

# Прогнозирование эффективности межотраслевой интеграции прикладных исследований и разработки новых технологий



**А. В. Дутов,**  
Д. Т. Н., К. Э. Н.,  
генеральный директор  
dutovav@nrczh.ru



**В. В. Ключков,**  
Д. Э. Н., К. Т. Н., директор  
департамента/в. н. с.,  
Институт проблем управления  
им. В. А. Трапезникова РАН  
vlad\_klochkov@mail.ru



**С. М. Рождественская**  
начальник отдела  
sonyakrupina@gmail.com

**Национальный исследовательский центр «Институт им. Н. Е. Жуковского»**

*Систематизированы виды межотраслевой интеграции прикладных исследований и разработки новых технологий, качественно описаны соответствующие им эффекты. Обоснована необходимость количественной оценки целесообразности межотраслевой интеграции исследований и разработок в интересах различных отраслей и видов техники. Предложены подходы к измерению степени технологической общности отраслей и видов техники, и к выделению среди них лидирующих и отраслей-реципиентов. Разработана упрощенная «мягкая» экономико-математическая модель стоимости комплекса исследований и разработок в интересах совокупности отраслей. Путем параметрического анализа этой модели выявлены условия, в которых межотраслевая интеграция наиболее эффективна или, наоборот, практически бесполезна. Эти условия касаются параметров технологий, требуемых в объединяющихся отраслях, а также структуры себестоимости исследований и разработок.*

**Ключевые слова:** «сквозные» технологии, исследовательские компетенции, технологическая общность, эффективность, «мягкое» моделирование.

## **Введение**

В условиях ужесточения ресурсных ограничений становится особенно актуальным повышение эффективности прикладных исследований и разработок, направленных на создание новых технологий для различных отраслей и видов техники. В настоящее время поиск путей совершенствования организации прикладной науки идет в нескольких направлениях. Активно развиваются методы управления созданием научно-технического задела, НТЗ [6, 8], как на тактическом уровне, так и на стратегическом, включая централизованное программно-целевое планирование НИР в интересах каждой отрасли, целеполагание на основе количественных показателей эффективности разрабатываемых технологий. Эти методы позволяют существенно повысить «полезность» создаваемых технологий с точки зрения отраслей, в которых они будут применяться, эффективности и конкурентоспособности их продукции,

Однако даже если современные методы управления созданием НТЗ будут успешно внедрены в различных отраслях высокотехнологичной промышленности, ресурсов государства и предприятий может быть недостаточно для успешного создания НТЗ по всему «фронту» отраслей, областей техники и необходимых им технологий. Поэтому естественным решением становится межотраслевая интеграция прикладных исследований и разработок. Опишем ее основные виды и соответствующие им полезные эффекты.

1. Совместная разработка общих, «сквозных» технологий.

Возможна совместная разработка так называемых «сквозных» технологий, применимых, пусть и после некоторой адаптации, в интересах сразу нескольких отраслей промышленности и областей техники. Эта возможность, а также объем необходимой адаптации, определяются степенью технологической общности соответствующих изделий и производств.

При совместной разработке «сквозных» технологий соответствующие затраты на прикладные НИР распределяются между несколькими отраслями промышленности, в том числе и такими, для которых характерна высокая серийность выпуска продукции. Благодаря этому удельные затраты на исследования и разработки, приходящиеся на единицу продукции, существенно снижаются. Например, 1 млрд ден. ед., затраченный на разработку новой технологии в авиации, при распределении на 1000 самолетов даст прирост к цене самолета в 1 млн ден. ед. Если же эти разработки будут применены в автомобилестроении, где характерная серийность составляет порядка 1 млн изделий, то прибавка к цене одного изделия будет уже около только 1000 ден. ед.

Кроме того, появляется возможность ускорения отдачи от внедрения технологий за счет постепенного повышения их сложности, и снижения рисков прорывных разработок. Если «сквозная» технология разрабатывается в интересах отрасли, предъявляющей наиболее жесткие требования к уровню совершенства изделий, высок риск их невыполнения в заданные сроки. Однако при постепенном совершенствовании этой «сквозной» технологии она может последовательно внедряться в других, менее «требовательных» отраслях. Это позволяет снизить риски реализации амбициозного прорывного проекта; уже в ходе его реализации получать положительный эффект; при необходимости — гибко принимать решения о прекращении разработок с ненулевым результатом (реализуя принцип реальных опционов, подробнее см. [2]).

Например, если ставится задача разработки технологий безопасного автоматизированного управления движением транспортного средства, а также бесконфликтного управления движением их совокупности (коллективных действий), наиболее требовательной отраслью может оказаться, вопреки стереотипам, не авиационное, а именно автомобилестроение. Это вызвано наибольшей плотностью и стохастичностью автодорожного трафика, по сравнению с авиацией, водным транспортом и т. п., наибольшей неопределенностью среды, в которой происходит движение автомобильных транспортных средств. Поэтому автоматизация управления автомобилями и дорожным движением в целом — наиболее амбициозная задача. Но в процессе ее решения могут быть созданы технологии безопасного автоматического управления полетом ЛА и бесконфликтного управления воздушным движением, аналогичные технологии в судовождении и т. д.

2. Совместное использование исследовательских компетенций, методов и средств исследований.

По меньшей мере, возможно совместное использование и развитие исследовательских компетенций, т. е. экспериментальной базы, а также квалифицированных кадров и коллективов ученых и инженеров, занятых в разработке новых технологий. Несмотря на то, что каждая отрасль может предъявлять весьма специфические требования к методам и средствам исследований, характеристикам испытательного оборудования, различные области прикладной науки могут обладать технологической общностью, что позволяет им

совместно использовать общие научные компетенции и объекты экспериментальной базы.

Так, например, возможно (и уже практикуется) совместное использование созданных в авиационном прочностных стендов в интересах автомобилестроения, железнодорожного транспорта (в том числе высокоскоростного), в интересах создания некоторых классов кораблей и судов. Для аэродинамических испытаний автомобильной и железнодорожной техники, надстроек кораблей и судов вполне могут использоваться — и в реальности используются — аэродинамические трубы, созданные в интересах авиационного (подробнее см. [3, 4]). Помимо изделий транспортного и космического машиностроения, эти установки успешно применяются для испытаний элементов путевой инфраструктуры, моделей строительных конструкций, зданий и сооружений<sup>1</sup>. Опытные бассейны, имеющиеся в судостроении [5], могут применяться в авиационном для исследований перспективных гидросамолетов, многосредних аппаратов (экранолетов, экранопланов и др.), а также для испытаний сухопутных ЛА на аварийное приводнение. Это потребует их оснащения некоторым дополнительным измерительным и испытательным оборудованием, но наиболее дорогостоящей является именно общая основа. Поэтому исключение ее дублирования может принести существенную экономию. Фактически, соответствующие центры компетенции и экспериментальные установки должны функционировать в режиме так называемых центров коллективного пользования, ЦКП (подробнее см. [7, 9]).

Помимо экономии средств, объединение компетенций различных отраслей может ускорить создание технологий, необходимых в одних отраслях, за счет обмена разработками с другими отраслями, у которых необходимые технологии уже могут быть в наличии. Так, в авиационном, в силу особо жестких требований к весовому совершенству и энергетической эффективности, компактности конструкций, всегда уделялось особое внимание комплексированию бортового оборудования. Различные системы (радиоэлектронного оборудования, вооружения, жизнеобеспечения летательных аппаратов и др.) формировались в составе единого комплекса, чтобы, во-первых, исключить непродуктивное дублирование их энергообеспечения, поддержания тепловых режимов и т. п. Во-вторых, повышается общая надежность комплекса, поскольку, например, разные системы могут использовать информацию от нескольких дублирующих датчиков, но общих для всего борта. В-третьих, изначально обеспечивается электромагнитная (а также компоновочная, при необходимости — аэродинамическая и т. п.) совместимость всех систем, достаточность энергообеспечения и др. Комплексирование бортового оборудования летательных аппаратов традиционно является одной из главных задач Государственного НИИ авиационных систем (ФГУП «ГосНИИАС»). Однако в большинстве отраслей отечественного машиностроения, в том числе

<sup>1</sup> Заметим, вообще не относящихся к транспортным и космическим системам, т. е. межотраслевая интеграция может выходить и за рамки совокупности отраслей, объединенных общим целевым назначением.

высокотехнологичного, исторически таких компетенций не создавалось. Структура оборудования и систем транспортных средств (особенно крупных — кораблей и судов) остается преимущественно федеративной, т. е. каждая из сотен и тысяч систем обладает автономным энерго-, теплообеспечением, управлением, информационным обеспечением и т. п., что приводит к избыточным массе, стоимости, габаритам, энергопотреблению всей совокупности этих систем, при относительно низкой надежности. Нередко они оказываются несовместимыми, конфликтными и даже практически неработоспособными. Поэтому может быть целесообразным трансфер более передовых методов и принципов комплексирования бортового оборудования, развитых в авиастроении, в прочие области транспортной техники и другой сложной продукции машиностроения.

3. Создание качественно новых изделий и технологий на стыке традиционных отраслей и научных дисциплин.

Возможности достижения технологических прорывов в рамках сложившихся областей техники и научных направлений во многих отраслях практически исчерпаны. Иногда решение масштабных проблем, создание прорывных технологий возможно лишь на стыке отраслей и областей техники.

Например, может оказаться целесообразным создание многосредных воздушно-космических летательных аппаратов, что потребует объединения компетенций авиастроения и ракетно-космической промышленности<sup>2</sup>.

Иной пример: во многих областях техники может быть целесообразным применение технических решений, отработанных в живой природе. Их изучение и развитие обеспечивает бионика — дисциплина на стыке биологии и различных областей техники. Приведем лишь некоторые примеры. Для создания легких и прочных конструкций транспортных средств, путевых сооружений, строительных конструкций и т. п. может быть целесообразно применение сетчатых пространственных конструктивно-силовых схем, встречающихся в скелетах птиц, у некоторых растений и т. п. Революционные улучшения в части надежности машин возможны при использовании природных принципов регенерирующих, самовосстанавливающихся конструкций. Значительные резервы снижения сопротивления среды (воздушной, водной) обеспечивает применение специфической (вопреки стереотипам, отнюдь не гладкой) микроструктуры поверхности, характерной для птиц, акул и т. п.

Таким образом, межотраслевая и междисциплинарная интеграция прикладных исследований и разработок может принести эффект:

- как в виде экономии затрат (на сами исследования и разработки и/или на поддержание необходимых компетенций) благодаря сокращению их дублирования,

- так и в виде лучших результатов благодаря синтезу компетенций.

В то же время, межотраслевая интеграция прикладных исследований и разработок требует значительных организационных изменений. Несмотря на исчезновение в России понятия отрасли как объекта управления и даже статистического наблюдения, в основном, российская высокотехнологичная промышленность, сохранившаяся прикладная наука и органы государственного управления сформированы именно по отраслевому принципу, унаследованному от советской экономики<sup>3</sup>. В силу ведомственной разобщенности, нередко в отдельных отраслях создавались передовые технологии, потенциально применимые и в других отраслях и областях техники. Однако из-за информационных барьеров специалисты отраслей-реципиентов иногда не располагают нужной информацией.

Нередко, даже при наличии необходимой информации о «родственных» исследованиях и разработках в других отраслях, не используются возможности объединения тематики НИР, разработки общих «сквозных» технологий, поскольку каждая отрасль располагает самостоятельными научными и конструкторскими организациями. Преследуя корпоративные и ведомственные интересы, руководители этих организаций и отраслевых интегрированных структур заинтересованы в максимизации объемов проводимых в них научно-исследовательских работ и численности коллективов, в создании и расширении самостоятельной, независимой от прочих отраслей, экспериментальной базы. Такие решения противоречат общегосударственным интересам, особенно в условиях ужесточения бюджетных ограничений (следует подчеркнуть, что именно государственный бюджет остается основным источником средств для выполнения исследований и разработок, развития научной базы большинства отраслей).

Таким образом, планирование совместных, межотраслевых (межвидовых, и т. п.) исследований и разработок, координация действий различных организаций прикладной науки и высокотехнологичной промышленности, согласование их интересов, оптимальное использование их компетенций в рамках совместных проектов представляют собой масштабные и не решенные до конца управленческие проблемы, особенно с учетом российской страновой специфики. То есть даже при наличии положительного ожидаемого эффекта, высокие риски реализации любого проекта межотраслевой интеграции прикладных исследований и разработок. Поэтому решения об интеграции прикладных исследований и разработок в различных отраслях и видах техники следует принимать на основе объективного технико-экономического анализа их эффективности. И только в тех случаях, когда ожидается высокая, значимая эффективность межотраслевой интеграции, ее следует добиваться, принимая необходимые государственные решения, создавая межотраслевые

<sup>2</sup> И если в отечественной истории эти отрасли изначально были разобщены, то в ведущих зарубежных аэрокосмических державах формально они развивались как интегрированные (см. устоявшийся термин Aerospace Industry). Тем не менее, и за рубежом такое объединение компетенций именно для создания воздушно-космических систем также еще не произошло в полной мере.

<sup>3</sup> Весьма успешно справившейся с историческими вызовами на определенном этапе развития, а именно, при переходе к индустриальному обществу.

научно-исследовательские и технологические центры, реорганизуя сложившиеся структуры в области исследований и разработок, преодолевая описанное выше институциональное сопротивление.

Следует подчеркнуть, что основной стратегический документ в области развития науки и технологий в России — Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации на долгосрочный период, принятая указом Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642 (СНТР, подробнее см. [10]) — носит принципиально межотраслевой характер. В ее основе лежит понятие «больших вызовов», т. е. масштабных и жизненно важных для страны проблем, которые невозможно решить лишь экстенсивным путем. И все эти вызовы требуют согласованной работы многих отраслей. Так, например, следующий «большой вызов»:

- «потребность в хозяйственном освоении территории страны, преодоление диспропорций социально-экономического развития регионов и раскрытие их потенциала, укрепление позиций России в области экономического, научного и военного освоения космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики»
- требует разработки новых технологий во всех отраслях транспортного машиностроения — авиационного, судостроения, автомобилестроения, железнодорожного машиностроения, а также в ракетно-космической промышленности, в области средств связи, мониторинга и прогнозирования природно-климатических процессов, и т. п. Причем, вероятнее всего, потребуются не только согласование, увязка стратегий их технологического развития, но и создание принципиально новых транспортных, информационно-коммуникационных и др. систем на стыке отраслей и областей техники.

Предлагаемый здесь методологический подход к оценке, точнее, априорному прогнозированию эффективности межотраслевой интеграции исследований и разработок, будет описан на примере транспортных и космических систем. Это — характерные примеры наукоемких и высокотехнологичных<sup>4</sup> областей техники, включающие в себя авиационную, ракетно-космическую, морскую, автомобильную и железнодорожную. Эти виды техники составляют основу транспорта, различных систем вооружений и др. Исследования и разработки новых технологий в интересах транспортных и космических систем требуют привлечения передовых достижений широкого спектра научных дисциплин, дорогостоящей и сложной экспериментальной базы, и т. п., подробнее см. [3, 4]. Поэтому повышение эффективности при-

кладных НИР в интересах этих видов техники весьма актуально. В том числе весьма перспективной представляется межотраслевая интеграция разработки новых технологий для развития транспортных и космических систем.

## **Методологические проблемы оценки технологической общности видов техники, выделения лидирующих отраслей и отраслей – реципиентов технологий**

Содержательные основания для интеграции исследований и разработок по созданию новых технологий дает технологическая общность отраслей и секторов экономики, видов техники, соответствующих областей прикладной науки. В свою очередь, общность технологий обусловлена общностью физических, химических и др. процессов производства и эксплуатации продукции. Именно благодаря наличию такой общности можно одновременно разрабатывать новые технологии в интересах нескольких отраслей или видов техники (или, по меньшей мере, использовать общие исследовательские компетенции, квалифицированные кадры, объекты экспериментальной базы и т. п.). В то же время, количественное измерение степени общности физических процессов и технологий в различных отраслях или видах техники является сложной методологической проблемой.

Как правило, уровень совершенства технологий, требуемый для их применения в данной отрасли или виде техники, можно измерить по количественной шкале определенным набором показателей. Например, можно выделить показатели физических и др. процессов эксплуатации изделий, которые характерны для данной отрасли или вида техники. Так, в случае транспортных и космических систем можно выделить следующие группы показателей:

- скоростные и динамические — максимальные ускорения при движении, максимальная скорость движения, число Маха;
- прочностные и температурные — скоростной напор<sup>5</sup>, максимальное или, наоборот, минимальное статическое давление среды, максимальные напряжения в конструкции, максимальные или, наоборот, минимальные температуры в различных элементах конструкции;
- надежностные — характерные значения вероятности безопасной работы, долговечности конструкции (в годах, часах работы, циклах использования и нагружения);
- энергетические — минимальные значения удельного расхода энергии на единицу транспортной

<sup>4</sup> По международной классификации, некоторые виды техники из этой категории относятся к среднетехнологичным, например, автомобильная техника и железнодорожная, за исключением высокоскоростного подвижного состава. Также некоторые отрасли транспортного машиностроения с высокой серийностью выпуска — прежде всего, автомобилестроение — не подпадают под статистическое определение наукоемких отраслей, поскольку доля затрат на НИР в общих затратах предприятий ниже установленных порогов (например, 3%). Однако это не снижает общей актуальности эффективной разработки технологий для всех перечисленных видов техники.

<sup>5</sup> Он корректнее отражает воздействие скорости движения на конструкцию, чем сами значения скорости, поскольку, например, морская техника движется со скоростями, не превышающими нескольких сотен км/ч, тогда как летательные аппараты достигают скоростей порядка нескольких тысяч км/ч, а космические аппараты движутся со скоростями от первой космической и выше, т. е. 8 км/с. Но при этом они движутся почти в безвоздушном пространстве, тогда как летательные аппараты — в воздухе, а суда — в среде, обладающей плотностью еще на три порядка выше.

работы (кДж/т-км, т.у.т./т-км), значения энерговоруженности изделий, а также показатели весового совершенства как соотношения масс конструкции, топлива и полезной нагрузки;

- показатели допустимого уровня физических полей — акустического шума, электромагнитных полей, теплового излучения и т. п.

В конечном счете, совокупность этих групп показателей — по крайней мере, косвенно — определяет возможности достижения некоторых генеральных целей национальной экономики и обороны, общества и государства, с помощью соответствующих видов техники.

Так, скоростные и динамические показатели определяют возможности решения основной задачи транспортных и космических систем — перемещения пассажиров и грузов, различных видов полезной нагрузки, в пространстве (для изделий военного назначения — также мобильность и маневренность). Косвенно связаны с ними температурные и прочностные показатели, поскольку движение транспортных средств в различных средах, с определенными скоростями и ускорениями, неизбежно вызывает определенные механические и температурные нагрузки. Также механические нагрузки зависят от статического давления среды, что особо актуально для морской техники.

Показатели надежности и безопасности определяют возможности безопасного и результативного применения изделий по назначению, их долговечность и готовность к использованию. Таким образом, они отражают как уровень безопасности использования и качества работ и услуг, выполняемых с помощью изделий, так и некоторые экономические аспекты использования этих изделий (в частности, затраты на их приобретение, реновацию и поддержание готовности к применению).

Но даже в большей степени экономические и ресурсно-экологические аспекты отражает следующая группа показателей, энергетические. Они отражают потребность в мощности и энергетических ресурсах при эксплуатации изделий, что, с одной стороны, определяет значимую статью эксплуатационных затрат, а, с другой стороны, определяет уровень использования природных ресурсов (возможно, исчерпаемых, но в любом случае, ограниченных) данным видом техники.

Показатели различных физических полей, порождаемых изделиями в процессе их использования, отражают:

- для изделий гражданского назначения — прежде всего, уровень их экологического воздействия на окружающую среду, опасности для здоровья человека и его комфорта;
- для изделий военного назначения — прежде всего, уровень их заметности и возможности обнаружения.

Сопоставляя значения показателей для различных видов техники, следует учитывать, что они эксплуатируются в существенно различных условиях — например, если космические аппараты движутся практически в вакууме, то изделия авиационной, автомобильной, железнодорожной техники — в плотных слоях атмосферы, а изделия морской техники — в среде,

обладающей на три порядка более высокой плотностью, чем воздух на уровне земли. Поэтому нередко прямое сопоставление некорректно.

Еще более сложная методологическая проблема возникает при сопоставлении экономических и энергетических показателей. Железнодорожные и морские транспортные средства движутся по опорным поверхностям с относительно низким сопротивлением движению, поэтому энергетическая эффективность соответствующих транспортных средств, разумеется, выше, при прочих равных, чем для авиационной техники, которая также должна держаться в воздухе, что само по себе требует энергетических затрат и т. д. Зато при этом воздушный транспорт не требует изъятия площадей под путевые сооружения, а также требует, наряду с водным транспортом, минимального объема этих сооружений, в сравнении с автомобильным и железнодорожным. Следует учитывать, что создание и поддержание путевой инфраструктуры также требует энергетических и прочих экономических затрат. То есть более корректно сопоставлять энергетические и экономические показатели не только в процессе движения транспортных средств, но в целом за жизненный цикл изделий.

Таким образом, различные отрасли или виды техники предъявляют различные требования к уровням показателей совершенства технологий. Причем, технологии, разработанные в интересах отрасли-лидера, предъявляющей наиболее жесткие требования к уровню совершенства изделий, применимы в прочих отраслях. В то же время, более детальный анализ технологической общности различных видов техники показывает, что нередко невозможно однозначно выделить отрасль-лидера по всем параметрам уровня развития технологий. Как правило, если данная отрасль или вид техники опережает прочие по требуемому уровню одних показателей совершенства технологий, она уступает прочим по иным показателям. То есть ситуация доминирования по требуемому уровню всех показателей совершенства технологий на практике, вероятнее всего, не встречается. В то же время, это и не всегда необходимо для интеграции исследований, исключения дублирования самих НИР и необходимого потенциала.

Если исследования проводятся по какому-либо выделенному показателю совершенства технологий (что характерно для так называемых проблемно-ориентированных НИР, т. е. исследований, выполняемых на низких уровнях готовности технологий, УГТ 1-3, для отработки отдельных технических идей и концепций, без учета их взаимодействия в системе<sup>6</sup>), вполне достаточно «одномерного» превосходства данной отрасли или вида техники. И лишь при проведении комплексных междисциплинарных исследований и

<sup>6</sup> Здесь и далее подразумевается современная система организации прикладных исследований и разработок, подробно описанная в работах [6, 8]. Она предусматривает контроль уровней готовности технологий, подробнее см. [11], и различные виды работ и проектов на разных уровнях готовности. На разных стадиях предусмотрены различные принципы управления прикладными НИР, что связано с изменением степени неопределенности и уровня рисков.

разработок<sup>7</sup>, когда важна интерференция технологий и разнообразных условий эксплуатации изделий, одновременное, совместное воздействие различных эксплуатационных факторов, нельзя ограничиться лишь проверкой точек, экстремальных по отдельным координатам в пространстве требуемых показателей совершенства технологий.

Схематично можно изобразить эти ситуации в виде, приведенном на рис. 1. Здесь  $x, y$  — показатели уровня совершенства технологий; границы областей, соответственно, с вертикальной и диагональной штриховкой обозначают требуемые сочетания показателей уровня совершенства технологий в отраслях (областях техники) I и II. Здесь штриховка расположена со стороны допустимых областей, которые лежат выше и правее соответствующих кривых.

На рис. 1 видно, что иногда некоторая отрасль или вид техники уступает другой отрасли (виду техники) по требуемому уровню какого-либо показателя совершенства технологий, но опережает по другому показателю, и наоборот. На практике преобладают именно такие ситуации — например, орбитальные космические аппараты и аппараты для исследования дальнего космоса движутся с наибольшими скоростями (от первой космической скорости, т. е. приблизительно 8 км/с, и выше) среди всех видов транспортных средств. Однако они, как правило, не испытывают высоких скоростных напоров, перегрузок, температурных нагрузок (если рассматриваются именно орбитальные и межпланетные аппараты, но не спускаемые аппараты или многоуровневые космические корабли). Напротив, гиперзвуковые летательные аппараты движутся со скоростями, существенно меньшими первой космической скорости (за исключением спускаемых аппаратов и многоуровневых космических аппаратов, которые начинают движение в верхних слоях атмосферы приблизительно с первой космической скорости, постепенно снижая скорость движения) — как правило, не более 1-2 км/с. Однако при этом они испытывают высокие перегрузки, порядка  $10g^8$ , высокие значения скоростного напора, нагрев до температур порядка нескольких тысяч °С. Подводные суда, как правило, движутся с невысокими (не только по меркам авиационной техники, но даже по меркам автомобильной и железнодорожной техники) скоростями — не более, чем приблизительно 100 км/ч. Однако они должны выдерживать наибольшее среди всех видов транспортных средств статическое давление, порядка 10 МПа (т. е. на два порядка выше атмосферного давления у поверхности земли), для подводных лодок с глубиной погружения до 1000 м — а для глубоководных аппаратов выше еще на порядок. Это обуславливает наивысшие требования к статической прочности корпуса — в то же время, морская

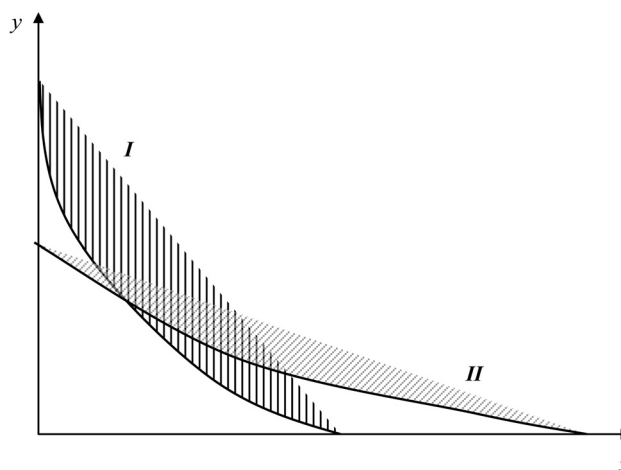


Рис. 1. Пространство показателей уровня совершенства технологий и области их требуемых значений для различных видов техники (пример)

техника, как правило, не должна испытывать высоких перегрузок, порядка нескольких  $g$ , что характерно для большинства изделий авиационной техники, особенно маневренных летательных аппаратов.

Кроме того, нередко ограничения на требуемый уровень совершенства технологий бывают двусторонними. И, например, для летательных аппаратов актуальна как максимальная скорость движения, так и минимальная скорость, определяющая их взлетно-посадочные характеристики, а также маневренные возможности (в том числе возможности зависания, движения с отрицательными скоростями и т. п.). Более простой и распространенный пример — рабочий диапазон температур. Возможность эксплуатации изделий при высокой температуре воздуха, например, до  $+40..50^\circ$ , отнюдь не означает возможности их эксплуатации при низких температурах, например, до  $-40...-50^\circ$ . Т.е. превосходство в большую или меньшую сторону по требуемому уровню какого-либо показателя необязательно означает абсолютное доминирование данного вида техники даже по данному изолированному показателю, без учета многомерности уровня совершенства технологий.

Итак, на практике почти не встречается ситуаций полного доминирования какого-либо вида техники по жесткости условий эксплуатации и предъявляемых требований к характеристикам изделий. Несмотря на это, по крайней мере, в части проблемно-ориентированных НИР, можно однозначно выделить отрасль-лидера по каждому направлению, показателю уровня совершенства технологий — например, по скорости движения в среде, рабочей температуре, уровню нагрузок, и т. п. В этом случае можно вполне обоснованно ограничиться:

- либо, созданием технологии лишь для лидирующей отрасли, «закрывающей» потребности отраслей или видов техники, которые предъявляют не столь жесткие требования по данному показателю;
- либо, созданием и поддержанием исследовательских компетенций и экспериментальной базы лишь в расчете на лидирующую отрасль или вид техники (даже если исследования и разработки будут проводиться отдельно для отраслей, предъявляющих

<sup>7</sup> В современной системе создания наукоемкой продукции они реализуются в виде т.н. комплексных научно-технологических проектов, в рамках которых на более высоких уровнях готовности технологий, УГТ 4-6, проводится системная интеграция технологий, признанных наиболее перспективными по итогам проблемно-ориентированных исследований.

<sup>8</sup>  $1g \approx 9,81 \text{ м/с}^2$  — ускорение свободного падения на уровне земли и единица измерения перегрузки.

различные требования к технологиям по данному показателю совершенства).

Причем, такие решения вполне реализуемы на практике, а примеры их реализации широко известны и описаны ранее.

Впрочем, даже формальное совпадение или доминирование уровня параметров в каких-то областях техники еще не гарантирует возможности совмещения методов и средств исследований и испытаний. Характерный пример доставляют гиперзвуковые аэродинамические трубы для испытания самих гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЗЛА) и предназначенных для них двигателей — как правило, прямоточных. Несмотря на формальное совпадение требуемой скорости потока, существенно различаются требования к расходу воздуха (возможно, также и к длительности рабочего процесса, которая в гиперзвуковых трубах невелика), к системам измерения. Впрочем, это не исключает возможности совмещения соответствующих экспериментальных установок — однако и степень технологической общности этих видов испытаний будет относительно невелика, как и соответствующая экономия.

### Принципы и качественные результаты прогнозирования экономической эффективности межотраслевой интеграции разработки технологий

Итак, сокращение дублирования исследований и разработок, или, по меньшей мере, исследовательских компетенций, создает предпосылки для экономии средств при межотраслевой интеграции технологического развития. То есть одни и те же результаты — например, разработка совокупности новых технологий для нескольких отраслей или видов техники — достигаются с меньшими затратами, чем если бы исследования и разработки в этих отраслях проводились изолированно. Однако уровень достижимой при этом экономии нуждается в дополнительном формальном анализе.

Рассмотрим следующую упрощенную экономико-математическую модель затрат средств на создание новых технологий в некоторой совокупности отраслей или видов техники. Обозначим индексами  $i=1, 2, \dots, N$  отрасли или виды техники, для которых рассматривается возможность межотраслевой интеграции разработки технологий. Предположим для простоты, что рассматривается возможность интеграции проблемно-ориентированных НИР, направленных на улучшение одного изолированного показателя уровня совершенства технологий  $x$ . Требуемый в  $i$ -й отрасли (для  $i$ -го вида техники) уровень данного показателя обозначим  $x_i$ . Затраты на изолированную, без межотраслевой интеграции, разработку технологий, необходимых для достижения уровня совершенства технологий  $x$ , обозначим  $C(x)$ . Для простоты предположим, что они одинаковы для всех отраслей (видов техники), что, в принципе, оправданно, если рассматриваются именно проблемно-ориентированные НИР, направленные на улучшение данного изолированного показателя без учета его связи с прочими, интерференции технологий и элементов технических систем. Тогда в отсутствие

межотраслевой интеграции исследований и разработок общая их стоимость, необходимая для достижения всеми отраслями в совокупности требуемых уровней совершенства технологий (по данному показателю  $x$ ), обозначаемых далее вектором

$$\vec{x}^{\text{треб}} = (x_1, \dots, x_N)^T,$$

составила бы

$$TC_0(\vec{x}^{\text{треб}}) = \sum_{i=1}^N C(x_i).$$

Если же можно выделить отрасль или вид техники, являющийся лидирующим по требуемому уровню данного показателя совершенства технологий:

$$i_{\text{leader}} = \arg \max_i x_i,$$

тогда возможна межотраслевая интеграция прикладных исследований и разработок, направленных на улучшение данного показателя. То есть можно исключить все исследования, направленные на разработку технологий с менее жесткими требованиями (или, по меньшей мере, создание и поддержание необходимых для этого компетенций). В этом случае затраты ограничатся лишь затратами на разработку технологий, необходимых отрасли-лидеру:

$$TC_{\text{integr}}(\vec{x}^{\text{треб}}) = C(x_{i_{\text{leader}}}) = C(\max_i x_i).$$

Если затраты на прикладные исследования монотонно возрастают по мере ужесточения требований к необходимому уровню совершенства технологий, т. е.

$$\frac{\partial C}{\partial x} > 0,$$

тогда можно выразить требуемую сумму затрат следующим образом:

$$TC_{\text{integr}}(\vec{x}^{\text{треб}}) = C(x_{i_{\text{leader}}}) = \max_i C(x_i).$$

Экономический эффект от межотраслевой интеграции прикладных исследований и разработок состоит в экономии соответствующих затрат. То есть он определяется соотношением вышеописанных сумм,  $TC_0(\vec{x}^{\text{треб}})$  и  $TC_{\text{integr}}(\vec{x}^{\text{треб}})$ . Поскольку вторая величина является одним из слагаемых первой суммы, очевидно, что эффект положителен. Однако насколько он велик в относительном выражении? Разумеется, конкретные количественные оценки можно получить лишь на основе конкретных зависимостей  $C(x)$ <sup>9</sup>. Однако на основе качественных свойств соответствующих зависимостей можно получить некоторые полезные качественные выводы. То есть предлагается рассмотреть так называемую «мягкую» математическую модель, основанную не на конкретных спецификациях частных моделей, формулах используемых зависимостей, а на их качественных свойствах, которые могут проявлять-

<sup>9</sup> Следует учитывать, что существуют фундаментальные проблемы оценки таких зависимостей, даже апостериорной, не говоря уже об их прогнозировании на будущее.

ся при различных видах используемых функциональных зависимостей, подробнее см. [1]. Как правило, доверие к результатам анализа таких моделей выше, поскольку они не зависят от конкретной спецификации математических моделей (которая может и не соответствовать реальности), а определяются лишь их качественными свойствами. Если они признаны реалистичными, тогда и выводы из анализа «мягкой» модели справедливы, безотносительно к конкретному виду математических формул и функций.

Прежде всего, поскольку при межотраслевой интеграции исследования и разработки проводятся лишь в расчете на уровень требований, предъявляемых отраслью-лидером, т. е.  $\max_i x_i$ , о прочих членах суммы

$$\sum_{i=1}^N C(x_i) \quad (1)$$

заведомо известно, что они меньше слагаемого для отрасли-лидера:

$$C(x_i) < C(x_{i \text{ leader}}), \quad i \neq i \text{ leader},$$

так как

$$\frac{\partial C}{\partial x} > 0.$$

Следовательно, все остальные слагаемые в сумме меньше, чем

$$(N-1) C(x_{i \text{ leader}}). \quad (2)$$

Поэтому относительное снижение затрат благодаря межотраслевой интеграции подчиняется следующему неравенству:

$$\frac{TC_{\text{integr}}(\vec{x}^{\text{треб}})}{TC_0(\vec{x}^{\text{треб}})} = \frac{\max_i C(x_i)}{\sum_{i=1}^N C(x_i)} > \frac{C(x_{i \text{ leader}})}{N C(x_{i \text{ leader}})} = \frac{1}{N}.$$

То есть суммарные затраты на исследования и разработки сократятся благодаря их межотраслевой интеграции заведомо меньше, чем в  $N$  раз, где  $N$  — количество отраслей или видов техники, в интересах которых разрабатываются унифицированные технологии.

При более конкретных допущениях относительно свойств зависимости  $C(x)$ , можно сделать и более сильные качественные выводы. Если предположить, что в оптимальном для каждой отрасли состоянии выбирается уровень совершенства технологий, соответствующий выпуклому участку зависимости  $C(x)$ , т. е. дальнейшее совершенствование технологий достигается ценой все больших затрат:

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} > 0,$$

тогда, например, если отрасль-лидер превосходит прочие отрасли, реципиенты создаваемых для нее технологий, вдвое по уровню требуемого совершенства технологий, можно заведомо считать, что потребные в этих отраслях затраты на изолированную разработку

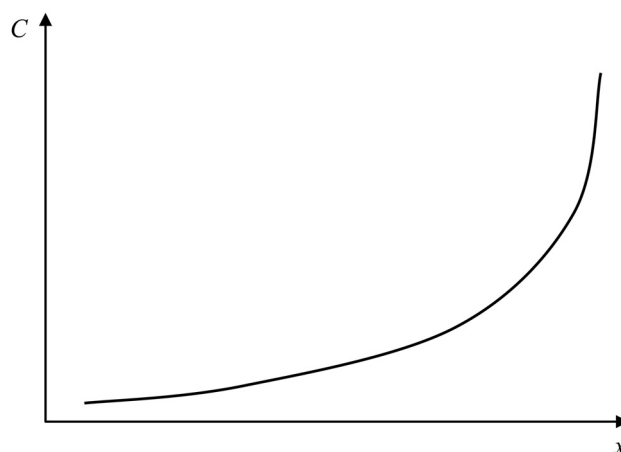


Рис. 2. Качественный вид зависимости затрат на прикладные исследования от требуемого уровня совершенства технологий (пример 1)

соответствующих технологий были бы более чем вдвое ниже, чем в лидирующей отрасли, см. рис. 2.

В таком случае, если отрасли-реципиенты многократно уступают отрасли-лидеру по требуемому уровню показателя совершенства технологий:  $x_i \ll x_{i \text{ leader}}, i \neq i \text{ leader}$ , все прочие члены суммы (1) в совокупности будут существенно ниже, чем (2). И их устранение благодаря исключению дублирования прикладных исследований в отраслях-реципиентах принесет относительно малый эффект, поскольку

$$C(x_{i \text{ leader}}) \sim \sum_{i=1}^N C(x_i).$$

То есть эффективность межотраслевой интеграции относительно невелика. И лишь если отрасли-реципиенты близки к отрасли-лидеру по требуемому уровню совершенства технологий:  $x_i \approx x_{i \text{ leader}}, i \neq i \text{ leader}$ , прочие члены суммы (1) в совокупности будут близки к (2). Тогда их устранение благодаря межотраслевой интеграции существенно сократит потребную сумму затрат на исследования и разработки.

В то же время, зависимость  $C(x)$  может иметь и «постоянную»<sup>10</sup> составляющую, связанную, прежде всего, с созданием и поддержанием исследовательских компетенций (т. е. квалифицированных кадров и экспериментальной базы). И если эта постоянная составляющая велика, тогда, наоборот, даже при двукратном превосходстве отрасли-лидера по требуемому уровню показателя совершенства технологий  $x$  затраты в отраслях-реципиентах, если бы в них необходимые технологии разрабатывались независимо, были бы ниже не вдвое, а менее чем вдвое, по сравнению с отраслью-лидером, см. рис. 3.

Причем, зависимость  $C(x)$  по-прежнему может быть выпуклой вниз. В этом случае, даже при значительном отставании отраслей-реципиентов от отрасли-лидера в части требуемого уровня совершенства техно-

<sup>10</sup> В данном случае имеется в виду, что эта составляющая затрат не зависит от достижимого уровня совершенства технологий, т. е. от требуемой результативности НИР. Это определение не совпадает с традиционным пониманием постоянных, условно-постоянных и т. п. издержек в экономике, поэтому используются кавычки.



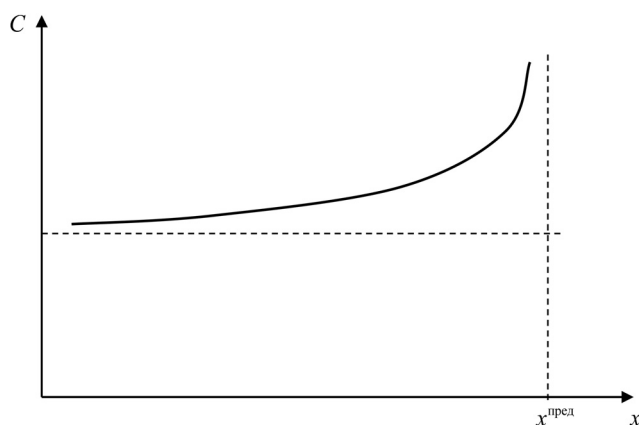


Рис. 3. Качественный вид зависимости затрат на прикладные исследования от требуемого уровня совершенства технологий (пример 2)

логий, все прочие члены суммы (1) в совокупности могут быть близки к (2). Соответственно, их устранение при межотраслевой интеграции существенно, почти в  $N$  раз, снизит потребный объем затрат на прикладные НИР, т. е.

$$\frac{TC_{\text{integr}}(\bar{x}^{\text{треб}})}{TC_0(\bar{x}^{\text{треб}})} \sim \frac{1}{N}.$$

Именно в этих случаях межотраслевая интеграция исследований и разработок нанесет наибольший экономический эффект.

Вероятно, именно такой случай имеет место в ранее указанном примере аэродинамических исследований и испытаний. Несмотря на то, что автомобильная и железнодорожная техника, а, тем более, морская техника в несколько раз уступают по скорости потока обтекающего их воздуха дозвуковой авиационной технике, создание и поддержание соответствующей экспериментальной базы — прежде всего, аэродинамических труб — в интересах этих отраслей потребовало бы постоянных затрат, близких по порядку величины к тем, которые требуются в авиационной. Тем более, это справедливо в отношении квалифицированных специалистов по дозвуковой аэродинамике, программных средств аэродинамических расчетов и т. п. Поэтому межотраслевая интеграция в этой сфере обещает быть наиболее эффективной в относительном выражении.

Впрочем, в области значений показателей совершенства технологий, близких к физическому пределу для данного технологического уклада  $x^{\text{пред}}$ , затраты на их улучшение стремятся к бесконечности:

$$\lim_{x \rightarrow x^{\text{пред}}} C(x) = +\infty.$$

Тогда даже при наличии значительной постоянной составляющей, как на рис. 3, она становится пренебрежимо малой на фоне «переменных» затрат, необходимых непосредственно на исследования и разработки. То есть ситуация для отрасли-лидера становится близкой к той, что изображена на рис. 2, тогда как в отраслях-реципиентах требуемые уровни показателя совершенства технологий далеки от физического предела:  $x_i < x^{\text{пред}}$ ,  $i \neq i_{\text{лидер}}$ . А в таких случаях, как

обосновано ранее, возможный выигрыш от межотраслевой интеграции технологий может быть невелик.

При этом следует также учитывать, что в реальности каждая отрасль или вид техники обладает отраслевой спецификой. И потому даже при равных значениях требуемого уровня показателя совершенства технологий не удастся избежать проведения специфических, для каждой отрасли или вида техники, исследований и испытаний — в противоположность построенной выше крайне упрощенной модели. Также не удастся избежать специфических затрат на создание и поддержание исследовательских компетенций. Так, например, аэродинамические испытания летательных аппаратов, имитирующие их обтекание в свободном полете, все-таки отличаются по постановке эксперимента от испытаний корабельных надстроек, а также объектов автомобильной и железнодорожной техники, движущихся вблизи земной поверхности. В предложенной выше модели, фактически, рассмотрены лишь общие (универсальные) затраты различных отраслей на исследования и разработки. Однако в реальности следует учитывать и специфические затраты. Поэтому, если не ожидается существенной относительной экономии общих издержек, в целом эффект межотраслевой интеграции может оказаться пренебрежимо малым или даже отрицательным, с учетом ряда других факторов, имеющих место в реальности, но не учтенных в приведенных здесь рассуждениях.

## Заключение

Как показал анализ, проведенный с помощью упрощенной экономико-математической модели, наибольший экономический эффект межотраслевая интеграция прикладных исследований и разработок приносит при следующих условиях:

- если отрасли или виды техники, участвующие в интеграционных исследованиях и разработках, весьма близки друг к другу и отрасли-лидеру по требуемому уровню совершенства технологий;
- если затраты на исследования и разработки характеризуются высоким уровнем «постоянных затрат» (например, на создание и поддержание исследовательских компетенций, на создание «общей», универсальной части объектов экспериментальной базы), не зависящих от требуемого уровня совершенства технологий;
- технологии как в отрасли-лидере, так и в отраслях-реципиентах далеки от физического предела в части улучшения выбранных показателей уровня совершенства.

Эти условия не являются взаимоисключающими — нередко они выполняются одновременно. Кроме того, если указанные условия не выполняются, это еще не означает, что межотраслевая интеграция прикладных исследований заведомо неэффективна — для принятия обоснованных решений требуются более детальные расчеты. Предложенная выше «мягкая» математическая модель призвана, наоборот, выявить условия, при которых межотраслевая интеграция разработки технологий будет почти наверняка приносить существенную экономию ресурсов.

## Список использованных источников

1. В. И. Арнольд. «Жесткие» и «мягкие» математические модели. М.: МЦНМО, 2004. 32 с.
2. И. А. Баев, Д. Б. Алябушев. Метод реальных опционов: от ценных бумаг к инновациям//Вестник УГТУ-УПИ. Серия «Экономика и управление». 2010. № 3. С. 52-62.
3. А. Г. Братухин, Е. Н. Куличков, В. Д. Калачанов. Конверсия авиакосмического комплекса России. М.: Машиностроение, 1995. 272 с.
4. В. Г. Дмитриев, Г. С. Бюшгенс. О работах ЦАГИ. 1970-2000 гг. и перспективы. Жуковский: ЦАГИ, 2001. 112 с.
5. А. В. Дутов, И. М. Калинин. Формирование научно-технического задела в судостроении. СПб.: ФГУП «Крыловский ГИИ», 2013. 308 с.
6. В. В. Ключков, С. М. Рождественская. Современные принципы управления прикладными исследованиями в авиационной науке//Интеллект & технологии. 2016. № 1 (13). С. 58-63.
7. В. В. Ключков, Н. В. Чернер. Центры коллективного пользования в прикладной авиационной науке: эффективность и направления развития//Финансовая аналитика: проблемы и решения. 2015. № 42 (276). С. 2-17.
8. Методологические основы и регламенты управления исследованиями и разработками в высокотехнологичных отраслях промышленности (на примере Национального исследовательского центра «Институт им. Н. Е. Жуковского»)/Под общей редакцией Б. С. Алешина, А. В. Дутова. М.: Изд-во ГосНИИАС, 2017. 160 с.
9. Д. П. Олишевский, Б. Ю. Сербиновский. Моделирование и анализ организации и управления центром коллективного пользования. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2009. 134 с.
10. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. Утв. указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642.
11. D. Clausing, M. Holmes. Technology Readiness. Research Technology Management. Industrial Research Institute, 2010. 243 p.

## Forecasting the effectiveness of cross-sectoral integration of applied research and development of new technologies

**A. V. Dutov**, doctor of technical science, PhD (econ.), general director.

**V. V. Klochkov**, doctor of economic science, PhD (engineering), chief of department/leading research fellow, Institute of control science, RAS.

**S. M. Rozhdestvenskaya**, head of section.  
(National research center «Institute n. a. N. E. Zhukovsky»)

The types of cross-sectoral integration of applied research and development of new technologies are systematized, the corresponding effects are qualitatively described. We prove the necessity of R&D cross-sectoral integration (in the interests of different industries and types of equipment) feasibility quantitative assessment. The approaches to measuring the degree of industries and types of equipment technological community, and to the allocation of leading and recipient industries among them are proposed. We elaborate a simplified «soft» economic-mathematical model of the complex of R&D (in the interests of a set of industries) cost. By parametric analysis of this model, the conditions are revealed in which the inter-sectoral integration is most effective or, on the contrary, practically useless. These conditions relate to the technology parameters required in the merging industries, as well as the cost structure of R&D.

**Keywords:** pass-through technology, research skills, technological community, effectiveness, «soft» modeling.

## Маринет примет участие в крупнейшей морской выставке SMM-2018

5 сентября 2018 г. в рамках международной выставки SMM-2018 в Гамбурге состоится конференция Маринет, посвященная перспективным технологическим решениям для морской отрасли. Конференция организована Отраслевым центром МАРИНЕТ и медиа-группой «Portnews» при поддержке РВК в рамках реализации Национальной технологической инициативы (НТИ).

Тематика конференции Маринет – технологические и регуляторные вызовы в области цифровой навигации, безэкипажного судовождения и морской робототехники. В рамках мероприятия Россия планирует впервые инициировать открытую дискуссию по вопросам практического внедрения новых технологий в морской области, определить запросы потенциальных заказчиков, оценить позицию регуляторов, а также продемонстрировать передовой уровень российских разработок в наиболее перспективных направлениях морских технологий.

Программа конференции включает панельные дискуссии по цифровой навигации и безэкипажным судам, а также питч-сессии по морской робототехнике, участие в которых примут российские и зарубежные разработчики, представители судоходных компаний и регуляторов морского транспорта. Россию на конференции представят ведущие организации отрасли, участвующие в работе Отраслевого центра МАРИНЕТ: Росморречфлот, Совкомфлот, Объединенная судостроительная корпорация, Кронштадт Технологии, НПП АМЭ, Концерн «Моринформсистема-Агат», Крыловский государственный научный центр, Нонниус Инжиниринг и другие.

Первая панельная дискуссия конференции будет посвящена ключевым вопросам цифровизации судовождения и применения концепции e-Навигации: не устарела ли одобренная концепция e-Навигации еще до своего практического внедрения, какие цифровые инструменты сегодня востребованы бизнесом, способны ли «морские юберы» разрушить традиционный фрахтовый бизнес, как «большие данные» способны изменить управление флотом?

Тема второй панельной дискуссии – «Почему не плывут безэкипажные корабли». Сегодня энтузиасты и разработчики безэкипажных технологий обещают существенное сокращение затрат и повышение безопасности, а Международная морская организация ИМО начала рассмотрение вопросов соответствующего регулирования. Участники дискуссии обсудят, насколько отрасль готова и заинтересована в развитии безэкипажного судоходства.

Мероприятие завершится серией выступлений, в ходе которых будут представлены новейшие разработки и решения в области коммерческой морской робототехники.

Конференция Маринет открывается 5 сентября 2018 г. в 10:00 в конференц-зале Osaka (Hall A4, Hamburg Messe und Congress). На сайте медиагруппы «Portnews» будет организована видеотрансляция конференции.