

Ограничительные факторы в оценке энергоэффективности судов-толкачей большегрузных составов во внутреннем плавании

Суворов П.С.¹, Тарасенко Т.В.², Залож В.И.³
Дунайская Комиссия, Будапешт, Венгрия¹
Дунайский институт НУ «ОМА», Измаил, Украина^{2,3}
pjotr.suvorov@danubecommission.org¹, sergeysunnysat@gmail.com²,
zalogh@ukr.net³

Restrictive factors in the evaluation of the inland pushers' energy efficiency with heavy convoys

Suvorov P.¹, Tarasenko T.², Zalozh V.³
Danube Commission, Budapest, Hungary¹
Danube Institute of NU "Odessa Maritime Academy", Izmail, Ukraine^{2,3}
pjotr.suvorov@danubecommission.org¹, sergeysunnysat@gmail.com²,
zalogh@ukr.net³

Резюме – Рассмотрена оценка энергоэффективности судов внутреннего плавания с использованием различных подходов к одиночным судам и к судам-толкачам большегрузных составов. Проанализированы данные систематических испытаний судов-толкачей и полученных для них значений индексов энергоэффективности.

Abstract – The issues of energy efficiency assessment for inland navigation vessels and focus on the need to implement different approaches in this context in relation to single vessels against pushers with heavy convoys are considered. The analyses were made for the data of systematic testing of ships and the values of energy efficiency indicators obtained for them according to the methodology applied by IMO for ships in international maritime shipping.

DOI: 10.31653/1819-3293-2020-1-26-94-109

Оценка суммарной (годовой) энергоэффективности судна (или судов) внутреннего плавания на базе общей по смыслу для всех видов транспорта модели, рекомендованной Европейской Экономической Комиссией ООН (ЕЭК ООН, *UNESE*) *For FITS*, предполагает применение показателей:

суммарное потребление топлива за год эксплуатации, т/год;

общие затраты на топливо в год, €/год;

количество перевезенного груза за год эксплуатации, т/год;

себестоимость перевозки груза тонны груза, *SCE (Specific Cost Efficiency)*, €/т;

индекс энергоэффективности *EEl*, $г_{CO_2}/(т \cdot км)$, в виде аналогичного операционного индекса *IMO*, т.е. в виде удельной массы вредных выбросов, приведённых к CO_2 , на единицу транспортной работы (тонно-километр, т·км).

Как отмечалось в [1], для одиночных самоходных судов внутреннего плавания, выполняющих стабильные рейсы, можно добиться корректного применения индекса энергоэффективности *EEl*. В то же время, учитывая, что основной объем перевозок по Дунаю осуществляется большегрузными до 15 тыс. т составами, такой подход для судов-толкачей в составе каравана (6 ... 9 единиц самоходных барж), может быть принят только как рамочный с учетом ряда специфических факторов влияния.

Фактор 1: влияние навигационных условий и формы построения состава. Проведенные специальные исследования [2; 4] применения известных методик ИМО к оценке индекса энергоэффективности судов неизбежно сталкиваются с необходимостью принципиального учета проблем, характерных для всех ВВП Европы, прежде всего с высокой чувствительностью к изменению климатических условий, особенно в периоды летне-осеннего мелководья, когда пропускная способность судоходного пути на критических участках реки существенно ухудшается.

Одиночные самоходные суда даже со значительными габаритами (например, «большое европейское судно»: 135 м × 11,4 м) в значительно меньшей степени ощущают такое влияние, в то время как работа толкаемыми составами имеет ряд существенных отличий, связанных с гидродинамическими характеристиками движения состава в стесненном фарватере в условиях постоянно изменяющейся ограниченной глубины со снижением скорости, а также при переформировании (рекомендованном согласно классу водного пути или вынужденного по текущим условиям) составов [1].

В этом контексте движение толкаемого состава следует рассматривать как набор чередующихся производительных и непроизводительных этапов. Суть такого разделения заключается в том, что переформирование состава из-за изменения класса водного пути или применения технологии проводки через критические участки связано со следующими действиями:

- остановка движения всего состава;
- расформирование состава;
- буксировка входящих в состав единиц партиями в меньшем количестве на некоторое расстояние (проводка);
- возвращение толкача за следующей партией плав единиц;
- формирование состава.

В общем случае каждый рейс судна-толкача с толкаемым составом (караваном) несамостоятельных единиц флота может рассматриваться как совокупность указанных этапов (табл. 1). При этом каждый рейс имеет свои особенности, и каждый этап по длительности в процентном отношении ко времени полного рейса варьируется в зависимости от массо-габаритных характеристик барж, входящих в состав каравана, и текущих навигационных условий. Тем не менее, можно оценить наиболее характерное, осредненное распределение этапов, которое и приведено в табл. 1.

Таблица 1

Этапы типового рейса судна-толкача с большегрузным речным составом на дистанции 1460 км

№ п/п	Описание этапа	Транспортная работа $A_{\text{тp}}$, т·км	Удельный эффективный расход топлива b_{ei} , кг/(кВт·ч)	Индекс EEI_b , $\text{гCO}_2/(\text{т}\cdot\text{км})$	Доля в рейсе, %
1	Движение каравана в полном составе	$A_{\text{тp}i} \rightarrow \max$	$b_{\text{ei}} \rightarrow \max$	$EEI_i \rightarrow \min$	65 ... 75
2	Остановка движения	$A_{\text{тp}i} = 0$	$b_{\text{ei}} = 0$	–	2 ... 4
3	Проводка части состава	$0 < A_{\text{тp}i} < \max$	$0 < b_{\text{ei}} < \max$	$0 > EEI_i > \min$	10 ... 15
4	Маневрирование одиночного толкача	$A_{\text{тp}i} \rightarrow 0$	$0 < b_{\text{ei}} < \max$	$EEI_i \rightarrow \max$	2 ... 4

Таким образом, очевидно, что в различных навигационных условиях 35 ... 25 % рейса большегрузного каравана транспортная работа

не выполняется. В то же время периоды движения толкача с толкаемым составом отличаются большей энергоэффективностью по сравнению с одиночными самоходными судами, выполняющими при этом меньшую транспортную работу, оцениваемую в тонно-километрах.

Приведенное распределение этапов характерно для любого состава, вне зависимости, рассматривается ли состав из условно стандартизованных по характеристикам барж или же из реальных барж существующего европейского парка. В то же время в пределах рекомендованных габаритов для каждого класса дистанции реки при постоянной массе состава оптимизацией построения состава из реальных барж в текущих условиях достигается повышение энергоэффективности на 5 ... 7 % [2].

Данный вывод получен на основании результатов проведенных систематических испытаний составов с типовым толкачом типа «Запорожье» на одном участке с постоянным отношением глубины к осадке $H/T > 2,75$ при изменении массы состава и при изменении формы его построения [2] (рис. 1).

Высокая чувствительность гидродинамических характеристик движения состава к изменению глубины (снижение глубины под килем) и ширины судового хода являются наиболее значимыми и подчас критичными, особенно в условиях так называемой летне-осенней межени, начало которой обычно приходится на ВВП Европы на конец июля, хотя и не имеет явной цикличности и длительности. Вследствие резкого падения уровней параметры судового хода, его пропускная способность не только на участках свободного течения, но и на зарегулированных участках, значительно ухудшаются.

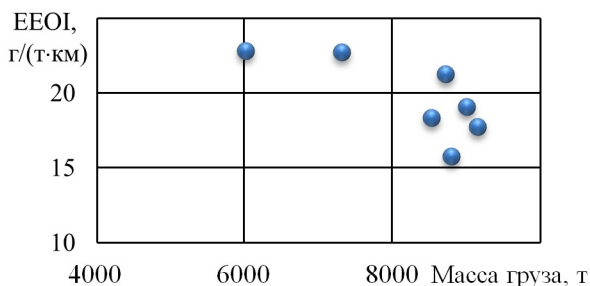


Рис. 1. Индексы энергоэффективности составов с толкачом типа «Запорожье» при различных массах и вариантах построения состава для участка движения с постоянным отношением H/T

Это особенно характерно для Дуная, где фактически не завершено планируемое еще в 80-х годах прошлого столетия создание развитой системы гидроузлов, тем самым практическое приведение реки к полному зарегулированию для обеспечения перспективной проходной осадки судов в 2,5 м с обеспеченностью 90 %. Реально имеет место появление критических участков не только на участках свободного течения, но и на зарегулированных участках Верхнего Дуная.

Для реки Дунай можно определить около 25 характерных участков сочетания глубоких по отношению к перспективной осадке 2,5 м и стабильно мелководных с перекатами, возникающими в периоды летне-осеннего мелководья.

Поскольку у водомерных постов на Дунае отметка абсолютного значения "0" в метрах не является линейной величиной (рейки расположены на разной высоте над уровнем моря, причем за точку отсчета берутся уровни разных морей), то в качестве точки отсчета для каждого водомерного поста применяется его специфический уровень: «низкий судоходный и регуляционный уровень» НСРУ (показатель уровней воды за последние 30 лет с обеспеченностью 94 %).

Суммарная продолжительность стояния уровней воды ниже отметок НСРУ как показателя продолжительности критического мелководья на постах Верхнего и Среднего Дуная, например, в 2018 г., согласно систематическим наблюдениям последних 15 лет, оказалась наибольшей из аналогичных показателей предыдущих периодов (табл. 2), [3].

Таблица 2

Количество суток в годах, когда уровни на основных водомерных постах были ниже отметок НСРУ

Водомерный пост / км	2018	2015	2011	2003
Пфеллинг / 2305,53	149	107	51	94
Девин / 1879,80	83	66	37	104
Будапешт / 1646,50	91	60	29	76
Бездан / 1425,59	102	53	37	88
Калафат / 795,00	114	118	89	119
Кэлэраши / 370	82	75	42	102

Кроме того, в периоды критического мелководья на отдельных участках, появляются особые перекаты, играющие в дальнейшем роль "затвора" для движения флота, где требуются расформирование кара-

вана и специальные проводки (табл. 1, этапы 3 и 4). По этой причине для продолжения движения требуется применение технологии паузки с целью уменьшения общей массы состава и, соответственно, обеспечения проходной осадки (рис. 2), [3].

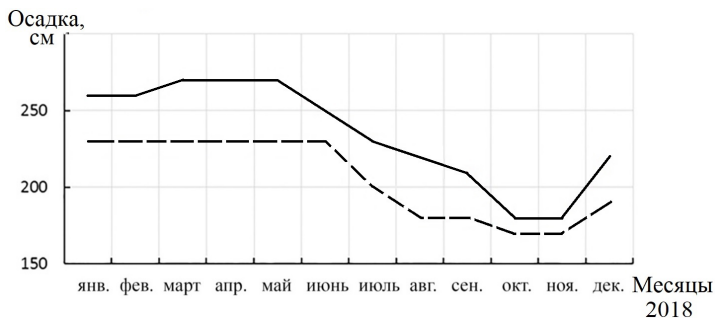


Рис. 2. Текущее обеспечение проходных осадок для барж в составе для прохода критических перекатов в навигацию 2018 г.: ———— — вверх по течению; - - - - - — вниз по течению

Известно, что уменьшение глубины фарватера влияет на все составляющие полного сопротивления воды движению состава. В основном увеличивается волновое сопротивление вследствие зависимости свойств волнового движения жидкости от глубины, возрастают скорости обтекания вдоль внешней границы пограничного слоя всего состава и увеличиваются вязкостные составляющие сопротивления. При этом, текущее значение индекса энергоэффективности EEI зависит в большей степени от скорости состава и его массы. Также следует учитывать изменение удельного расхода топлива из-за перехода работы главных двигателей на частичный режим.

Как показали исследования работы составов в периоды критического мелководья [5], влияние отношения H/T на величину EEI для караванов начинается со значений ниже $H/T = 2,75$, а при $1,2 < H/T < 1,5$ графическое изменение индекса EEI происходит практически вертикально. При подходе к мелководным участкам скорость состава намеренно снижается прежде всего во избежание скоростного проседания кормы. В последнем случае пределы намеренного снижения скорости движения определяются условием сохранения управляемости состава.

Этот фактор несоответствия исходных условий для оценки энергоэффективности, когда определяющими становятся критерии безопасности судоходства, можно определить как определяющий.

Фактор 2: обеспечение рационального режима работы главных двигателей.

На рис. 3 показаны результаты испытаний [4] каравана с осадкой 2,5 м самоходного судна-толкача с одной баржей (состав с теплоходом типа «Капитан Антипов», двигатели MWM TBD-349-6K, 2×772 кВт) и в караване, составленном из типовых барж при различных отношениях H/T .

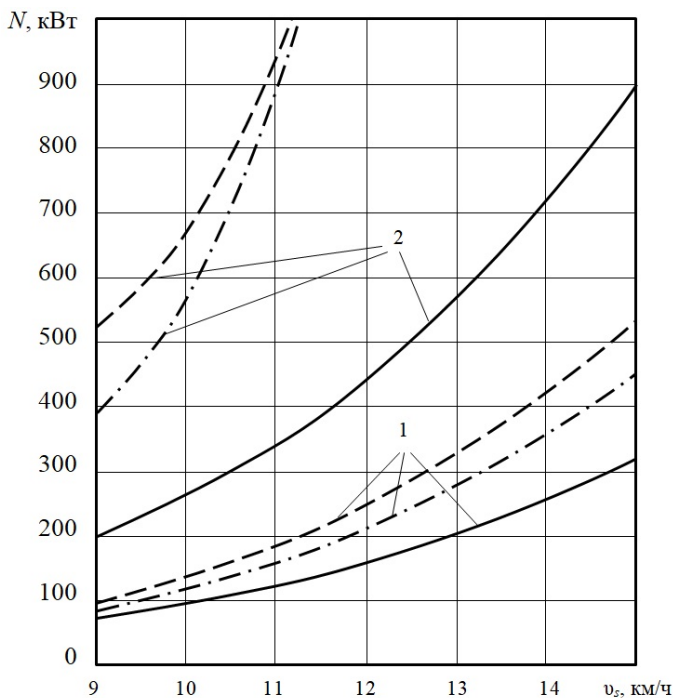


Рис. 3. Характеристики самоходного судна-толкача при различных отношениях H/T : 1 – с одной баржей; 2 – в составе каравана типовых барж; — $H/T = 4$ (глубокая вода); - · - · - $H/d = 1,6$; - - - $H/d = 1,35$; N – мощность, вырабатываемая главным двигателем; v_s – скорость состава

При малых глубинах при достижении определенного значения скорости ее дальнейшее незначительное увеличение для обеспечения безопасного управления составом вызывает значительное увеличение сопротивления движению судна и, соответственно, мощности двигателя, что сопровождается ростом энергетических затрат.

Кроме работы в условиях температурных и механических перегрузок, движение на мелководных участках приводит к существенному росту расхода топлива (рис. 4).

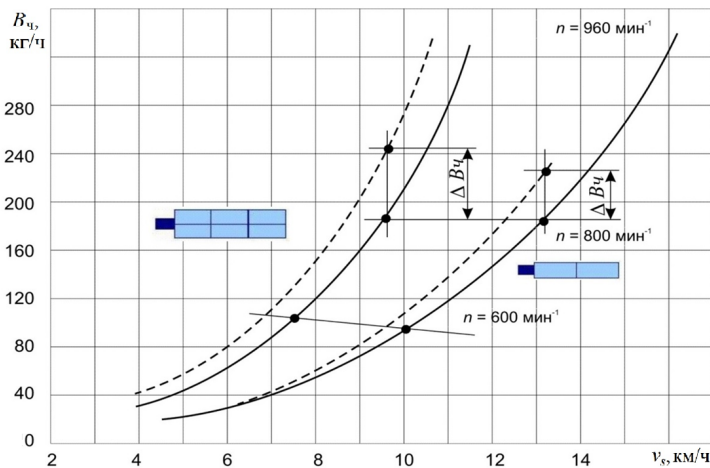


Рис. 4. Изменение расхода топлива главных двигателей толкачей типа «Запорожье» при разных формах составов и при выходе на мелководные участки [2]: $B_{ч}$ – часовой расход топлива; v_c – скорость состава

Соответственно, работа двигателей должна обеспечиваться в зоне допустимых режимов без выхода на ограничительную характеристику.

Указанный фактор влияния на оценку энергоэффективности также необходимо считать определяющим.

Минимальный суммарный расход топлива B на расчетном участке пути, состоящем из x_i характерных участков при заданном времени рейса T_v

$$\begin{aligned}
 B_{min} &= y = f_b(x_1; x_2; x_3; \dots x_i); \\
 f_b(x_1; x_2; x_3; \dots x_i) &< T_v; \\
 n_{min} &< n_i < n_{max}; \\
 f_b(x_1; x_2; x_3; \dots x_i) &> 0,
 \end{aligned}$$

где $f_b(x_1; x_2; x_3; \dots x_i)$ – функционал расхода топлива от частоты вращения.

Форма функционала определяется на базе систематических испытаний типовых составов и вычисления доверительных интервалов скоростей движения [2, 4].

Так как рельеф дна (продольный профиль) фарватера во внутреннем судоходстве, как правило, представляет собой сложную и переменчивую в течение года зависимость, то для корректного определения значений индекса энергоэффективности на данных участках необходимо достоверное определение спектра значений эффективной мощности и удельного эффективного расхода топлива как основных параметров работы судовой силовой установки.

Как показывают исследования [5] достоверный результат может быть получен при корректном применении трехэтапного алгоритма синхронизации данных мониторинга рабочего процесса судового ДВС.

Фактор 3: снижение вредных выбросов в атмосферу. С середины 90-х годов на ВВП Европы обострилась проблема снижения не только CO₂, но и других вредных выбросов в выпускных газах судовых двигателей (CO, HC, NO_x, PM), что значительно усложнило исследования в поисках рациональных технологий управления энергоэффективностью.

В 2016 г. была принята Директива Европейского Парламента и Совета 2016/16280, устанавливающая новые параметры ограничений уровня вредных выбросов типа CO, HC, NO_x, PM в выпускных газах судовых двигателей согласно Фазе V. Директива вступила в силу с 1 января 2019 г. для главных и вспомогательных двигателей мощностью менее 300 кВт, а с 1 января 2020 г. для двигателей мощностью более 300 кВт (табл. 3).

Тем самым, вышеуказанные факторы оценки энергоэффективности следует дополнить дополнительным требованием: обеспечение нормативного уровня вредных выбросов CO, HC, NO_x, PM.

Для снижения уровня выбросов CO, HC, NO_x, PM предлагается ряд технологий, из которых наиболее эффективной признано использование альтернативных видов топлива, включая сжиженный природный газ (LNG), а также внедрение систем очистки газов на выпуске с использованием устройств дизельных катализаторов окисления (DOC, Diesel Oxidation Catalyst) для снижения выбросов HC и CO, сажевого фильтра (DPF, Diesel Particle Filter) для уменьшения выбросов частиц PM, избирательное каталитическое восстановление (SCR, Selective Catalytic Reduction) для снижения оксидов азота NO_x и система перепуска (EGR, Exhaust Gas Recirculation) (рис. 5) [6].

Таблица 3

Ограничения количества вредных выбросов (Фаза V)

Категория двигателей	Мощность, кВт	Год начала ограничения	CO, г/(кВт·ч)	HC, г/(кВт·ч)	NO _x , г/(кВт·ч)	PM, г/(кВт·ч)	PN, ед./(кВт·ч)
Главные и вспомогательные двигатели судов внутреннего плавания	19 ... 75	2019	5	(HC+NO _x) ≤ 4,70		0,3	–
	75 ... 130	2019	5	(HC+NO _x) ≤ 5,40		0,14	–
	130 ... 300	2019	3,5	1,0	2,1	0,1	–
	≥ 300	2020	3,5	0,19	1,8	0,015	1×10 ¹²

Основной проблемой при внедрении таких систем является их высокая стоимость (для двигателя мощностью 750 кВт стоимость системы *DPF* плюс *SCR* составляет свыше 125 тыс. евро) и необходимость увеличения объема технического обслуживания судовой энергетической установки. Кроме того, следует учитывать увеличивающиеся затраты на их поддержание в эксплуатации (ремонт, техническое обслуживание). Возможно применение и других методов, в частности применения каталитической обработки топлива перед впрыском. При применении первичных методов снижения вредных выбросов, например NO_x, возможно изменение режима сгорания, что дополнительно повлияет на рабочий режим двигателя, а именно снижения температуры сгорания повлечет увеличение удельного расхода топлива.

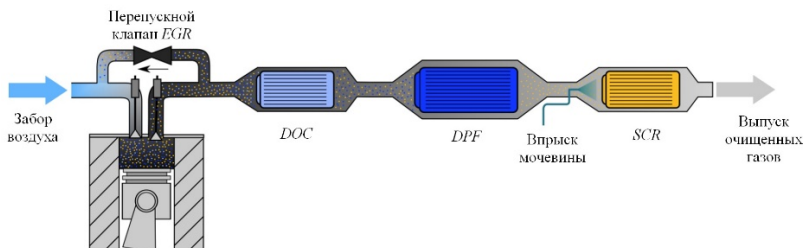


Рис. 5. Схема системы очистки выхлопных газов [6]

Фактор влияния директивного снижения уровня вредных выбросов на энергоэффективность можно принять как значительный, который накладывает определенный уровень ответственности не только на судовладельца и судовой экипаж (в части обеспечения и выполнения мероприятий по повышению энергоэффективности), но и на бункерующие компании (в части поставки топлива соответствующего качества и определенного химического состава по соответствующей стоимости).

Фактор 4. Использование современных систем *RIS – River Information Services* (РИС) для прогнозирования движения при рейсовом планировании (определение скорости движения, формы караванов барж и др.), а также оптимизация текущего движения с учётом изменения навигационных условий является также определяющим фактором повышения энергоэффективности судов внутреннего плавания. В этом случае явной становится задача создания информационно-параметрической модели судового хода на ВВП Европы, особенно для движения большегрузных составов, а также сбора и передачи данных через РИС о существенных в контексте управления энергоэффективностью характеристиках судового хода по схеме «судно-берег-судно» и «берег-судно-берег».

Директивой (ЕС) 2017/2397 предусматривается комплекс программ профессиональной подготовки судоводителей для ВВП Европы с упором на полновесное использование РИС судоводителями, использование электронных карт (ЭКНИС), систем слежения за движением и полном использовании элементов РИС как на менеджментском (планирование рейса) так и операционном управлении при получении извещения судоводителям *NtS – Notices to Skippers* (уровень судовождения).

Фактор 5. Неустойчивость и относительная слабость рынка перевозок на внутренних водных путях справедливо определили рассмотрение индекса *EEI* совместно с индексом себестоимости перевозок груза *SCE (Specific Cost Efficiency, €/т)*, как величины, связанной с основными переменными расходами судна, а именно – с потреблением топлива (расходы на топливо на судах внутреннего плавания начиная с 2004 по 2019 г. составляли 50 ... 60 % от общего объема переменных расходов).

Средняя стоимость бункерного топлива в портах Дуная в основном определяется соответственно значению *Bunker Platts Rotterdam* и составила в 2019 г. по *MGO* на 4,2 % меньше средней стоимости в 2018 г.

В тоже время в 2018 г. индекс фрахтовых ставок на перевозки с учётом надбавок на рост стоимости бункерного топлива и надбавки за работу в мелководье по кварталам в целом вырос по отношению к четвертому кварталу 2018 на 1,2 %.

Фактор *SCE* включает все ограничения в период движения, и этот показатель становится интегрирующим всего качества менеджментского и операционного управления по итогам года эксплуатации и может быть принят как рамочный.

Выводы

1. Для повышения энергоэффективности судов внутреннего плавания необходимо создание информационно-параметрической модели судового хода на реках ВВП Европы. При этом должны быть определены расчетные *i*-е участки, для которых справедливым является применение определения индексов энергоэффективности.

2. Целесообразно установить для ВВП два типа индекса энергоэффективности, *EEI*: для режимов работы в условиях плавания с постоянным $H/T > 2,75$, и переменными значениями соотношения $H/T < 2,75$.

3. Для достижения объективности результата с учетом реальных условий и этапов рейсов судна-толкача с большегрузным караваном следует проанализировать возможность коррекции факторов влияния в формуле *EEI*.

4. Учитывая факт работы в условиях критического мелководья как работы в чрезвычайных условиях, необходимо определить участки и периоды движения, не попадающие под требования *EEI*, например, при $H/T < 1,5$.

5. Форму индекса *EEI* для речных условий плавания также следует модернизировать прежде всего по смыслу составляющих: P^* – установленная мощность главного двигателя (ГД) для данного участка с учетом ограничений по тепловой напряженности и условиям уровней выбросов NO_x , SFC^* – удельный расход топлива, соответствующий мощности P^* ; $Capacity^*$ – масса каравана; v^* – скорость для *i*-го участка.

6. Ввиду многофакторности вопросов оценки энергоэффективности во внутреннем судоходстве, очевидна объективная необходимость разработки обобщенного алгоритма управления (менеджмента и операционного управления) энергоэффективностью для ВВП, который объединил бы деятельность судоходных компаний, портов, береговых служб РИС, обработку данных с судов внутреннего плавания и применяющихся на них систем мониторинга, а также обратную связь по

рекомендуемым режимам движения судну в текущих навигационных условиях для достижения максимально возможной энергоэффективности.

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

1. Суворов, П. С. Оценка энергоэффективности для условий навигационных неопределенностей во внутреннем судоходстве [Текст] / П. С. Суворов, Т. В. Тарасенко, В. І. Залож // Автоматизация судовых технических средств: научн.-техн. сб. – Одесса: НУ «ОМА», 2019. – Вып. 25. – С. 90 – 100.

2. Суворов, П. С. Идентификация режимов работы главных двигателей на мелководье / П. С. Суворов, Л. Н. Карпов, Б. П. Мельников // Автоматизация судовых технических средств: научн.-техн. сб. – Одесса: ОНМА, 1999. – Вып. 3. – С. 143 – 155.

3. Гидрологические данные Дунайской Комиссии. Режим доступа (18.07.2020): <https://danubecommission.org/extranet/e-docs/index.html>.

4. Суворов, П.С. Динамика двигателя в судовом пропульсивном комплексе [Текст] / П.С.Суворов. – Одесса: ОНМА, 2004. – 304 с.

5. Varbanets R.A., Zalozh V.I., Shakhov A.V., Savelieva I.V., Piterska V.M. Determination of top dead center location based on the marine diesel engine indicator diagram analysis. Diagnostyka. Polish society of technical diagnostics. 2020. №21(1). P. 51 – 60.

6. Interreg. Danube Transnational Programme GRENDDEL. Fact Sheet № 3. After-Treatment. Edition April 2020. Режим доступа 19.07.2020 г.: http://www.interreg-danube.eu/uploads/media/approved_project_public/0001/39/934_ae786ae79dab1f7913846d8cda207161c5628.pdf.

Аннотация – Рассмотрена оценка энергоэффективности судов внутреннего плавания с использованием различных подходов к одиночным судам и к судам-толкачам большегрузных составов. Это связано с технологиями работы, которые при движении большегрузных составов (караванов) имеют ряд существенных отличий от технологий обеспечения движения одиночных судов в идентичных условиях плавания. Проанализированы данные систематических испытаний судов-толкачей и полученных для них значений индексов энергоэффективности по методике, применяемой ИМО для судов в международном морском судоходстве. Колебания уровней воды во внутреннем судоходстве на участках движения судов с караванами барж оказывают существенное влияние на характеристики работы пропульсив-

ного комплекса. На примере данных водомерных постов реки Дунай рассматривается обеспеченность глубин как при выполнении одного рейса на разных участках движения, так и в течение календарного года, особенно для периодов с критическими параметрами мелководья. Определены соотношения глубины фарватера и осадки судна, являющиеся граничными для снижения скорости движения в связи с изменением сопротивления при ощутимом негативном влиянии мелководья. В этой связи проанализировано также увеличение расхода топлива на мелководных участках, оказывающих влияние на энергоэффективность. При этом взаимосвязь вопросов энергоэффективности и современных требований по экологичности диктует применение комплексных подходов не только с позиций достижения рациональных показателей расхода топлива, но также и с позиций применения современных технологий очистки выходящих газов. Рассмотрены факторы, способствующие развитию основных элементов менеджмента энергоэффективности судов внутреннего плавания. К ним относится работа Речных информационных служб (РИС), подготовка речных судоводителей и учет факторов неустойчивости рынка перевозок и рынка бункерного топлива. Сделаны выводы о неразрывности рассмотренных факторов, а также необходимости их дальнейшего комплексного рассмотрения с целью создания общего алгоритма менеджмента энергоэффективностью во внутреннем судоходстве.

Анотація – Розглянута оцінка енергоефективності для суден внутрішнього плавання з застосуванням різних підходів до одиночних суден і до суден-штовхачів великотоннажних складів. Це пов'язано з технологіями роботи, які при русі великовантажного каравану мають ряд суттєвих відмінностей в ідентичних умовах плавання. Проаналізовано дані систематичних випробувань суден-штовхачів і отриманих для них значень індексів енергоефективності за методикою, яка застосовується Міжнародною морською організацією (ІМО) для суден у міжнародному морському суднопластві. Коливання рівнів води у внутрішньому суднопластві на ділянках руху суден з караванами барж оказують істотний вплив на характеристики роботи пропульсивного комплексу. На прикладі даних водомірних постів, розташованих на різних ділянках ріки Дунай, розглядається забезпеченість глибин як при виконанні одного рейсу на різних ділянках руху, так і протягом календарного року, особливо для періодів з критичними параметрами мелководдя. Визначені співвідношення глибини фарватеру і осадки судна, які є граничними для зниження швидкості руху у зв'язку зі зміною опору при відчутному негативному впливу мелко-

воддя. У зв'язку з цим проаналізовано також збільшення витрати палива на мілководних ділянках, що впливає на енергоефективність. При цьому взаємозв'язок питань енергоефективності та сучасних вимог до екологічності диктує застосування комплексних підходів не тільки з позицій досягнення раціональних показників витрати палива, але так само і з позицій застосування сучасних технологій очищення випускних газів. Розглянуті фактори, що сприяють розвитку основних елементів менеджменту енергоефективності суден внутрішнього плавання. До них відноситься робота Річкових інформаційних служб (РІС), підготовка річкових судноводіїв та врахування факторів нестійкості ринку перевезень і ринку бункерного пального. Зроблені висновки про нерозривність розглянутих факторів, а також необхідності їх подальшого комплексного розгляду з метою створення загального алгоритму менеджменту енергоефективності у внутрішньому судноплаванні.

Annotation – The issues of energy efficiency assessment for inland navigation vessels and focus on the need to implement different approaches in this context in relation to single vessels against pushers with heavy convoys are considered. This is due to transportation technologies, which have a number of significant differences when pushing a heavy caravan. The analyses were made for the data of systematic testing of ships and the values of energy efficiency indicators obtained for them according to the methodology applied by IMO for ships in international maritime shipping. Fluctuations in water levels on inland waterways and on river sections, in particular, especially when moving pushers with caravans of barges, have a significant impact on the performance of the hydrodynamic propulsive complex. Using the example of the data from the Danube river gauging stations, the assuring enough depth both when performing one voyage at different sections of movement, and during a calendar year were considered. The ratios of the fairway depth and the draft of the vessel are determined, which are boundary for a decrease in the speed of movement in connection with a change in resistance with a tangible negative effect of shallow water. In this regard, issues of increasing fuel consumption in shallow water areas and related factors affecting energy efficiency are also considered. At the same time, the interrelation of energy efficiency and eco-friendliness dictates the use of integrated approaches not only from the standpoint of quantitative indicators of fuel consumption, but also from the standpoint of the use of modern technologies for cleaning exhaust gases. The factors contributing to the development of energy efficiency management are considered as separate categories. These include the work of the River Infor-

mation Services (RIS), the training of river boatmasters and the instability factors in the shipping and bunker markets. The conclusions about the inseparability of the considered factors, as well as the need for their further comprehensive consideration in order to create a common algorithm for managing energy efficiency in the inland navigation were made.