть выражена с помощью «петель» прикладных исследований (сх. 1в).

Особенность физики и технологии реактора, состоит в следующем. В процессе разработки проекта идея об общем техническом устройстве («протопроект») ведет к прикладным исследованиям, которые имеют результатом уточнение технического проекта. Последующее разработка и детализация технического проекта требует все новых прикладных исследований. Таким образом, одно прикладное исследование («петля») проведенное в рамках проекта почти сразу же порождает новый виток прикладных исследований в условиях большей детализации технического проекта, развиваясь «по спирали». Поэтому такую модель взаимосвязи науки и техники можно назвать *спиральной*<sup>16</sup>.

Кроме того, можно выделить группы взаимосвязанных полидисциплинарных прикладных исследований («пучки»). Последние состоят из множества прикладных исследований («петель»), которые, с одной стороны, одновременно (в отличие от «спирали») относятся к одному техническому элементу, а с другой – к разным чистым наукам<sup>17</sup>. Например, при создании конструкции реактора и бомбы заведомо пересекались прикладные исследования из физики цепных реакций и термодинамики, а также такой технической науки как материаловедение<sup>18</sup>. «Пучки» предполагают коллективные формы работы, которые широко практиковались в «атомном проекте».

---

<sup>16</sup> Интересно отметить, что фигура спирали является одним из распространенных представлений жизненного цикла проектов разработки сложных технических систем. Каждый виток спирали соответствует созданию фрагмента или версии системы, на нем уточняются цели и характеристики проекта, определяется его качество и планируются работы следующего витка спирали. Исторически, модель спирали появилась в 1986 году для описания жизненного цикла проектов разработки программного обеспечения. Эта модель призвана бороться с проектными организационными рисками, которые включают в себя в том числе: дефицит специалистов, нереалистичные сроки и бюджет, нехватка информации о внешних компонентах, определяющих окружение системы, «разрыв» в квалификации специалистов разных областей знаний [20].

<sup>17</sup> Возможны взаимосвязи не только с науками, но и с различными другими деятельностью, например, политикой, экономикой, медициной, этикой. В этом случае можно говорить о «трансдисциплинарном» характере исследований.

<sup>18</sup> Наверняка там были и более богатые «пучки», но их выявление требует более подробных описаний реализации проекта, чем содержат книги типа [3, 18].



Таким нам представляется взаимоотношения между наукой, техникой и управлением различными деятельностью в «Технонауке 1», сформировавшейся вокруг «атомного проекта» середины XX в., давшего образец наукоемкой технической революции (в куновском смысле).

В дальнейшем тип связи науки, техники и организации «Технонаука 1», получил развитие, с одной стороны в лице «меганауки» – крупных проектах чистой науки, ярким примером которой являются современные большие ускорители [26].

С другой стороны, в несколько преобразованном виде, она преобразуется в стартапы современной инновационной «Технонауки 2» (в те из них, которые порождают принципиально новые продукты и услуги, «отраслевые революции»).

#### 4. Заключение: к вопросу об устройстве современной науки

Если считать, что взаимодействие науки и техники последней четверти XX и начала XXI века происходит в основном по нелинейной (спиральной) модели и описывается научно-техническими программами, в которых взаимно развиваются технические «дизайн-проекты» и «петли прикладных исследований» (образующие вместе «спирали» и «пучки» исследований и разработок), то возникает два вопроса: как должна быть устроена среда, в которой могут развиваться необходимые ученые и лаборатории<sup>19</sup> и каковы механизмы их привлечения.

Что касается среды, то в случае наукоемкой технической революции, приводящей к созданию новой отрасли (например, атомной промышленности или производству компьютеров), нет «нормального» круга прикладных задач. Поэтому организации, соответствующие каскадной модели, такие как отраслевые НИИ и «фундаментальные» исследовательские лаборатории внутри корпораций, перестают быть эффективными. Проекты технонауки требуют ученых и лабораторий из разных областей чистой науки. Местом их обитания, в первую очередь, являются университеты (в широком смысле ВУЗы) и «академические» НИИ. Первое доминирует на Западе, второе – у нас. Однако, в последней четверти XX века, в ситуации, когда число ученых в прикладных исследованиях значительно превышает число ученых в чистой науке, появляются иные формы существования чистой науки, такие как специализированные научные лаборатории внутри корпораций и агентств, независимые исследовательские центры, выполняющие заказные научные работы [21] и др.

Что касается механизма привлечения ученых и лабораторий из мест их обитания, то в случае атомного проекта в США основной формой стал контракт государства с университетами, у нас – мобилизация (этот вариант в США был использован во время первой мировой войны, но отвергнут в преддверии второй мировой войны [24, р. 3]).

В современную эпоху, в силу огромного числа исследователей, а также параллельно развивающихся научно-технических проектов, использование централизованного механизма непосредственного управления (командно-административного или мега-заказчика в лице государства) научно-технической деятельностью оказывается неэффективным. Современный «инновационный» период развития наукоемкой техники, где «инновации» отвечают революциям, а не нормальному развитию техники, требует новых форм (механизмов) привлечения ученых и лабораторий из разных мест.

---

<sup>19</sup> Лаборатория – единица организованности, состоящая из группы ученых, связанных определенной темой исследования или типом оборудования. В связи с характерным для современного этапа потребностями в дорогом оборудовании, вокруг него возникают экспериментальные лаборатории нового типа.



Научная политика в развитых странах вовлечена в активный поиск таких механизмов, которые бы стимулировали интерес ученых к прикладным исследованиям, а науки к новым видам самоорганизации. Примерами таких механизмов является разрешение на патентование исследований, проводимых за счет государства в США («Bayh–Dole Act» [27]), стимулирование создания инновационных кластеров вокруг университетов<sup>20</sup>, реформы в финансировании исследований во многих странах Европы.

Но, несмотря на наличие позитивных примеров, говорить об общих рецептах пока еще рано. Изменения в научной политике зачастую вызывают болезненную реакцию у представителей чистой («фундаментальной») науки по всему миру, и наша страна не является исключением. Поиск новых стратегий отношения общества (в том числе государства, бизнеса, широкой публики) и науки является одной из приоритетных задач современности.

Что касается чистой науки, то она продолжает жить. Ее существование важно для образования, она учит удивляться, строить теории явлений и вводит новые явления, а иногда (очень редко) – новые разделы науки. Ее прагматическое значение осуществляется через связь с техникой посредством прикладных исследований. Последние вместе с техникой включены в сложную систему управления различными коммуникациями, которые играют все большую роль.

Статья подготовлена при поддержке гранта РГНФ проект 14-03-00687 («Динамика взаимоотношений науки, техники и общества в США и России на протяжении XX века»).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аристотель. *Метафизика*. М.: Эксмо, **2006**. 608 с.
2. Богомолов Г. Д. *Прикладная электродинамика*. М.: МФТИ, **1979**. 128 с.
3. Горобец Б. С. *Ядерный реванш Советского Союза. Об истории атомного проекта СССР*. М.: КРАСАНД, **2014**. 345 с.
4. Григорьян А. Г., Зубов В. П. *Очерки развития основных понятий механики*. М.: Наука, **1962**. 272 с.
5. Деманов А. А. Спецкомитет при ГКО и его роль в советском атомном проекте // *Грани Науки-2014*. **2014**.
6. История Магнитной Жидкости. URL: <http://www.xn----7sbalhblndvnbimsa6akjw0r8b.xn--p1ai/%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F>
7. Климов А. Н. *Ядерная физика и ядерные реакторы*. М.: Энергоатомиздат, **1985**. 352 с.
8. Кожитов Л. В., Златин П. А., Демин В. А. *Организация инновационной деятельности в вузе*. М.: МГИУ, **2009**. 291 с.
9. Липкин А. И. *Философия науки. Учебник*. М.: ЮРАЙТ, **2015**.
10. Липкин А. И. *Основания физики. Взгляд из теоретической физики*. М.: УРСС, **2014**. 207 с.
11. Липкин А. И. Модуляция скорости звука в коллоиде внешним электромагнитным полем // *Акустич. Журнал*. **1986**. Т. 32. №3.
12. Липкин А. И. Акустические свойства магнитных жидкостей с агрегатами // *Магнитная гидродинамика*. **1985**. №3. С. 25–30
13. Розин В. М. *Эволюция инженерной и проектной деятельности и мысли*. М.: URSS, **2014**. 199 с.
14. Розин В. М. *Философия техники и проблемы модернити* // *Философия науки. Учебник*. М.: ЮРАЙТ, **2015**.
15. Розин В. М. *Природа социальности. Проблемы методологии и онтологии*. М.: УРСС, **2016**.
16. Федоров В. С. Инновации и новый тип производства знания // *Вестник МГУ. Философия*. **2015**. Т. 7.
17. *Философский словарь*. М.: Политиздат, **1991**. 559 с.
18. Холлоэй Д. *Сталин и бомба. Советский союз и атомная энергия. 1939–1956*. Новосибирск: Сибирский хронограф, **1997**. 626 с.
19. Шлиомис М. И. Магнитные жидкости // *Успехи физических наук*. **1974**. Т. 112. Вып. 3.

---

<sup>20</sup> Например, государственными заказами на сложные научно-технические разработки. Именно с выполнения таких заказов началось развитие Кремневой Долины вокруг Стэндфордского Университета в США.

20. Boehm B. A spiral model of software development and enhancement // *SIGSOFT Softw. Eng. Notes*. **1986**. Vol. 11. Pp. 14–24.
21. Carrier M., Nordmann A. *Boston Studies in the Philosophy of Science. Science in the Context of Application*. London: Springer, **2010**. 491 P.
22. Ferrofluid Applications. URL: <http://www.czferro.com/history#applications>
23. Ferrofluid Behavior. URL: <http://www.czferro.com/history#behavior>
24. Geiger R. L. Research and Relevant Knowledge. American Research Universities since World War II. New York: Transaction Publishers, **1993**. 447 p.
25. Godin B. The Linear Model of Innovation. The Historical Construction // *Science, Technology, & Human Values*. **2006**. Vol. 6. Is. 31. Pp. 639–667.
26. Hoddeson L., Kolb A. W., Westfall C. *Fermilab. Physics, the Frontier, and Megascience*. Chicago: The University of Chicago Press, **2008**. 497 p.
27. Levenson D. Consequences of the Bayh-Dole Act. URL: <http://web.mit.edu/lawclub/www/Bayh-Dole%20Act.pdf>

Поступила в редакцию 02.12.2015 г.

DOI: 10.15643/libartrus-2015.5.1

## The functional role of science in the context of technological projects of the twentieth century

© A. I. Lipkin, V. S. Fedorov\*

*Moscow Institute of Physics and Technology  
9 Institutskii Ln., 141707 Dolgoprudny, Russia.*

*\*Email: feoff3@gmail.com*

Our aim is to point out the role of scientific research in contemporary technological developments. Interactions between science and technology in the context of application-driven research projects of the 20th century are discussed. We define science and technology as two separate domains, and provide elementary models for their interaction by the means of applied and engineering sciences. These elementary models constitute linear and cascade models of science-technology interaction. We apply these elementary models for the purpose of further methodological analysis of Soviet nuclear warfare project. The special role of organization and management in research and development activities is being emphasized. The new science-technology interaction model is devised in the course of nuclear project. This new interaction model is referred as non-linear or spiral. The model is seen as more collaborative and risk aware than linear and cascade interaction models present in twentieth century. The conclusion is the new model was of great impact to modern social forms in which research is carried out in the present.

**Keywords:** *nuclear project, R&D, linear model, cascade model, philosophy of science, philosophy of technology, history of science, methodology of science, organization of science.*

Published in Russian. Do not hesitate to contact us at [edit@libartrus.com](mailto:edit@libartrus.com) if you need translation of the article.

Please, cite the article: Lipkin A. I., Fedorov V. S. The functional role of science in twentieth century technological projects // *Liberal Arts in Russia*. 2015. Vol. 4. No. 5. Pp. 321–338.

### REFERENCES

1. Aristotle. *Metafizika [Metaphysics]*. Moscow: Eksmo, 2006.
2. Bogomolov G. D. *Prikladnaya elektrodinamika [Applied electrodynamics]*. Moscow: MFTI, 1979.
3. Gorobets B. S. *Yadernyi revansh Sovet-skogo Soyuza. Ob istorii atomnogo proekta SSSR [Nuclear revenge of the Soviet Union. About the history of the Soviet nuclear project]*. Moscow: KRASAND, 2014. 345 c.
4. Grigor'yan A. G., Zubov V. P. *Ocherki razvitiya osnovnykh ponyatii mekhaniki [Essays on development of basic concepts of mechanics]*. Moscow: Nauka, 1962.
5. Demanov A. A. *Grani Nauki-2014*. 2014.
6. Istoriya Magnitnoi Zhidkosti. URL: <http://www.xn----7sbalhblndvnbimsa6akjw0r8b.xn--p1ai/%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F>
7. Klimov A. N. *Yadernaya fizika i yadernye reaktory [Nuclear physics and nuclear reactors]*. Moscow: Energoatomizdat, 1985.
8. Kozhitov L. V., Zlatin P. A., Demin V. A. *Organizatsiya innovatsionnoi deyatel'nosti v vuze [Organization of innovative activities at universities]*. Moscow: MGIU, 2009. 291 c.
9. Lipkin A. I. *Filosofiya nauki. Uchebnik [Philosophy of science. Textbook]*. Moscow: YuRAIT, 2015.
10. Lipkin A. I. *Osnovaniya fiziki. Vzglyad iz teoreticheskoi fiziki [Bases of physics. A view from theoretical physics]*. Moscow: URSS, 2014.
11. Lipkin A. I. *Akustich. Zhurnal*. 1986. Vol. 32. No. 3.

12. Lipkin A. I. *Magnitnaya gidrodinamika*. **1985**. No. 3. Pp. 25–30
13. Rozin V. M. *Evolutsiya inzhenernoi i proektnoi deyatel'nosti i mysli [Evolution of engineering and project thought and activities]*. Moscow: URSS, **2014**.
14. Rozin V. M. *Filosofiya nauki. Uchebnik*. Moscow: YuRAIT, **2015**.
15. Rozin V. M. *Priroda sotsial'nosti. Problemy metodologii i ontologii [The nature of sociality. Problems of methodology and ontology]*. Moscow: URSS, **2016**.
16. Fedorov V. S. *Vestnik MGU. Filosofiya*. **2015**. Vol. 7.
17. *Filosofskii slovar'*. Moscow: Politizdat, **1991**. 559 c.
18. Kholloei D. *Stalin i bomba. Sovet-skii soyuz i atomnaya energiya. 1939–1956 [Stalin and the bomb: the Soviet Union and atomic energy, 1939-1956]*. Novosibirsk: Sibirskii khronograf, **1997**.
19. Shliomis M. I. *Uspekhi fizicheskikh nauk*. **1974**. Vol. 112. No. 3.
20. Boehm B. *SIGSOFT Softw. Eng. Notes*. **1986**. Vol. 11. Pp. 14–24.
21. Carrier M., Nordmann A. *Boston Studies in the Philosophy of Science. Science in the Context of Application*. London: Springer, **2010**.
22. Ferrofluid Applications. URL: <http://www.czferro.com/history#applications>
23. Ferrofluid Behavior. URL: <http://www.czferro.com/history#behavior>
24. Geiger R. L. *Research and Relevant Knowledge. American Research Universities since World War II*. New York: Transaction Publishers, **1993**.
25. Godin B. *Science, Technology, & Human Values*. **2006**. Vol. 6. Is. 31. Pp. 639–667.
26. Hoddeson L., Kolb A. W., Westfall C. *Fermilab. Physics, the Frontier, and Megascience*. Chicago: The University of Chicago Press, **2008**.
27. Levenson D. *Consequences of the Bayh-Dole Act*. URL: <http://web.mit.edu/lawclub/www/Bayh-Dole%20Act.pdf>

Received 02.12.2015.