

DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-306-322

ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF INLAND NAVIGATION VESSELS

A. V. Soloviev

The Federal Autonomous Institute Russian River Register Upper Volga Branch-Office,
Nizhniy Novgorod, Russian Federation

The article examines the issues and problems of environmental safety of inland navigation vessels associated with the absence of a definition of “environmental efficiency” and methods of its calculation. Given a description of the physical meaning of the concept “eco-efficiency” taking into account the specifics of the issue and proposed the idea of ecological efficiency as the probability of preventing possible harmful effects on the environment waste men on the ship and inevitable in the operation of technical means and equipment loss production environments and products of incomplete combustion. The proposed quantitative measure of eco-efficiency, which is dimensionless or percentage measure to prevent harm to the environment caused by waste that include oily (bilge) water, sewage (plumbing) water, garbage, atmospheric emissions of harmful substances from the exhaust (exhaust) gases, noise. Proposed system description of indicator as a function of the partial indicators of ecological efficiency, taking into account the degree of influence (importance) of each particular indicator. The necessity of applying the principles of system approach (the hierarchy of knowledge integration and formalization) and discussed signs of consistency with respect to model pollution prevention the operation of vessels on inland waterways. In the proposed method of determining the index of environmental efficiency of the vessel and its components put a linear strategy of “convolution” of the partial indicators in additive integral index, which is a generalized estimation of the considered vessel. Developed and scientifically-grounded method of determination of indicator environmental efficiency of inland navigation vessels, which ensures fulfillment of requirements of technical regulations “About safety of objects of inland waterway transport”.

Keywords: ecological efficiency, inland vessels, methods of assessment, technical regulations

For citation:

Soloviev, Alexey V. “Environmental performance of inland navigation vessels.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.2 (2017): 306–322. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-306-322.

УДК 504:629.122

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУДОВ ВНУТРЕННЕГО ПЛАВАНИЯ

А. В. Соловьев

ФАУ «Российский Речной Регистр» Верхне-Волжский филиал
Российского Речного Регистра, Нижний Новгород, Российская Федерация

В статье рассмотрены вопросы и проблемы обеспечения экологической безопасности судов внутреннего плавания, связанные с отсутствием определения понятия «экологическая эффективность» и методик ее расчета. Приведено описание физического смысла понятия «экологическая эффективность» с учетом специфики рассматриваемого вопроса и предложено представление экологической эффективности как вероятности предотвращения возможного вредного воздействия на окружающую среду отходов жизнедеятельности людей на судне и неизбежных при эксплуатации технических средств и оборудования потерь рабочих сред и продуктов неполного сгорания топлива. Предложен количественный показатель экологической эффективности, который является безразмерной или процентной мерой предотвращения вреда, наносимого окружающей среде отходами, к которым относятся нефтесодержащие (ляльные) воды, сточные (сточно-фановые) воды, мусор, выбросы в атмосферу вредных веществ с выпускными (отработавшими) газами, шум. Предложено системное описание показателя как функции частных показателей экологической эффективности с учетом степени влияния (важности) каждого частного показателя. Показана необходимость применения принципов системного подхода (иерархичности познания, интеграции и формализации) и рассмотрены признаки системности применительно

к исследуемой модели предотвращения загрязнений при эксплуатации судов на внутренних водных путях. В основу предлагаемого метода определения показателя экологической эффективности судна и его составных частей положена линейная стратегия «свертки» частных показателей в аддитивный интегральный показатель, являющийся обобщенной оценкой рассматриваемого судна. Разработана и научно обоснована методика определения показателя экологической эффективности судов внутреннего плавания, которая обеспечивает выполнение требований технического регламента «О безопасности объектов внутреннего водного транспорта».

Ключевые слова: экологическая эффективность, суда внутреннего плавания, методика оценки, технический регламент.

Для цитирования:

Соловьев А. В. Методика оценки экологической эффективности судов внутреннего плавания / А. В. Соловьев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 2. — С. 306–322. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-306-322.

Введение

На современном этапе развития флота значительное внимание уделяется охране окружающей среды. Поэтому вопросы и проблемы экологической безопасности судов внутреннего плавания нашли широкое отражение в работах отечественных и зарубежных ученых, которые предложили целый ряд показателей экологической безопасности судоходства (риски эксплуатационного и аварийного загрязнения окружающей среды [1] – [3], ожидаемый ущерб [4] – [6], оценки вероятности загрязнения [7] – [9] и ущерба отдельных компонентов природной среды [10] – [12], а также оценки размера вреда [13] – [15]).

Большое количество работ посвящено вопросам оценки рисков возникновения и последствий загрязнения окружающей среды, в том числе в результате транспортных происшествий на водном транспорте [2] – [4], и содержат оценки вероятностей эксплуатационных происшествий и аварий [13], [15]. Значительный интерес представляет работа [14], в которой выполнена количественная оценка размера вреда от компонентов судна различного класса опасности (в том числе нефтесодержащими (ляляльными) водами, сточными (сточно-фановыми) водами, мусором) и предложен способ косвенного определения размера вреда по его типовым характеристикам. В работе [11] приведены результаты статистических исследований параметров воздействия на окружающую среду при взрывном горении на танкерах как географически ориентированных случайных величин и разработана матрица выбора типа взрывного процесса на танкерах в зависимости от степени опасности для окружающей среды. В работе [7] рассматриваются вопросы прогнозирования загрязнения акваторий с объектов транспортного комплекса с применением современных информационных технологий и предложена оригинальная методика оценки параметров загрязнения, которая обеспечивает достаточно высокую точность оценки параметров загрязнения и формирование необходимой для этого выборки «сценариев» моделирования. Однако результаты выполненных исследований, которые могут быть полезны преимущественно при создании документов, разрабатываемых в рамках Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (планов локализации и ликвидации разливов нефти, деклараций промышленной безопасности), проведении тренажерной подготовки персонала [3], [4], [7], [8], не содержат комплексных оценок экологической эффективности судов внутреннего плавания.

Актуальность исследований

Актуальность исследований подтверждается выходом технического регламента «О безопасности объектов внутреннего водного транспорта», «Основ государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года», государственной программы Российской Федерации «Охрана окружающей среды на 2012 – 2020 годы» и других нормативных документов, посвященных развитию транспортной отрасли и обеспечению ее экологической безопасности [7]. В техническом регламенте «О безопасности объектов внутреннего водного транспорта» регламентируется значение экологической эффективности судов и объектов инфра-

структуры этого вида транспорта. Так, в п. 215 данного нормативного документа регламентировано значение экологической эффективности «... в том числе путем установки на суда и судовые технические средства оборудования и средств экологической безопасности, не ниже 50 %», а в п. 435 указано, что проектанты и строители (изготовители) объектов регулирования, указанных в пп. «в» п. 5 этого же документа, должны предусмотреть меры по обеспечению «... экологической эффективности, в том числе путем установки на объекты регулирования оборудования и средств экологической безопасности и применения экологически безопасных технологий строительства (изготовления) объектов регулирования, — не ниже 50 %».

Таким образом, понятие «экологическая эффективность» не определено и методика расчета экологической эффективности не создана ни в масштабах отрасли, ни в масштабах страны. Применительно к загрязнению водной среды с судов отчасти это объясняется тем, что законодательством Российской Федерации не допускается сброс во внутренние водные пути неочищенных нефтесодержащих вод и неочищенных и необеззараженных сточных вод, а также мусора. Если добавить к этому редкую практику установки на судах внутреннего плавания фильтрующего оборудования для нефтесодержащих вод, сигнализатора, системы сброса очищенных нефтесодержащих вод автоматическим устройством, прекращающим сброс нефтесодержащих вод при превышении нормативного значения содержания нефти в сбросе Правила Российского Речного Регистра требуют установки указанного оборудования в случае, когда сборная цистерна нефтесодержащих вод не обеспечивает необходимой автономности плавания по условиям экологической безопасности), то действительность выглядит следующим образом: нефтесодержащие воды, нефтяные остатки и осадки, мусор в водную среду не сбрасываются, а лишь накапливаются в специальных емкостях на судне и по мере возможности сдаются на специализированные внесудовые водоохранные средства. Правила Российского Речного Регистра требуют установки на судах с экипажем станции очистки и обеззараживания сточных вод только в том случае, когда сточно-фановая система судна и предусмотренная на судне сборная цистерна для сточных вод не обеспечивают необходимой автономности плавания по условиям экологической безопасности. Следовательно, и в этом случае сброс неочищенных и необеззараженных сточных вод в водную среду отсутствует.

Несмотря на позитивные решения в отношении загрязнения водной среды, воздушная среда (атмосфера) загрязняется с судов твердыми частицами, окислами азота NO_x , оксидом углерода CO , суммарными углеводородами CH , парниковым газом CO_2 в результате эксплуатации судовых дизелей, котла и печи-инсинератора и это загрязнение тем больше, чем меньше на судне уделяется внимание регулировке рабочего процесса и нейтрализации выпускных газов дизелей, улавливанию частиц несгоревшего топлива и твердых включений топлива в выпускных трубопроводах котлов и инсинераторов.

Правила Российского Речного Регистра нормируют содержание в выпускных газах NO_x , CH , CO и дымность выпускных (отработавших) газов, но воздушная среда в той или иной степени все равно загрязняется при работе дизелей, котлов и инсинераторов. Считается, что при соответствии выбросов в выпускных газах дизелей установленным нормам загрязнение атмосферы настолько незначительно, что и бороться с этим не нужно, так как предотвратить этот процесс невозможно. При оценивании экологической эффективности судов преимущество должны получать суда с максимальной возможной автономностью плавания по условиям экологической безопасности (с наибольшей емкостью сборных цистерн и емкостей для мусора или с установленными на них средствами предотвращения загрязнения окружающей среды), а также те, для которых уровни выбросов в атмосферу более низкие по сравнению с конкурентами.

Процесс и результаты исследования

Физический смысл понятия «экологическая эффективность». В контексте технического регламента экологическая эффективность, как и всякая другая, могла пониматься как отношение полезного эффекта (в данном случае природоохранного) к затраченным на производство этого эффекта ресурсам, выраженным в тех же единицах измерения, что и полезный эффект. Учитывая

специфику рассматриваемого вопроса, можно представить также экологическую эффективность как отношение природоохранного эффекта к эффекту загрязнения окружающей среды в том случае, если бы меры по предотвращению ее загрязнения не были приняты.

Любое из указанных ранее представлений об экологической эффективности позволяет сделать вывод о том, что количественная мера экологической эффективности является показателем экологической эффективности и последний должен быть безразмерным параметром, значение которого меньше единицы, но стремится к ней, или при умножении на 100 % быть выражен в процентах (быть менее 100 %, но стремиться к этому пределу).

Измерение полезного природоохранного эффекта и даже определение этого понятия достаточно затруднительно. Природоохранный эффект в результате применения оборудования и средств предупреждения загрязнения окружающей среды с судна может быть выражен в каких-либо условных или уже используемых единицах загрязнения окружающей среды в том случае, когда ничем не сдерживаемое загрязнение окружающей среды отходами жизнедеятельности людей на судне, эксплуатации технических средств и оборудования удалось бы описать в тех же условных или уже используемых единицах. Однако все осложняется еще и тем, что различные отходы (загрязнения) имеют разную физическую природу и их количественные меры имеют различные единицы измерения. Поэтому, видимо, не следует ориентироваться на приведенные ранее описания понятия и представить экологическую эффективность как вероятность предотвращения возможного вредного воздействия на окружающую среду отходов жизнедеятельности людей на судне и неизбежных при эксплуатации технических средств и оборудования потерь рабочих сред и продуктов неполного сгорания топлива. В этом случае показатель экологической эффективности также должен быть описан в указанных выше числовых границах, т. е. если рассчитанное значение показателя экологической эффективности окажется близким к единице (к 100 %), например, 0,95 (95 %), то вероятность предотвращения вредного воздействия судна на окружающую среду будет считаться высокой, а если близким к нулю, например, 0,1 – 0,2 (10 – 20 %), — низкой.

Показатель экологической эффективности с позиций исследования операций. В соответствии с ранее приведенными обоснованиями экологическая эффективность как понятие призвана оценивать вероятность предотвращения возможного вредного воздействия на окружающую среду отходов жизнедеятельности людей на судне и неизбежных при эксплуатации технических средств и оборудования потерь рабочих сред и продуктов неполного сгорания топлива. Количественная мера экологической эффективности, а именно показатель экологической эффективности, должен быть безразмерной или процентной мерой предотвращения вреда, наносимого окружающей среде указанными выше отходами и загрязнениями. К таким отходам относятся нефтесодержащие (льяльные) воды, сточные (сточно-фановые) воды, мусор, выбросы в атмосферу вредных веществ с выпускными (отработавшими) газами, шум. Чем более показатель экологической эффективности приближается к единице, т. е. к 100 %, тем в большей степени предотвращается вред, который мог бы быть нанесен судном окружающей среде.

Определение показателя экологической эффективности судов, безусловно, следует отнести к сложным задачам, так как подобные задачи обычно связаны с математическим описанием сложных явлений, ситуаций или объектов. В данном случае целесообразно рассматривать показатель экологической эффективности не как явление или ситуацию, а как модель предотвращения загрязнений, которую можно считать сложным объектом, поскольку она может быть скомпонована из нескольких составных частей, характеризующих разные стороны описываемого процесса. Условно можно допустить, что эти части находятся в отношениях взаимосвязи и соподчинения. Тогда модель описания предотвращения загрязнений можно считать объектом с распределенной структурой. Трудности создания модели, т. е. математического описания процессов предотвращения загрязнения окружающей среды различной физической природы, можно преодолеть с помощью методов исследования операций, которые оказываются эффективными в случаях, когда использование традиционных математических методов не дает нужного результата (метод, используемый для описания показателя экологической эффективности, разработанный П. И. Бажаном).

Если представить создаваемую модель предотвращения загрязнений объектом с распределенной структурой в виде системы, удовлетворяющей набору определенных признаков, то для решения сформулированной ранее задачи может быть использован научный метод, получивший название *системного подхода*, представляющего собой одну из форм методологического знания, связанную с исследованием и созданием объектов как систем. Системные принципы нашли широкое применение в различных сферах теоретической мысли. Опубликовано значительное число работ, в которых выполнено исследование роли и места системного подхода в ряду других методологических концепций: устанавливаются особенности и направления практической реализации системного подхода, рассматриваются математические методы и аппарат, уровни изучения систем и т. п. Однако исчерпывающую характеристику этих вопросов дать еще сложно. Можно лишь рассчитывать на некоторую полноту освещения тех сторон, которые наиболее тесно связаны с задачами системотехники.

Одним из принципов системного подхода является *принцип иерархичности познания*, требующий трехуровневого изучения предмета: 1-й уровень — изучение самого предмета — «собственный» уровень; 2-й уровень — изучение этого же предмета как элемента более широкой системы — «вышестоящий» уровень; 3-й уровень — изучение этого предмета в соотношении с составляющими данный предмет компонентами — «нижестоящий» уровень.

Еще один принцип — *принцип интеграции* — отражает особенность системного подхода, заключающуюся в том, что он направлен на изучение интегративных свойств и закономерностей систем и комплексов систем, раскрытие базисных механизмов интеграции целого. И, наконец, *принцип формализации* показывает, что системный подход направлен на получение количественных характеристик, создание методов, сужающих неоднозначность понятий, определений, оценок и т. п.

Рассмотрим теперь признаки «системности» и оценим возможность удовлетворения этим признакам объекта «модель предотвращения загрязнений», обычно представляемого в виде системы. К характерным признакам систем, к которым можно применить системный подход, относятся следующие.

1. *Наличие определенного числа взаимосвязанных между собой подсистем* (составных частей системы). Расчленение системы на подсистемы (декомпозиция) в настоящее время трудно поддается формализации и чаще всего носит эвристический характер, зависящий от целей исследования сложной системы. Выделение подсистем часто производят по функциональным признакам, полагая при этом, что самостоятельное существование подсистем нереально (выпускные газы двигателей, например, не могут самостоятельно образовываться и существовать). Возможна также классификация подсистем по видам объектов управления, входящих в состав сложной системы (иногда подсистемам ставят в соответствие задачи, решение которых необходимо осуществить для выполнения основной задачи, поставленной перед создаваемой сложной системой). В связи с этим следует отметить, что разбиение сложной системы на подсистемы целесообразно выполнять таким образом, чтобы они представляли собой самостоятельно функционирующие части системы, решающие свои задачи, но при этом учитывалась роль подсистем во всей системе.

2. *Многомерность системы*, обуславливаемая наличием большого числа связей между подсистемами.

3. *Многокритериальность*, обуславливаемая разнообразием целей отдельных подсистем, входящих в сложную систему, а также разнообразием требований, предъявляемых к исследуемой системе со стороны других систем.

4. *Свойства системы не исчерпываются свойствами отдельных подсистем* (синергетический эффект), наоборот, система имеет свойства, которые не присущи подсистемам, и не могут быть образованы простым суммированием свойств подсистем (принцип эмерджентности), а формируются благодаря учету взаимодействия между отдельными частями системы.

5. *Многообразие природы подсистем*, которое характеризуется их различной физической сущностью.

Таким образом, сложность системы, к которой можно применить системный подход, характеризуется не просто увеличением размерности, но и многокритериальностью, иерархичностью структуры, наличием подсистем различного вида, функционирование которых подчинено достижению единой цели для всей системы в целом. Однако можно констатировать, что составные части системы «экологическая эффективность судна»: экологическая эффективность по нефтесодержащим водам, по сточным водам, по мусору, по выбросам в атмосферу твердых частиц, окислов азота NO_x , оксида углерода CO , суммарных углеводородов CH , парникового газа CO_2 , по шуму, могут быть представлены в виде подсистем сложной системы (структурирование и анализ сложной системы) и в этом случае (при правильном структурировании системы) они будут удовлетворять всем пяти указанным выше признакам.

Таким образом, ранее изложенное подтверждает возможность описания свойств рассматриваемой системы в функции свойств указанных ранее подсистем (синтез свойств системы) и представления показателя экологической эффективности $\Pi_{\text{эк. эф}}$ — интегрального критерия эффективности системы — в виде функции частных критериев подсистем, т. е. частных показателей экологической эффективности:

$$\Pi_{\text{эк. эф}} = f(\text{ЧП}_{\text{НВ}}, \text{ЧП}_{\text{СВ}}, \text{ЧП}_{\text{СМ}}, \text{ЧП}_{\text{ТО}}, \text{ЧП}_{\text{NO}_x}, \text{ЧП}_{\text{CO}}, \text{ЧП}_{\text{СН}}, \text{ЧП}_{\text{дым}}, \text{ЧП}_{\text{ПГ}}, \text{ЧП}_{\text{шум}}),$$

где $\text{ЧП}_{\text{НВ}}$ — частный показатель экологической эффективности по предотвращению загрязнения водной среды нефтесодержащими (ляляльными) водами;

$\text{ЧП}_{\text{СВ}}$ — частный показатель экологической эффективности по предотвращению загрязнения водной среды сточными водами;

$\text{ЧП}_{\text{СМ}}$ — частный показатель экологической эффективности по предотвращению загрязнения водной среды сухим мусором;

$\text{ЧП}_{\text{ТО}}$ — частный показатель экологической эффективности по предотвращению загрязнения водной среды твердыми пищевыми отходами;

ЧП_{NO_x} — частный показатель экологической эффективности по предотвращению загрязнения воздушной среды окислами азота;

ЧП_{CO} — частный показатель экологической эффективности по предотвращению загрязнения воздушной среды оксидом углерода;

$\text{ЧП}_{\text{СН}}$ — частный показатель экологической эффективности по предотвращению загрязнения воздушной среды суммарными углеводородами;

$\text{ЧП}_{\text{дым}}$ — частный показатель экологической эффективности по предотвращению загрязнения воздушной среды твердыми частицами несгоревшего топлива, что проявляется дымностью выпускных (отработавших) газов;

$\text{ЧП}_{\text{ПГ}}$ — частный показатель экологической эффективности по предотвращению загрязнения воздушной среды углекислым газом CO_2 , ответственным за парниковые газы (парниковый эффект);

$\text{ЧП}_{\text{шум}}$ — частный показатель экологической эффективности по предотвращению высоких уровней шума, производимого судном и его техническими средствами.

Частные показатели экологической эффективности по предотвращению загрязнения водной среды нефтесодержащими (ляляльными), сточными водами и мусором. Выполненные автором предварительные исследования показали, что применительно к предотвращению загрязнения водной среды нефтесодержащими (ляляльными) сточными водами, сухим мусором и твердыми пищевыми отходами частные показатели экологической эффективности могут быть выражены одним и тем же соотношением:

$$\text{ЧП} = \frac{V}{V_{\text{НО}}}, \quad (1)$$

где V — объем имеющихся на судне емкостей для сбора нефтесодержащих (ляляльных) вод для частного показателя $\text{ЧП}_{\text{НВ}}$, сточных вод для частного показателя $\text{ЧП}_{\text{СВ}}$, сухого мусора для частного показателя $\text{ЧП}_{\text{СМ}}$, твердых пищевых отходов для частного показателя $\text{ЧП}_{\text{ТО}}$;

$V_{НО}$ — объем накапливаемых на судне за время прохождения участка водного пути между пунктами сдачи отходов нефтесодержащих (ляляльных) вод для частного показателя $ЧП_{НВ}$, сточных вод для частного показателя $ЧП_{СВ}$, сухого мусора для частного показателя $ЧП_{СМ}$, твердых пищевых отходов для частного показателя $ЧП_{ТО}$:

$$V_{НО} = LN / (vk_x), \quad (2)$$

где L — наибольшее расстояние в районе эксплуатации судна между пунктами приема отходов, км; N — норма скорости накопления отходов, м³/ч:

— для нефтесодержащих (ляляльных) вод $N = c_{НВ} / 24$ ($c_{НВ}$ — норма скорости накопления нефтесодержащих (ляляльных) вод, м³/сут);

— для сточных вод и мусора $N = c (n_{ч.эк} + n_{ч.пс}) / 24$ (c — норма скорости накопления сточных вод, сухого мусора или пищевых отходов, м³/(чел. /сут); $n_{ч.эк}$ — число членов экипажа максимальное; $n_{ч.пс}$ — число пассажиров максимальное).

В выражении (2) также приняты следующие условные обозначения: v — средняя эксплуатационная скорость судна, км/ч; kx — коэффициент ходового времени, равный отношению ходового времени к сумме ходового и стояночного времени (за рейс, навигацию, несколько навигаций).

Нормативные значения степени очистки сточных и нефтесодержащих вод приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Нормативные значения степени очистки нефтесодержащих вод

Нормируемые показатели	Станции ОНВ на пассажирских, транспортных судах и техническом флоте, установленные		Станции ОНВ на специализированных очистных судах
	до 1997 г.	после 1997 г.	
Концентрация нефтепродуктов, мг/л	10,0	8,0	5,0

Таблица 2

Нормативные значения степени очистки сточных вод

Нормируемые показатели	Станции ООСВ на пассажирских, транспортных судах и техническом флоте, установленные		Станции ООСВ на специализированных очистных судах, установленные	
	до 1997 г.	после 1997 г.	до 1997 г.	после 1997 г.
Взвешенные вещества, мг/л	не более 50	не более 40	не более 40	не более 30
БПК ₅ , мг/л	не более 50	не более 40	не более 40	не более 30
Коли-индекс	не более 1000	не более 1000	не более 1000	не более 1000
Остаточный хлор (при обеззараживании хлором), мг/л	1,5 – 3,0	1,5 – 3,0	1,5 – 3,0	1,5 – 3,0

Примечания: станция ОНВ — установка для очистки нефтесодержащих вод; станция ООСВ — установка для очистки и обеззараживания сточных вод.

Таким образом, частные показатели экологической эффективности по нефтесодержащим (ляляльным), сточным водам, сухому мусору и твердым пищевым отходам описываются следующими формулами:

$$ЧП_{НВ} = 24V_{НВ}vk_x / (Lc_{НВ}); \quad (3)$$

$$ЧП_{СВ} = 24V_{СВ}vk_x / (Lc_{СВ}) / (n_{ч.эк} + n_{ч.пс}); \quad (4)$$

$$ЧП_{СМ} = 24V_{СМ}vk_x / (Lc_{СМ}) / (n_{ч.эк} + n_{ч.пс}); \quad (5)$$

$$ЧП_{ТО} = 24V_{ТО}vk_x / (Lc_{ТО}) / (n_{ч.эк} + n_{ч.пс}). \quad (6)$$

При этом нужно иметь в виду, что если на судне установлено фильтрующее оборудование для нефтесодержащих вод, сигнализатор, система сброса очищенных нефтесодержащих вод, автоматическое устройство, прекращающее сброс нефтесодержащих вод при превышении нормативного значения содержания нефти в сбросе, то следует принимать $ЧП_{НВ} = 1$. Если на судне установлена система очистки и обеззараживания сточных вод, то следует принимать $ЧП_{СВ} = 1$. Если на судне установлен инсинератор, то следует принимать $ЧП_{СМ} = 1$. Если на судне установлен измельчитель твердых отходов, то следует принимать $ЧП_{ТО} = 1$.

Частные показатели экологической эффективности по предотвращению загрязнения воздушной среды. Предварительно выполненные исследования показали, что частные показатели экологической эффективности по предотвращению загрязнения воздушной среды выбросами NO_x , CO , CH можно представить функцией отношения реальной эмиссии указанных веществ, $г/(кВт \cdot ч)$, к некоторому эталонному значению эмиссии этих же веществ, в качестве которого целесообразно принять действующие в настоящее время нормативы (см. табл. 3 – 5).

Таблица 3

Допустимые значения выбросов оксидов азота

Частота вращения коленчатого вала двигателя n , $мин^{-1}$	Наибольшее допускаемое значение удельного средневзвешенного выброса оксидов азота (NO_x) в приведении к NO_2 , $г/(кВт \cdot ч)$, для двигателей, поставленных на производство		
	до 19.05.2005	с 19.05.2005 по 01.01.2011	с 01.01.2011
До 130	17	17,0	14,4
Св. 130 до 2000		$45n^{-0,2}$	$44n^{-0,23}$
Св. 2000		9,8	7,7

Таблица 4

Допустимые значения выбросов оксида углерода и суммарных углеводородов

Нормируемый параметр	Наибольшее допустимое значение для двигателей, поставленных на производство		
	до 2000 г.	с 2000 по 2016 гг.	с 2016 г.
Удельный средневзвешенный выброс оксида углерода CO , $г/(кВт \cdot ч)$	6,0	3,5	1,5
Удельный средневзвешенный выброс суммарных углеводородов CH в пересчете на условный состав топлива $CH_{1,85}$, $г/(кВт \cdot ч)$	2,4	1,0	0,4

Таблица 5

Нормируемые показатели дымности

Расход выпускных газов $V_{exh} \cdot 10^3$, приведенный к нормальным условиям (температура 273 К, давление 101,3 кПа), $м^3/с$	Натуральный показатель K ослабления светового потока, $м^{-1}$	Коэффициент N ослабления светового потока, приведенный к шкале дымомера оптического типа $L = 0,43$ м, %		Дымовое число фильтра FSN, приведенное к шкале дымомера фильтрационного типа $L_f = 0,405$ м, у. е.		
		Норма дымности выпускных газов двигателей, поставленных на производство				
	до 2016 г.	с 2016 г.	до 2016 г.	с 2016 г.	до 2016 г.	
До 75	1,36	1,01	44	35	3,4	
Свыше 75 до 95	1,23	0,90	41	32	3,2	
Свыше 95 до 140	1,07	0,80	37	29	3,0	
Свыше 140 до 210	0,90	0,70	32	26	2,7	
Свыше 210 до 350	0,73	0,58	27	22	2,4	
Свыше 350 до 600	0,58	0,46	22	18	2,2	
Свыше 600 до 1150	0,46	0,35	18	14	1,8	
Свыше 1150 до 3000	0,32	0,25	13	10	1,4	
Свыше 3000	0,23	0,19	10	8	1,0	

При использовании данных табл. 5 расход выпускных газов V_{exh} , приведенный к нормальным условиям, в зависимости от которого в табл. 5 устанавливается норма дымности, определяется методом прямых измерений или рассчитывается по формуле, $\text{м}^3/\text{ч}$:

$$V_{exh} = V_B + F_T G_T, \quad (7)$$

где V_B — объемный расход воздуха, приведенный к нормальным атмосферным условиям ($T_0 = 273 \text{ К}$, $p_0 = 101,3 \text{ кПа}$, плотность $1,293 \text{ кг/м}^3$), $\text{м}^3/\text{ч}$;

G_T — часовой расход топлива, кг/ч ;

F_T — коэффициент приведения к нормальным атмосферным условиям расхода неразбавленных продуктов сгорания различных топлив (коэффициент состава топлива), $\text{м}^3/\text{кг}$, принимаемый для «сухого» или «влажного» состояния выпускных газов.

Значения коэффициента F_T приведены в табл. 6.

Таблица 6

Коэффициент состава топлива для различных топлив

Вид топлива	Значение коэффициента состава топлива F_T , $\text{м}^3/\text{кг}$, для состояния выпускных газов	
	«влажного»	«сухого»
Дизельное	0,75	-0,77
Моторное	0,72	-0,74
Мазут	0,69	-0,71
Природный газ	1,33	-1,34

Примечание. В случае применения в судовых двигателях иного жидкого топлива в расчетах допускается использование коэффициента F_T для того указанного в таблице топлива, к вязкости которого близка вязкость применяемого топлива.

Для «влажного» состояния выпускных газов, плотность которых равна $1,293 \text{ кг/м}^3$, V_{exh} рассчитывается по формуле, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$V_{exh} = 0,2148 \cdot 10^{-3} (G_T + G_B). \quad (8)$$

Здесь G_T — часовой расход топлива, рассчитанный по формуле, кг/ч :

$$G_T = b_e P_{e \text{ ном}}; \quad (9)$$

b_e — удельный эффективный расход топлива двигателем для режима номинальной мощности, указываемый в технической документации двигателя, $\text{кг}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$;

$P_{e \text{ ном}}$ — номинальная мощность двигателя, указываемая в технической документации двигателя, кВт ;

G_B — часовой расход воздуха, рассчитанный по формуле (10), кг/ч (в технической документации двигателя обычно указывается секундный расход воздуха), кг/с :

$$G_B = \varphi \alpha L'_0 G_T G_B, \quad (10)$$

где φ — коэффициент продувки ($\varphi = 1,05 - 1,2$);

α — суммарный коэффициент избытка воздуха, минимальное значение которого указывается в технической документации двигателя.

Следует отметить, что значения суммарного коэффициента α зависят от типа смесеобразования:

для двигателей:

- с пленочным смесеобразованием 1,2 – 1,5;
- с объемным смесеобразованием 1,9 – 2,2;
- с объемно-пленочным смесеобразованием 1,7 – 2,0;
- для вихрекамерных дизелей 1,5 – 1,9;
- для предкамерных дизелей 1,3 – 1,6;

L'_0 — стехиометрическое соотношение, количество воздуха, кг, теоретически необходимое для сгорания топлива массой 1 кг (кг/кг). Для дизельного топлива среднего элементарного состава ($C = 0,87$; $H = 0,126$; $O = 0,004$) $L'_0 = 14,33$ кг/кг.

Частный показатель экологической эффективности по предотвращению загрязнения воздушной среды не полностью сгоревшими частицами топлива (сажей) также целесообразно представить в виде функции отношения реального выброса сажи к эталонному значению выброса сажи. Количественной мерой выброса сажистых (твердых) частиц могут быть следующие показатели: удельное содержание выбросов твердых частиц в выпускных (отработавших) газах РМ, г/(кВт·ч); натуральный показатель ослабления светового потока или коэффициент ослабления светового потока в случае измерения дымности дымомером, в котором реализован оптический принцип измерения дымности (типа Hartridge); дымовое число фильтра дымомера, в котором реализован фильтрационный принцип измерения дымности (типа Bosh).

Европейские предписания не регламентируют дымность выпускных (отработавших) газов, как это имеет место в Правилах Российского Речного Регистра, но они устанавливают нормы выбросов частиц РМ, которые не нормируются этими Правилами. Поэтому все зависит от того, возможно ли измерить выбросы частиц, и если нет, то какими приборами измеряется дымность выпускных газов. Если измеряется выброс сажистых частиц, то в качестве эталонного значения выброса сажи следует принимать значения РМ, приведенные ниже, если выброс сажистых частиц оценивается по дымности выпускных (отработавших) газов, то в качестве эталонного значения выброса сажи следует принимать значения натурального показателя ослабления светового потока, коэффициент ослабления светового потока или дымовое число фильтра дымомера определять по табл. 5.

$P_{\text{енорм}}$, кВт	Частицы РМ, г/(кВт·ч)
$37 \leq P_e < 75$	0,4
$75 \leq P_e < 130$	0,3
$130 \leq P_e < 560$	0,2
$P_e \geq 560$	0,2

Отношение выбросов загрязнений в атмосферу является безразмерным параметром, значение которого может быть меньше или равно единице (крайне редко), но может и превышать единицу, что требует шкалирования частных показателей.

Выполненные предварительные исследования позволили рекомендовать следующую методику шкалирования частных показателей экологической эффективности по предотвращению загрязнения воздушной среды выбросами CO , CH , NO_x и РМ. В случае, когда эмиссия e_{CO} , e_{CH} , e_{NO_x} и e_{PM} или показатель дымности D меньше или равны значениям эмиссии $[e_{CO}]$, $[e_{CH}]$, $[e_{NO_x}]$, приведенным

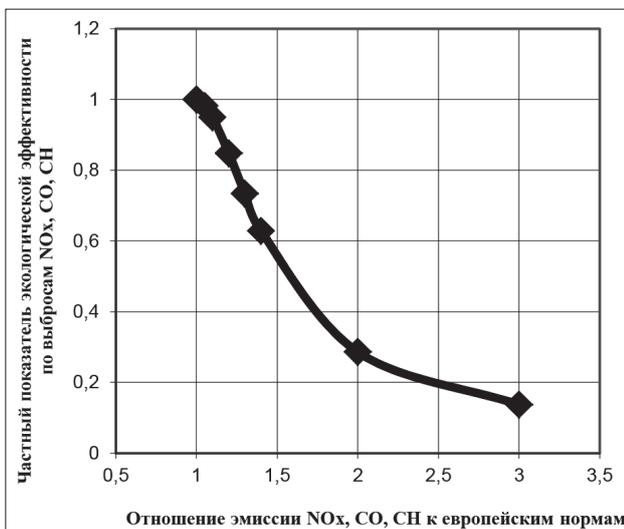


Рис. 1. График для оценки шкалирования $ЧП_{CO}$, $ЧП_{CH}$, $ЧП_{NO_x}$, $ЧП_{дым}$

в табл. 3 и 4, и значению $[e_{PM}]$ или показателя дымности D , приведенным в табл. 5 и ранее в тексте, значения частных показателей $ЧП_{CO}$, $ЧП_{CH}$, $ЧП_{NO_x}$, $ЧП_{дым}$ следует принимать равными единице. В случае, когда эмиссия e_{CO} , e_{CH} , e_{NO_x} и e_{PM} или показатель дымности D больше значений эмиссии $[e_{CO}]$, $[e_{CH}]$, $[e_{NO_x}]$ и $[e_{PM}]$ или показателей дымности D , значения частных показателей $ЧП_{CO}$, $ЧП_{CH}$, $ЧП_{NO_x}$, $ЧП_{дым}$ следует оценивать с помощью графика, приведенного на рис. 1, полученного по результатам обработки данных экспертного опроса.

Аппроксимация графика рис. 1 привела к следующим уравнениям для определения частных показателей экологической эффективности по предотвращению загрязнения воздушной среды при $e/[e] > 1$:

$$\text{ЧП}_{\text{CO}} = 1 / \left\{ 1,005 + 5,193 \left[\ln(e_{\text{CO}} / [e_{\text{CO}}]) \right]^2 \right\}; \quad (11)$$

$$\text{ЧП}_{\text{CH}} = 1 / \left\{ 1,005 + 5,193 \left[\ln(e_{\text{CH}} / [e_{\text{CH}}]) \right]^2 \right\}; \quad (12)$$

$$\text{ЧП}_{\text{NO}_x} = 1 / \left\{ 1,005 + 5,193 \left[\ln(e_{\text{NO}_x} / [e_{\text{NO}_x}]) \right]^2 \right\}; \quad (13)$$

$$\text{ЧП}_{\text{дым}} = 1 / \left\{ 1,005 + 5,193 \left[\ln(e_{\text{PM}} / [e_{\text{PM}}]) \right]^2 \right\}; \quad (14)$$

или

$$\text{ЧП}_{\text{дым}} = 1 / \left\{ 1,005 + 5,193 \left[\ln(D / [D]) \right]^2 \right\}. \quad (15)$$

Комитетом по защите морской среды Международной морской организации на его 59-й сессии (13 – 17 июля 2009 г.) были предложены методики для определения конструктивного показателя энергетической эффективности и индикатора эксплуатационной энергетической эффективности, в которых масса M_{CO_2} , т, выброшенного в атмосферу углекислого газа в результате сжигания топлива на судне определяется по следующей формуле:

$$M_{\text{CO}_2} = \sum_j FC_j C_{Fj}, \quad (16)$$

где FC — проектное значение расхода топлива всеми судовыми потребителями (для конструктивного показателя энергетической эффективности) или расход топлива судном за j -й (FC_j) рейс или период эксплуатации (например, за день) главными и вспомогательными двигателями, котлом и инсинератором (для индекса эксплуатационной энергетической эффективности), т;

C_{Fj} — безразмерный фактор приведения расхода топлива к эмиссии CO_2 (табл. 7).

Фактор приведения расхода топлива к выбросам CO_2 представляет собой коэффициент, различный для разных сортов топлива и зависящий от содержания углерода в топливе. С помощью этого коэффициента реализуется допущение о линейной связи количества сжигаемого топлива с количеством выбрасываемого в атмосферу парникового газа CO_2 , т. е. качество организации горения топлива в цилиндрах двигателей не учитывается (не учитывается, что не весь углерод жидкого или газообразного топлива полностью окисляется кислородом).

Таблица 7

Безразмерный фактор приведения расхода топлива к эмиссии CO_2

Тип топлива	Ссылка	Содержание углерода	$C_F (t - \text{CO}_2/t - \text{Fuel})$
Дизельное топливо (газойль)	ISO 8217 Grades DMX through DMC	0,875	3,206000
Легкое топливо	ISO 8217 Grades RMA through RMD	0,86	3,151040
Тяжелое топливо	ISO 8217 Grades RME through RMK	0,85	3,114400
Сжиженный нефтяной газ	Пропан	0,819	3,000000
	Бутан	0,827	3,030000
Сжиженный природный газ		0,75	2,750000

Частный показателей экологической эффективности по предотвращению загрязнения воздушной среды парниковым газом CO_2 по аналогии с частными показателями ЧП_{CO} , ЧП_{CH} , ЧП_{NO_x} , $\text{ЧП}_{\text{дым}}$ наиболее просто представить в виде функции отношения реального выброса углекисло-

го газа к некоторому эталонному или допустимому выбросу этого газа, наименьшему в данных условиях эксплуатации судна. Поскольку, согласно уравнению (16), в числителе и знаменателе функции отношения реального выброса углекислого газа к эталонному будет использоваться коэффициент C_{Fr} , эту функцию можно заменить функцией отношения реального расхода топлива к его эталонному расходу, или, что более удобно, функцией отношения удельного расхода топлива главного двигателя $b_{eГД}$ к эталонному удельному расходу топлива $[b_{eГД}]$ некоего двигателя той же мощности и частоты вращения, но с минимально возможным на настоящий момент развития двигателестроения расходом топлива, т. е.

$$\text{ЧП}_{\text{ПГ}} = f(b_{eГД} / [b_{eГД}]).$$

Анализ последних публикаций по двигателестроению свидетельствует о том, что можно принимать $b_{eГД} = 180$ г/(кВт·ч). Тогда при $b_{eГД} \leq 180$ г/(кВт·ч), что маловероятно, значение частного показателя $\text{ЧП}_{\text{ПГ}}$ целесообразно принимать равным единице. В противном случае данное значение следует оценивать с помощью графика (рис. 2), полученного по результатам обработки данных экспертного опроса.

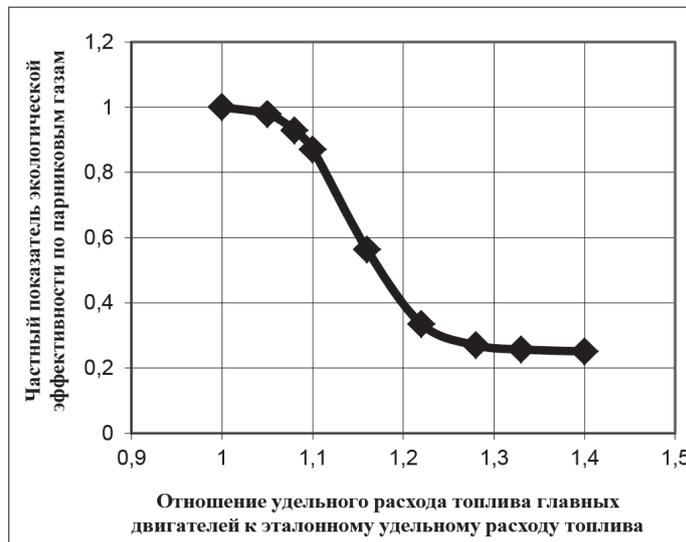


Рис. 2. График для оценки шкалирования $\text{ЧП}_{\text{ПГ}}$

Аппроксимация этого графика позволила получить следующее уравнение для определения частного показателя экологической эффективности по предотвращению загрязнения воздушной среды парниковым газом CO_2 при $x = b_{eГД} / [b_{eГД}] > 1$:

$$\text{ЧП}_{\text{ПГ}} = \frac{0,92069 - 1,21369x^2 + 0,42136x^4}{1 - 1,11637x^2 + 0,00472x^4 + 0,24003x^6}. \quad (17)$$

Анализ графика рис. 2 и уравнения (17) показывает, что при отношении $b_{eГД} / [b_{eГД}]$, изменяющемся в диапазоне от 1 до 1,1, частный показатель $\text{ЧП}_{\text{ПГ}}$ имеет достаточно высокие значения, однако применительно к двигателям, эксплуатирующимся на флоте более 25 лет, например, Г70-5 ($b_{eГД} = 224$ г/(кВт·ч)), значение $\text{ЧП}_{\text{ПГ}}$ составит примерно 0,296. Это низкое значение частного показателя экологической эффективности, несомненно, свидетельствует о том, что метод определения показателя $\text{ЧП}_{\text{ПГ}}$ стимулирует применение на речном флоте более экономичных главных двигателей.

Частный показатель экологической эффективности по предотвращению высоких уровней шума, производимого судном и его техническими средствами. Законодательством Российской Федерации, Правилами Российского Речного Регистра и санитарными правилами уровень шума, производимого судном, не регламентируется. В гл. 8b «Предотвращение загрязнения вод

и ограничение шума, производимого судами» Резолюции № 61 ЕЭК ООН [3] приведены следующие требования:

«8В-8.2 Уровень шума, производимого судном, не должен превышать 75 дБ(А) на расстоянии 25 м от борта судна.

8В-8.3 Без учета погрузочно-разгрузочных работ, уровень шума, производимого судном, стоящим на стоянке, не должен превышать 65 дБ(А) на расстоянии 25 м от борта судна».

Следовательно, европейские предписания относят шум к показателям экологической безопасности, что, собственно, позволяет рассматривать вопрос о включении в число частных показателей экологической эффективности показателя экологической эффективности по предотвращению высоких уровней шума.

Выполненный предварительный анализ позволил представить частный показатель экологической эффективности по предотвращению высоких уровней шума, производимого техническими средствами судна, в виде среднего геометрического шкалированных отношений реального уровня шума Π_{75} на ходу судна к его европейской норме $[\Pi_{75}]$ и шума Π_{65} судна на стоянке к европейской норме $[\Pi_{65}]$, указанным в Резолюции № 61 ЕЭК ООН:

$$\text{ЧП}_{\text{шум}} = \sqrt{\left(\Pi_{75} / [\Pi_{75}]\right)_{\text{шк}} \cdot \left(\Pi_{65} / [\Pi_{65}]\right)_{\text{шк}}} \quad (18)$$

Метод шкалирования отношений $\Pi_{75} / [\Pi_{75}]$ и $\Pi_{65} / [\Pi_{65}]$, по мнению экспертов, не должен отличаться от метода шкалирования частного показателя экологической эффективности по предотвращению загрязнения воздушной среды парниковым газом CO_2 , т. е. если каждое из рассматриваемых отношений оказывается меньше единицы, то шкалированное значение отношения принимается равным единице, противном случае следует использовать график рис. 2 с заменой отношения удельных расходов топлива отношением уровней шума. Тогда при $x_1 = \Pi_{75} / [\Pi_{75}] > 1$ или $x_2 = \Pi_{65} / [\Pi_{65}] > 1$:

$$\left(\Pi_{75} / [\Pi_{75}]\right)_{\text{шк}} = \frac{0,92069 - 1,21369x_1^2 + 0,42136x_1^4}{1 - 1,11637x_1^2 + 0,00472x_1^4 + 0,24003x_1^6}; \quad (19)$$

$$\left(\Pi_{65} / [\Pi_{65}]\right)_{\text{шк}} = \frac{0,92069 - 1,21369x_2^2 + 0,42136x_2^4}{1 - 1,11637x_2^2 + 0,00472x_2^4 + 0,24003x_2^6}. \quad (20)$$

После определения шкалированных значений частных показателей экологической эффективности (свойств подсистем системы «экологическая эффективность судна») рассчитывается интегральный показатель свойств системы — показатель экологической эффективности судна.

Определение показателя экологической эффективности судна. При решении поставленной задачи — создании модели предотвращения загрязнений судном окружающей среды (разработка метода определения показателя экологической эффективности) — системный анализ использовался как основной инструмент структурирования (декомпозиции) рассматриваемой системы «экологическая эффективность судна» и выделения ее подсистем (различных загрязнителей) с целью описания частных показателей экологической эффективности, характеризующих свойства этих подсистем как составных частей системы. Модель самой системы — показатель экологической эффективности — может быть получена путем системного синтеза, т. е. путем интегрирования частных описаний в единую систему с учетом взаимосвязей между выделенными для самостоятельного изучения и описания путем декомпозиции составными частями системы.

Решение задач, подобных рассматриваемой напоминает, в какой-то мере, процедуры векторной оптимизации, при которой выполняется минимизация или максимизация системного (комплексного) критерия, представляющего собой вектор многомерного пространства, составляющими которого являются частные критерии системы. Стратегия построения этого комплексного критерия отражает суть компромисса, заранее принимаемого разработчиком с целью «примирения» отдельных частных критериев. Иначе говоря, все частные критерии $\varphi_i(x)$ тем

или иным способом объединяются в составной критерий $F = f(\varphi_i(x))$, который затем минимизируется или максимизируется.

Итак, с математической точки зрения, решением рассматриваемой задачи (или подобной) может быть вектор многомерного пространства (комплексный критерий полезности), координатами которого являются частные критерии, или, что одно и то же, «свертка» частных критериев, которая может быть осуществлена различными способами. Применительно к данной задаче решением (получением интегрального показателя системы) будет являться «свертка» количественных оценок свойств подсистем (частных показателей), входящих в эту систему.

Оставляя за рамками работы анализ схем и принципов компромисса между частными показателями экологической эффективности, укажем, что принцип справедливой абсолютной уступки приводит к аддитивному интегральному показателю:

$$\Pi_{\text{эк. эф}} = g_1 \text{ЧП}_1 + g_2 \text{ЧП}_2 + \dots + g_k \text{ЧП}_k = \sum_{i=1}^k g_i \text{ЧП}_i. \quad (21)$$

Здесь ЧП_i — шкалированное значение i -го частного показателя экологической эффективности;

$$\sum_{i=1}^k g_i = 1,$$

где $\Pi_{\text{эк. эф}}$ — интегральный показатель экологической эффективности;
 g_i — коэффициент весомости i -го частного показателя.

Объединение частных показателей в аддитивный интегральный показатель типа (21) с использованием коэффициентов весомости имеет недостатки, главными из которых являются:

1) слабая связь коэффициентов весомости с действительной ролью частных показателей в выполнении системой своих функций, если применяются формальные методы определения коэффициентов весомости;

2) трудность отыскания объективного способа нормирования частных показателей для приведения их к безразмерному шкалированному виду;

3) малая чувствительность интегрального показателя к изменениям величины отдельных частных показателей, особенно если их общее число велико; компенсация малой величины одного частного показателя избыточной величиной другого.

Принцип справедливой относительной уступки приводит к мультипликативному интегральному показателю, определяемому с помощью уравнения

$$\Pi_{\text{эк. эф}} = \prod_{i=1}^k \text{ЧП}_i^{g_i} = \text{ЧП}_1^{g_1} \text{ЧП}_2^{g_2} \dots \text{ЧП}_k^{g_k}. \quad (22)$$

Мультипликативный интегральный показатель также имеет серьезные недостатки:

– не компенсирует недостаточно высокое значение одного частного показателя чрезмерно высоким значением другого;

– имеет тенденцию сглаживать уровни частных показателей, поскольку, в соответствии с принципом относительной уступки, абсолютное изменение частного показателя тем больше, чем больше его первоначальное значение;

– образуется путем простого перемножения частных показателей в том случае, если все они имеют одинаковую важность.

Стратегия построения комплексного критерия, реализованная в уравнении (21), в литературе называется *линейной стратегией*, а в уравнении (22) — *конъюнктивной стратегией*.

Конъюнктивная стратегия является более жесткой, чем линейная. Достаточно одному частному шкалированному показателю ЧП_i обратиться в нуль или принять недопустимо малое значение, как это автоматически повлечет за собой браковку рассматриваемой альтернативы.

Помимо указанных стратегий формирования $\Pi_{\text{эк. эф}}$ используют также *альтернативную стратегию*, в которой поощряются варианты, имеющие хотя бы одну сильную сторону (высокое значение одного из частных показателей), и усложненную *конфигурационную стратегию*. Особенность данной стратегии заключается в учете взаимодействий между частными показателями эффективно-

сти. Здесь выбор того или иного частного показателя и его коэффициента весомости в значительной мере зависит от конфигурации (формы построения и взаимосвязи) остальных частных показателей.)

Проанализировав каждую стратегию получения интегрального показателя, проверив на чувствительность и рассмотрев данные стратегии с точки зрения объема и сложности выполнения задачи, специалисты Российского Речного Регистра пришли к выводу о том, что применение при решении поставленной задачи альтернативной и конфигурационной стратегий нецелесообразно, поскольку усложняет процедуру получения физически обоснованных коэффициентов весомости. Применение конъюнктивной стратегии нежелательно вследствие ее жесткости.

В связи с ранее изложенным, в основу предлагаемого метода определения показателя экологической эффективности судна и его составных частей положена линейная стратегия «свертки» частных показателей в аддитивный интегральный показатель, являющийся обобщенной оценкой экологической эффективности рассматриваемого судна.

Непременным условием, нейтрализующим слабые стороны линейной стратегии, является выбор такого метода получения коэффициентов весомости, который позволил бы в максимальной степени учесть объективную роль частных показателей в описании экологической эффективности судна в рассматриваемой модели. Это возможно, если при получении коэффициентов весомости будут в максимальной степени, пусть в опосредствованном виде, реализованы имеющиеся знания и опыт высококвалифицированных специалистов-экспертов.

Оставляя за рамками работы методику подбора экспертов и их опроса, а также согласование и последующую обработку их мнений, укажем, что эксперты ранжировали частные показатели экологической эффективности в следующем порядке:

1) $ЧП_{ПГ}$ — частный показатель экологической эффективности по предотвращению загрязнения воздушной среды углекислым газом CO_2 , ответственным за парниковый эффект;

2) $ЧП_{дым}$ — частный показатель экологической эффективности по предотвращению загрязнения воздушной среды твердыми частицами несгоревшего топлива, что проявляется дымностью выпускных (отработавших) газов;

3) $ЧП_{CO}$ — частный показатель экологической эффективности по предотвращению загрязнения воздушной среды оксидом углерода;

4) $ЧП_{NOx}$ — частный показатель экологической эффективности по предотвращению загрязнения воздушной среды окислами азота (при наличии в системе нейтрализатора NO_x следует принимать $ЧП_{NOx} = 1$);

5) $ЧП_{CH}$ — частный показатель экологической эффективности по предотвращению загрязнения воздушной среды суммарными углеводородами;

6) $ЧП_{CM}$ — частный показатель экологической эффективности по предотвращению загрязнения водной среды сухим мусором;

7) $ЧП_{шум}$ — частный показатель экологической эффективности по предотвращению высоких уровней шума, производимого судном и его техническими средствами;

8) $ЧП_{НВ}$ — частный показатель экологической эффективности по предотвращению загрязнения водной среды нефтесодержащими (ляляльными) водами;

9) $ЧП_{CB}$ — частный показатель экологической эффективности по предотвращению загрязнения водной среды сточными водами;

10) $ЧП_{ТО}$ — частный показатель экологической эффективности по предотвращению загрязнения водной среды твердыми пищевыми отходами.

В результате было установлено следующее соотношение рангов:

$$ЧП_{ПГ} / ЧП_{дым} = 1,05;$$

$$ЧП_{дым} / ЧП_{CO} = 1,03;$$

$$ЧП_{CO} / ЧП_{NOx} = 1,01;$$

$$ЧП_{NOx} / ЧП_{CH} = 1,07;$$

$$ЧП_{CH} / ЧП_{CM} = 1,15;$$

$$ЧП_{CM} / ЧП_{шум} = 1,15;$$

$$\begin{aligned} \text{ЧП}_{\text{шум}} / \text{ЧП}_{\text{НВ}} &= 1,20; \\ \text{ЧП}_{\text{НВ}} / \text{ЧП}_{\text{СВ}} &= 1,08; \\ \text{ЧП}_{\text{СВ}} / \text{ЧП}_{\text{ТО}} &= 1,31. \end{aligned}$$

С использованием установленных экспертами соотношений рангов с помощью специальной компьютерной программы были рассчитаны коэффициенты весомости, в результате чего уравнение «свертки» для определения показателя экологической эффективности приведено к следующему виду:

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{эк.эф}} = & 0,134076\text{ЧП}_{\text{ПГ}} + 0,127692\text{ЧП}_{\text{дым}} + 0,123973\text{ЧП}_{\text{СО}} + 0,122745\text{ЧП}_{\text{NOx}} + \\ & + 0,114715\text{ЧП}_{\text{СН}} + 0,099752\text{ЧП}_{\text{СМ}} + 0,086741\text{ЧП}_{\text{шум}} + 0,072284\text{ЧП}_{\text{НВ}} + \\ & + 0,066930\text{ЧП}_{\text{СВ}} + 0,051091\text{ЧП}_{\text{ТО}}. \end{aligned} \quad (23)$$

Исходя из ранее изложенного, можно сделать вывод о том, что показатель $\Pi_{\text{эк.эф}}$ должен рассчитываться компьютерной моделью системы управления СЭУ при проведении первоначального освидетельствования, а также проведении других освидетельствований для проверки экологической безопасности судна. Предполагается, что при проведении освидетельствований для проведения измерений на судне привлекается группа специалистов с переносным оборудованием для измерения параметров, входящих в частные показатели экологической эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Решняк В. И. Регулирование эксплуатационного и аварийного загрязнения окружающей среды на объектах водного транспорта / В. И. Решняк, З. Юзвяк, А. Г. Щуров // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2013. — № 1. — С. 85–90.
2. Пластинин А. Е. Оценка риска возникновения разливов нефти на внутренних водных путях / А. Е. Пластинин // Наука и техника транспорта. — 2015. — № 1. — С. 39–44.
3. Naumov V. Forecasting the Boundaries of Dangerous Oil Spills in Sea and River Ports Areas / V. Naumov, A. Platinin, A. Dikinis // ICMRP Proceeding. — Singapore, 2015. — Vol. 3. — Pp. 106–111.
4. Пластинин А. Е. Оценка ущерба при разливах нефти на водных объектах / А. Е. Пластинин, В. С Горбунов // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. — 2012. — № 33. — С. 53–59.
5. McCay D. F. Estimation of potential impacts and natural resource damages of oil / D. F. McCay, J. J. Rowe, N. Whittier, S. Sankaranarayanan, D. S. Etkin // Journal of hazardous materials. — 2004. — Vol. 107. — Is. 1. — Pp. 11–25. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2003.11.013.
6. Etkin D. S. Modeling oil spill response and damage costs // Proceedings of the Fifth Biennial Freshwater Spills Symposium. — 2004. — 15 p.
7. Пластинин А. Е. Оценка загрязнения при разливе нефти на водную поверхность / А. Е. Пластинин // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2013. — № 2. — С. 129–135.
8. Пластинин А. Е. Идентификация событий при разливах нефти с судов / А. Е. Пластинин // Речной транспорт (XXI век). — 2016. — № 1 (77). — С. 52–56.
9. Michel J. An Issue Paper Prepared for the 2005 International Oil Spill Conference: Potentially Polluting Wrecks in Marine Waters / J. Michel, T. Gilbert, D. S. Etkin, R. Urban, J. Waldron, C. T. Blocksidge // International oil spill conference. — American Petroleum Institute, 2005. — Vol. 2005. — Is. 1. — Pp. 1–40. DOI: 10.7901/2169-3358-2005-1-1.
10. Пластинин А. Е. Особенности оценки ущерба при разливах нефти на внутренних водных путях / А. Е. Пластинин, А. Н. Каленков // Приволжский научный журнал. — 2011. — № 3. — С. 168–174.
11. Пластинин А. Е. Оценка механического воздействия на окружающую среду при взрывах на танкерах / А. Е. Пластинин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 1 (29). — С. 42–52. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-1-42-52.
12. Endresen Ø. Emission from international sea transportation and environmental impact / Ø. Endresen, E. Sørgård, J. K. Sundet, S. B. Dalsøren, I. S. Isaksen, T. F. Berglen, G. Gravir // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. — 2003. — Vol. 108. — Is. D17. DOI: 10.1029/2002JD002898.
13. Pedersen P. T. Review and application of ship collision and grounding analysis procedures / P. T. Pedersen // Marine Structures. — 2010. — Vol. 23. — Is. 3. — Pp. 241–262. DOI: 10.1016/j.marstruc.2010.05.001.

14. Пластинин А. Е. Оценка размера вреда, причиненного почве, при разливах нефти с судов / А. Е. Пластинин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 3 (31). — С. 74–83. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-3-74-83.

15. Tuovinen J. Statistical analysis of ship collisions (master's thesis) / J. Tuovinen. — Helsinki: Helsinki University of Technology, 2005. — 82 p.

REFERENCES

1. Reshnyak, V. I., Z. Yuzvyak, and A. G. Shchurov. "Regulation of operational and accidental pollution of the environment at the water transport." *Zhurnal Universiteta vodnykh kommunikatsii* 1 (2013): 85–90.

2. Platinin, A. E. "Otsenka riska voznikoveniya razlivov nefiti na vnutrennikh vodnykh putyakh." *Nauka i tekhnika transporta* 1 (2015): 39–44.

3. Naumov, V., A. Platinin, and A. Dikinis. "Forecasting the Boundaries of Dangerous Oil Spills in Sea and River Ports Areas." *ICMRP Proceeding*. Singapore, 2015. Vol. 3. 106–111.

4. Platinin, A. E., and V. S. Gorbunov. "Damage assessment for oil spill in water bodies." *Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta* 33 (2012): 53–59.

5. McCay, Deborah French, Jill Jennings Rowe, Nicole Whittier, Sankar Sankaranarayanan, and Dagmar Schmidt Etkin. "Estimation of potential impacts and natural resource damages of oil." *Journal of hazardous materials* 107.1 (2004): 11–25. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2003.11.013.

6. Etkin, Dagmar Schmidt. "Modeling oil spill response and damage costs." *Proceedings of the Fifth Biennial Freshwater Spills Symposium*. 2004.

7. Platinin, A. E. "The pollution estimation in case of oil spillage on the water surface." *Zhurnal Universiteta vodnykh kommunikatsii* 2 (2013): 129–135.

8. Platinin, A. E. "Identifikatsiya sobytii pri razlivakh nefiti s sudov." *Rechnoi transport (XXI vek)* 1(77) (2016): 52–56.

9. Michel, Jacqueline, Trevor Gilbert, Dagmar Schmidt Etkin, Robert Urban, Jon Waldron, and Charles T. Blocksidge. "An Issue Paper Prepared for the 2005 International Oil Spill Conference: Potentially Polluting Wrecks in Marine Waters." *International oil spill conference*. Vol. 2005. No. 1. American Petroleum Institute, 2005. 1–40.

10. Platinin, Andrey Evgen'evich, and Alexander Nikolaevich Kalenkov. "Features of damage estimation at oil spillages on inland waterways." *Privolzhsky Scientific Journal* 3 (2011): 168–174.

11. Platinin, A. E. "Assessment of mechanical impact on environment at explosions on tankers." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 1(29) (2015): 42–52. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-1-42-52.

12. Endresen, Øyvind, E. Sørgård, J. K. Sundet, S. B. Dalsøren, I. S. Isaksen, T. F. Berglen, and G. Gravir. "Emission from international sea transportation and environmental impact." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 108.D17 (2003). DOI: 10.1029/2002JD002898.

13. Pedersen, P. Terndrup. "Review and application of ship collision and grounding analysis procedures." *Marine Structures* 23.3 (2010): 241–262. DOI: 10.1016/j.marstruc.2010.05.001.

14. Platinin, A. E. "Assessment of the extent of harm to the soil at oil spills from vessels." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 3(31) (2015): 74–83. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-3-74-83.

15. Tuovinen, J. *Statistical analysis of ship collisions (master's thesis)*. Helsinki: Helsinki University of Technology, 2005.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Соловьёв Алексей Валерьевич — кандидат технических наук, заместитель директора ФАУ «Российский Речной Регистр» Верхне-Волжский филиал Российского Речного Регистра 603001, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, ул. Рождественская, 38в
e-mail: solovev@rivregnn.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Soloviev, Alexey V. — PhD, deputy director The Federal Autonomous Institute Russian River Register Upper Volga Branch-Office 38v Rozhdestvenskaya Str., Nizhniy Novgorod, 603001, Russian Federation
e-mail: solovev@rivregnn.ru

Статья поступила в редакцию 9 марта 2017 г.
Received: March 9, 2017.