

УДК 504.45.054: 665.6

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СУДНА ВНУТРЕННЕГО ПЛАВАНИЯ

Наумов Виктор Степанович¹, профессор, д.т.н., зав. каф. ООС и ПБ

e-mail: nauvs@mail.ru

Морозова Анастасия Владимировна¹, аспирант

e-mail: morozova.nastja@yandex.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены основные подходы к оценке экологической безопасности судов, используемые в отечественной и зарубежной научной и нормативной практике. Показано, что существующие показатели в большинстве случаев характеризуют либо отдельные виды воздействия судна на окружающую среду, либо отдельные стадии его жизненного цикла, что затрудняет получение единой сопоставимой оценки. На этой основе предложен интегральный показатель экологической безопасности судна внутреннего плавания, основанный на стоимостной оценке экологического ущерба на этапах постройки, эксплуатации и утилизации, его приведении к удельной форме и нормировании в виде экологического индекса.

Ключевые слова: экологическая безопасность судна, жизненный цикл судна, внутренний водный транспорт, экологический ущерб, интегральный показатель, экологический индекс, утилизация судов.

AN INTEGRAL INDICATOR OF THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF AN INLAND NAVIGATION VESSEL

Victor S. Naumov¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of the Environmental Protection and Industrial Safety

e-mail: nauvs@mail.ru

Anastasia V. Morozova¹, Postgraduate student

e-mail: morozova.nastja@yandex.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article discusses the main approaches to assessing the environmental safety of ships used in domestic and foreign scientific and regulatory practice. It is shown that the existing indicators in most cases characterize either individual types of ship's environmental impact or individual stages of its life cycle, which makes it difficult to obtain a single comparable assessment. On this basis, an integral indicator of the environmental safety of an inland navigation vessel is proposed, based on a cost assessment of environmental damage at the stages of construction, operation and disposal, its reduction to a specific form and normalization in the form of an environmental index.

Keywords: environmental safety of a vessel, life cycle of a vessel, inland waterway transport, environmental damage, integral indicator, environmental index, ship recycling.

Развитие внутреннего водного транспорта связано не только с решением эксплуатационных и экономических задач, но и с необходимостью обеспечения экологической безопасности судов на всех стадиях их жизненного цикла. Современные экологические требования к флоту охватывают не только предотвращение загрязнения водной среды в период эксплуатации, но и оценку выбросов, образование отходов, энергетическую эффективность, последствия модернизации и утилизации, а также сопоставление проектных решений по суммарному воздействию на окружающую среду [1, 3, 6]. Поэтому использование только частных экологических показателей уже не позволяет получить целостную характеристику экологической безопасности судна внутреннего плавания.

В отечественных исследованиях экологическая безопасность водного транспорта обычно описывается через систему показателей, отражающих воздействие судна на атмосферу, водные объекты, почвы, а также риски, связанные с образованием отходов и организацией природоохранной деятельности [1]. Такой подход важен для структурирования экологических аспектов судоходства, однако даже достаточно полная система частных показателей ещё не даёт интегральной оценки, пригодной для сравнения различных проектов судов [1].

Существенный вклад в развитие методов оценки экологической эффективности флота внесли работы, посвящённые повышению экологичности работы судов внутреннего и смешанного плавания. В них рассматриваются технические меры снижения негативного воздействия и показатели, по которым может оцениваться экологичность эксплуатации: уровень выбросов, объём стоков, автономность плавания по условиям экологической безопасности и оснащённость судна природоохранным оборудованием [2]. Однако в большинстве таких исследований акцент сделан преимущественно на эксплуатационной стадии, тогда как современная экологическая оценка требует учёта всего жизненного цикла судна [2, 3].

В последние годы всё более отчётливо проявляется переход к анализу судна как объекта полного жизненного цикла. В отечественных публикациях и материалах международных форумов жизненный цикл судна рассматривается как последовательность стадий проектирования, постройки, эксплуатации, модернизации и утилизации [3]. При этом показано, что на разных стадиях доминируют различные факторы воздействия: на этапах строительства и утилизации важны материалоемкость конструкции, объёмы отходов и технологии демонтажа, тогда как на этапе эксплуатации основное значение приобретают топливопотребление, выбросы загрязняющих веществ и образование сточных вод [3].

Особую значимость в этой связи приобретают исследования, выполненные в логике LCA (Life Cycle Assessment). Работы, посвящённые экологической оценке судов с позиций жизненного цикла, показывают, что наиболее корректное сравнение возможно только при включении в анализ всех основных стадий существования объекта и использовании единой системы показателей воздействия [4-6]. Это формирует методическую основу для перехода от совокупности частных экологических параметров к интегральной оценке экологической безопасности судна

В связи с этим разработка интегрального показателя экологической безопасности судна внутреннего плавания представляется актуальной научной и прикладной задачей. Такой показатель должен не подменять собой существующие частные критерии, а объединять их результаты в единой оценочной системе, пригодной для экологического анализа, классификации судов, обоснования проектных решений и последующего



совершенствования экологической маркировки флота. Именно эта задача и определяет направление настоящего исследования.

В предыдущих работах [9, 10] были проведены исследования и выполнен расчёт размера вреда атмосферному воздуху, водным объектам и почвам на этапах постройки, эксплуатации и утилизации судна проекта RSD59. Принципиально важно, что результаты этих расчётов выражены в единой стоимостной форме, а значит, могут использоваться как база для дальнейшего интегрирования. Именно это обстоятельство позволяет сделать переход от набора частных расчётных значений к единому показателю экологической безопасности судна.

Логика построения интегрального показателя в настоящей работе основывается на следующей последовательности. Сначала по отдельным этапам жизненного цикла определяются значения вреда соответствующим компонентам природной среды. Затем эти значения суммируются в рамках общего экологического ущерба по жизненному циклу судна. После этого выполняется переход от абсолютного значения к удельной характеристике, обеспечивающей сопоставимость судов различного масштаба. На заключительном этапе вводится нормированная форма представления результата — экологический индекс, пригодный для классификации и ранжирования судов.

Таблица 1. Значения ущерба компонентам окружающей среды на каждом этапе ЖЦ судна, тыс.руб./год

Этап ЖЦ судна Компонент природной среды	Постройка	Эксплуатация	Утилизация
Атмосфера	3880,81	16513,65	138,47
Гидросфера	1432,01	32,719	72729,36
Литосфера	11233,49	261,36	47412,91
Суммарный ущерб этапа	16546,31	16807,73	120280,74
Ущерб за весь ЖЦ	153634,78		

Суммарный экологический ущерб на каждом этапе жизненного цикла определяется по выражению:

$$U_j^{\Sigma} = U_{a,j} + U_{w,j} + U_{s,j} \quad (1)$$

где U_j^{Σ} — суммарный экологический ущерб на j-м этапе жизненного цикла, тыс. руб.;

$U_{a,j}$ — ущерб атмосферному воздуху, тыс. руб.;

$U_{w,j}$ — ущерб водным объектам, тыс. руб.;

$U_{s,j}$ — ущерб почвам, тыс. руб.

Суммарный ущерб за весь жизненный цикл судна равен:

$$U_{\text{ЖЦ}}^{\Sigma} = U_{\text{постр}}^{\Sigma} + U_{\text{экспл}}^{\Sigma} + U_{\text{утил}}^{\Sigma} \quad (2)$$

Для определения долевой составляющей каждого этапа, можно воспользоваться формулой:

$$\delta_j = \frac{U_j^{\Sigma}}{U_{\text{ЖЦ}}^{\Sigma}} \quad (3)$$

Так же целесообразно разработать для дальнейшего использования в расчетах удельного показателя ущерба. Для этого воспользуемся исходными данными судна-прототипа RSD59 и в качестве нормирующего показателя примем дедвейт судна равный 5112 т.

Удельный ущерб по этапам жизненного цикла судна составит:

$$\gamma_j = \frac{U_j^{\Sigma}}{D} \quad (4)$$

где D – дедвейт судна, т;

γ_j – удельный ущерб на j – м этапе жизненного цикла судна, тыс.руб./т.

Таблица 2. Значение удельного ущерба на каждом этапе ЖЦ судна

	Постройка	Эксплуатация	Утилизация	За весь ЖЦ
Суммарный ущерб, тыс.руб.	16546,31	16807,73	120280,74	153634,78
Доля этапа, %	10,77	10,94	78,29	100,00
Удельный ущерб, тыс.руб./	3,24	3,29	23,53	30,05

Анализ результатов показывает, что близость суммарных значений ущерба на этапах постройки и эксплуатации не означает их одинаковой экологической природы. На этапе постройки основной вклад связан с ущербом почвам вследствие образования и размещения отходов, тогда как на этапе эксплуатации определяющим фактором выступает ущерб атмосферному воздуху, обусловленный выбросами от работы главных и вспомогательных энергетических установок. В свою очередь, этап утилизации характеризуется максимальным вкладом в суммарный экологический ущерб за счет высоких значений вреда водным объектам и почвам, что определяет его доминирующее положение в структуре жизненного цикла.

Таким образом, в качестве интегрального показателя экологической безопасности судна можно использовать удельный совокупный ущерб за жизненный цикл.

Содержательно значение данного показателя отражает совокупный экологический ущерб, приходящийся на одну тонну дедвейта судна за весь его жизненный цикл.

Следовательно, разработанный интегральный показатель экологической безопасности позволяет, с одной стороны, количественно оценить совокупную экологическую нагрузку судна за весь жизненный цикл, а с другой — определить этап, в наибольшей степени влияющий на итоговый уровень экологической опасности. Это создает основу для последующего сравнительного анализа судов разных проектов и для обоснования природоохранных и проектных решений, направленных на снижение суммарного экологического ущерба на протяжении всего жизненного цикла.

Вывод

Проведённый анализ показал, что существующие подходы к оценке экологической безопасности судов ориентированы преимущественно либо на отдельные виды

воздействия, либо на отдельные стадии жизненного цикла, что затрудняет получение единой сопоставимой характеристики судна. В работе обосновано использование в качестве интегрального показателя экологической безопасности судна внутреннего плавания удельного совокупного экологического ущерба за жизненный цикл, определяемого на основе стоимостной оценки вреда атмосферному воздуху, водным объектам и почвам на этапах постройки, эксплуатации и утилизации. На примере судна проекта RSD59 установлено, что наибольший вклад в суммарный экологический ущерб вносит этап утилизации, тогда как этапы постройки и эксплуатации имеют сопоставимые по величине, но различные по природе воздействия. Предложенный показатель может быть использован для количественного сравнения судов разных проектов, их ранжирования по уровню экологической безопасности и обоснования природоохранных и проектных решений с учётом полного жизненного цикла.

Список литературы:

1. Каминский, В. Ю. Показатели экологической безопасности водного транспорта / В. Ю. Каминский, Д. А. Скороходов, С. Н. Турусов // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – № 3-1(53). – С. 161-170. – DOI 10.37220/MIT.2021.53.3.019. – EDN FZOTXN.
2. Ребрушкин, М. Н. Повышение экологичности работы транспортных судов внутреннего и смешанного плавания / М. Н. Ребрушкин, С. А. Васильев, Г. Пачурин // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 2. – С. 207. – EDN OXCMWL.
3. Наумов, В. С. Состояние проблемы оценки жизненного цикла судов / В. С. Наумов, А. В. Морозова // Транспорт. Горизонты развития : Труды 3-го Международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород, 14–16 июня 2023 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2023. – С. 52. – EDN HINGTF.
4. Roux M. Environmental Life Cycle Assessment of Alternative Maritime Fuels. Kgs. Lyngby: Technical University of Denmark, 2025. 214 p.
5. Ventikos, Nikolaos. Assessing Environmental Impacts of Ships from a Life Cycle Perspective. [Electronic resource]. – URL: https://www.academia.edu/17083877/Assessing_Environmental_Impacts_of_Ships_from_a_Life_Cycle_Perspective (accessed: 27.05.2026).
6. Measures to reduce pollution from inland vessels and mitigate the impact of inland navigation on the environment [Electronic resource] // UNECE SC.3/WP.3 documents. – 2022. – URL: https://unece.org/sites/default/files/2022-02/ECE-TRANS-SC.3-WP.3-2022-02r_1.pdf (accessed: 27.05.2026).
7. Забалуева, А. И. Пути повышения экологической безопасности судоходства: обзор / А. И. Забалуева // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 9(60). – С. 1. – EDN YJLXEK.
8. Книжников А. Ю., Пахалов А. М., Шварц Е. А., Шувалова Т. В. Судоходство в Российской Арктике: экологическая безопасность и корпоративная ответственность [Электронный ресурс] // Экология и промышленность России. – 2024. – Т. 54, № 6. – С. 43–58. – URL: <https://ecotrends.ru/index.php/eco/article/view/4792> (дата обращения: 27.05.2026)
9. Наумов, В. С. Идентификация экологических аспектов при постройке судна / В. С. Наумов, А. В. Морозова // Каспийский научный журнал. – 2024. – № 2(3). – С. 9-17. – EDN KUAVVL.
10. Наумов, В. С. Оценка влияния на окружающую среду при эксплуатации судна / В. С. Наумов, А. В. Морозова, Е. Ю. Чебан // Морские интеллектуальные технологии. – 2025. – № 3-3(69). – С. 47-54. – DOI 10.37220/MIT.2025.693.054. – EDN IFSKAR.

