

Как доступными средствами повысить энергоэффективность и экологическую безопасность речного флота

ТЕМА: ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ СУДОВ ВНУТРЕННЕГО И СМЕШАННОГО РЕКА-МОРЕ ПЛАВАНИЯ

АВТОРЫ: Ю.Н. ГОРБАЧЕВ, д.т.н., генеральный конструктор ОАО «Инженерный центр судостроения»; А.С. БУЯНОВ, к.э.н., заведующий отделом ЗАО «ЦНИИМФ»; А.В. СВЕРЧКОВ, к.т.н., начальник сектора ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

ФОТО: Предоставлены авторами

В настоящее время, когда стремительно дорожают энергоресурсы и ужесточаются требования по защите окружающей среды, на водном транспорте особо востребованы меры, способствующие минимизации потребления топлива и сокращению выбросов в атмосферу продуктов его сгорания. Как показали исследования, один из оптимальных и самых действенных подходов – создание воздушных каверн (ВК) на днище судна с помощью разработанного отечественными учеными относительно несложного по конструкции устройства [1]. Принцип его действия иллюстрирует рис. 1.

Единая каверна (ЕК) формируется внутри рецесса (углубления) в днище, в носовой части ограниченного реданом 5, по бортам – бортовыми килями 3, в кормовой части – кормовым сводом 8. Для повышения поперечной остойчивости судна внутри рецесса устанавливаются продольные кили 4, разделяющие его на изолированные секции.

На стоянке при посадке корпуса на «ровный киль» указанное углубление целиком заполняется воздухом и поверхность раздела сред «воздух–вода», которая всегда параллельна горизонту, совпадает с основной плоскостью (ОП) днища. При этом осадка и водоизмещение судна с кавер-

ной и его традиционного аналога будут одинаковыми, поскольку гидростатическое давление на поверхности ВК точно такое же, как на обшивке ОП днища.

При движении судна в каждой продольной секции внутри рецесса образуются ЕК 7, их профиль (продольные сечения) по форме близок к гравитационным волнам.

В процессе создания воздушных ЕК площадь смоченной поверхности судна значительно уменьшается, в результате чего достигается снижение гидродинамического сопротивления корпуса и, следовательно, потребной мощности и расхода топлива главных двигателей (ГД).

С целью формирования ЕК без остановки судна внутри рецесса размещают поперечные козырьки (ПК) 6, выполненные в виде наклонных пластин. Их параметры подбираются таким образом, чтобы при росте скорости происходило автоматическое (без вмешательства судоводителя) объединение системы отдельных каверн, образованных за реданом и ПК, в ЕК с волновым профилем. Кроме того, такие козырьки позволяют в определенных ситуациях сохранить положительный эффект при разрушении каверн (из-за качки, значительного ходового дифферента на тихой воде и т.п.), поскольку в этом случае за реданом и ПК сохраняется система отдельных каверн.

Воздух в рецесс подается компрессором или воздуходувкой 1 по системе трубопроводов 2.

На данный момент выполнен большой объем экспериментальных исследований – модельные испытания (с судами 13 различных проектов, в том числе 10 – внутреннего и смешанного река-море плавания), подтвердившие эффект снижения гидродинамического сопротивления судов за счет использования каверны.

Согласно полученным результатам, благодаря применению устройства для создания единых каверн (УСЕК) уменьшение полного сопротивления на тихой

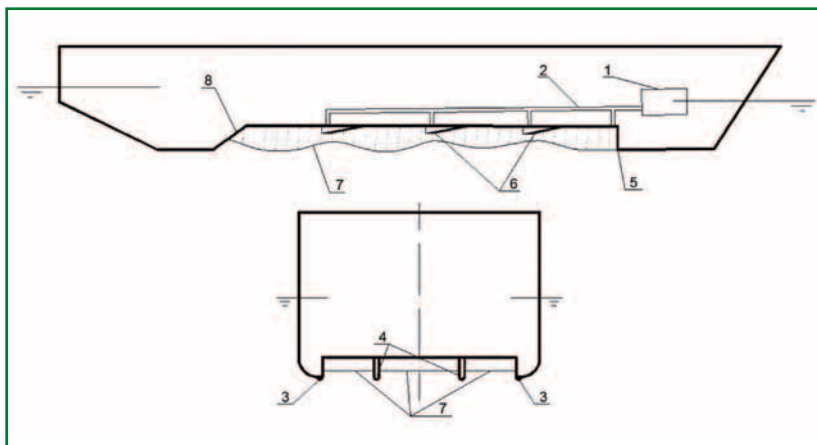


Рис. 1. Схема устройства для создания на днище судна единой воздушной каверны

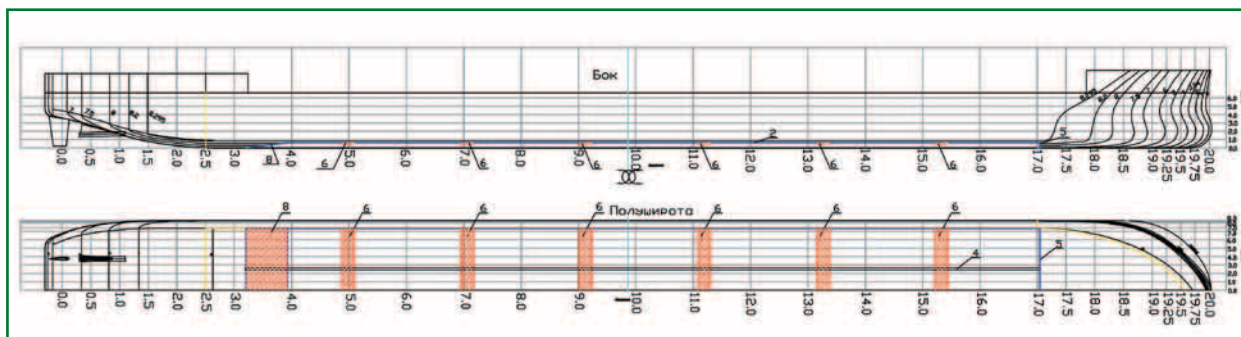


Рис. 2. Теоретический чертеж корпуса ССП с энергосберегающим устройством

воде у самоходного флота может составлять 16-24%, у несамостоятельных барж – до 30% ([2]-[4]). При этом энергетические затраты на подачу воздуха не превышают 2-3% мощности ГД.

Проведенные масштабные натурные испытания речной баржи грузоподъемностью около 1000 т доказали действенность рассматриваемого метода и высокую эффективность использования каверн в реальных условиях эксплуатации на внутренних водных путях (ВВП) [2].

По результатам указанных испытаний Министерство речного флота РСФСР утвердило программу создания ряда самоходных судов, оснащенных УСЕК. К сожалению, по известным причинам эта программа не была реализована и в исследованиях по данному направлению наступила «бизнес-пауза» длиной более 20 лет.

Очередной импульс развития проект получил уже в XXI веке. Энергосберегающая технология вновь привлекла внимание специалистов не только в России, но и за рубежом, в ведущих судостроительных державах.

Современные отечественные исследования не ограничиваются лишь уточнением величины снижения сопротивления судна. Акцент делается прежде всего на оценке последствий внедрения УСЕК – изменениях характеристик конкретного судна, определяющих ее экономическую эффективность: строительную стоимость, грузоподъемность,

расход топлива судовой энергетической установкой (СЭУ) в целом (с учетом дополнительных потерь на поддув воздуха), эксплуатационные затраты на ремонт и поддержание надлежащего технического состояния.

Не менее важно знать, как рассматриваемый подход влияет на навигационную безопасность. В связи с этим был осуществлен сопоставительный анализ двух концептуальных проектов одного судна – традиционного сухогруза река-море плавания дедвейтом порядка 8500 т с экстремально высоким коэффициентом общей полноты корпуса и того же теплохода, но с УСЕК.

Указанные проекты разрабатывались совместно специалистами открытых акционерных обществ «Инженерный центр судостроения» и «ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева».

Сравниваемые суда отличаются следующие моменты:

1) Конструкция корпуса – из-за образования рецесса в плоской части днища и размещения необходимых дополнительных элементов.

Для сохранения вместимости грузовых трюмов при равных значениях высот междудонного пространства и комингсов грузовых люков, высота борта судна с УСЕК увеличена по всей длине на глубину рецесса ($\Delta H = t_p$). Соответственно, у модернизированного теплохода при одинаковом с обычным судном водоизмещении (когда рецесс целиком заполнен воздухом) появится

избыточный надводный борт. Размер ΔH будет больше роста осадки ΔT судна с УСЕК тогда, когда воздух в рецессе отсутствует (именно такой аварийный режим рассматривается РМРС при назначении грузовой марки). Величину прибавления осадки в этом случае можно определить по формуле: $\Delta T = V_p / S_{WL}$, где V_p – объем рецесса, S_{WL} – площадь ватерлинии.

Поскольку рецесс располагается только на части днища и его протяженность примерно вдвое меньше длины теплохода, то $\Delta T < \Delta H$, и судно с УСЕК в расчетном режиме (с воздухом в рецессе) характеризуется избыточным надводным бортом. Данная особенность предоставляет возможность повысить грузоподъемность модернизированного судна за счет увеличения осадки (на величину, равную избыточному надводному борту) при работе в море.

2) Дополнительная судовая система подачи воздуха (СПВ) в днищевой рецесс (для создания и поддержания в нем ВК).

3) Возможность замены ГД на менее мощные (для рассматриваемых судов ГД принимаются одинаковыми).

В связи со снижением потребляемой мощности и расхода топлива ГД судна с УСЕК при заданной дальности плавания потребуются меньшие запасы топлива.

4) Возможность замены мощности бортовой электростанции в связи с появлением дополнительного потребителя энергии – воз-

КСТАТИ

При формировании ВК значительно снижается потребляемая мощность, необходимая для достижения заданной скорости движения.

Основные характеристики ССП

Таблица 1

Параметр	ССП	
	с УСЕК	без УСЕК
Длина наибольшая, м	140,2	140,2
Ширина расчетная, м	16,6	16,6
Высота борта, м	6,6	6,0
Осадка (река/море), м:	3,6/4,86	3,6/4,7
Количество и суммарный объем грузовых трюмов, м ³	3 10920	3 10920
Водоизмещение объемное (река/море), м ³	7740/10370	7740/9990
Коэффициент общей полноты, C _p	0,917	0,917
Длина рецесса в днище, м	96,1	-
Ширина рецесса, м	14,7	-
Глубина рецесса, м	0,6	-
Количество, ширина x высота продольных килей, м	2 0,25x0,65	- -
Высота бортовых килей, м	0,05	-
Относительная площадь рецесса, S _p /Ω	0,413	-
Диаметр гребных винтов, м	2,7	2,7
Расчетная скорость при морской осадке и использовании 85% МДМ, уз.	11,2	10,7
Количество и мощность ГД, кВт	2x1200	2x1200
Количество и мощность дизель-генераторов, кВт	2x292	2x292
Характеристики воздухоудки СПВ:	50	-
потребляемая мощность, кВт	1325	-
производительность на выходе, м ³ /ч	0,07	-
давление на выходе, МПа		

духодувки СПВ (по отношению к анализируемому судну коррективка не потребовалась).

Остальные характеристики сравниваемых теплоходов были приняты одинаковыми, в том числе и те, которые влияют на экономические показатели, – вид топлива, объем грузовых трюмов, состав экипажа и т.д.

Проектирование УСЕК выполнялось по методике, разработанной Ю.Н. Горбачевым. Она базируется на расчетном определении формы поверхности устойчивых ВК на днище конкретного судна. С помощью этой методики можно вычислить оптимальные параметры рецесса (расположение редана, длину и глубину рецесса, размещение и геометрические параметры ПК) не только при идеальном положении корпуса на «ровный киль», но и при наличии крена и дифферента, не превышающих заранее заданных допустимых значений, а также с учетом прогиба днища.

Теоретический чертеж судна с УСЕК приведен на рис. 2.

Сравниваемые теплоходы (их основные параметры приведены в таблице 1) имеют классический архитектурно-конструктивный тип: стальное однопалубное двухвальное самоходное судно с баком и ютом; кормовым расположением надстройки, рулевой рубки и машинного отделения; 3 грузовыми трюмами с люковыми закрытиями складывающегося типа; двойным дном и бортами в районе грузовых трюмов; бульбовой носовой и транцевой кормовой оконечностями; носовым подруливающим устройством. Класс PMPC: KM ⚙ Ice2[1]R2-RSN AUT1-C.

При всех вариантах загрузки обеспечивается посадка «на ровный киль».

У рассматриваемых судов ГД принимались одинаковыми, а достижимая расчетная скорость при использовании 85% МДМ вычислялась по результатам модельных испытаний.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Все суда (с УСЕК и без устройства) подвергались буксировочным, самоходным (с замерами поля скоростей в месте расположения гребного винта) и мореходным испытаниям с подачей воздуха в рецесс двумя различными способами: либо только к редану, либо к нему и ко всем ПК. Для ССП был выбран именно второй вариант, так как они нередко испытывают интенсивную качку.

Эксперимент в условиях тихой воды выполнялся на крупномасштабных моделях длиной более 8 м (рис. 3) при трех значениях осадки, соответствующих перевозке груза: по морю – **T=4,7 м**, по реке – **T=3,6 м**, а также балластному переходу в море с начальной посадкой судна «на ровный киль» – **T=3,4 м**.

Кроме того, были произведены буксировочные испытания на максимальной осадке (**T=4,7 м**) при четырех величинах начального дифферента ($\Delta T = T_k - T_n = \pm 0,2$ м и $\Delta T = \pm 0,4$ м), а также испытания образца с УСЕК без воздуха в рецессе.

Как показали эксперименты с моделями УНК с УСЕК на тихой воде, подобранные в ходе вычислений параметры рецесса при любом варианте загрузки судна обеспечивают создание и сохранение единых ВК на всем расчетном диапазоне скоростей движения ($v \leq v_{max}$, где v_{max} – максимальная скорость с учетом использования полной мощности ГД) при допустимых значениях начального крена и дифферента. При этом ЕК (рис. 4) покрывают практически всю площадь рецесса.

По результатам модельных испытаний на тихой воде был выполнен расчет потребной мощности ГД натуральных судов (P_S) в зависимости от скорости хода (v_S) для разных случаев загрузки. Эти зависимости для случая максимальной загрузки судна (**T=4,7 м**) приведены на рис. 5.

Необходимо отметить, что снижение потребной мощности ГД при создании каверны обусловлено не только уменьшением гидродинамического сопротивления корпуса, но и повышением пропульсивного коэффициента за счет более

высокого КПД винта (благодаря его меньшей нагрузке по упору).

Следовательно, применяя УСЕК, нужно обязательно проектировать собственный оптимальный гребной винт, отличающийся от такового для обычного судна. Для данного судна оптимизация винта при использовании УСЕК выполнялась путем изменения шага винта при сохранении его диаметра и частоты вращения по классическому аналогу.

Оценка уровня сокращения расхода топлива главной и вспомогательной СЭУ (таблица 2) производилась с учетом роста потребления энергоресурсов приводным двигателем дизель-генератора (на 0,28 т/сут.), вызванного функционированием воздухоудовки СПВ.

В качестве комментариев к таблице 2 отметим два важных момента.

Во-первых, данные для случая работы судна на ВВП учитывают известный факт снижения эффективности внедрения УСЕК при движении судна на мелководье, что обусловлено уменьшением доли сопротивления трения (на которое прежде всего и воздействует ЕК) в общем балансе сил сопротивления.

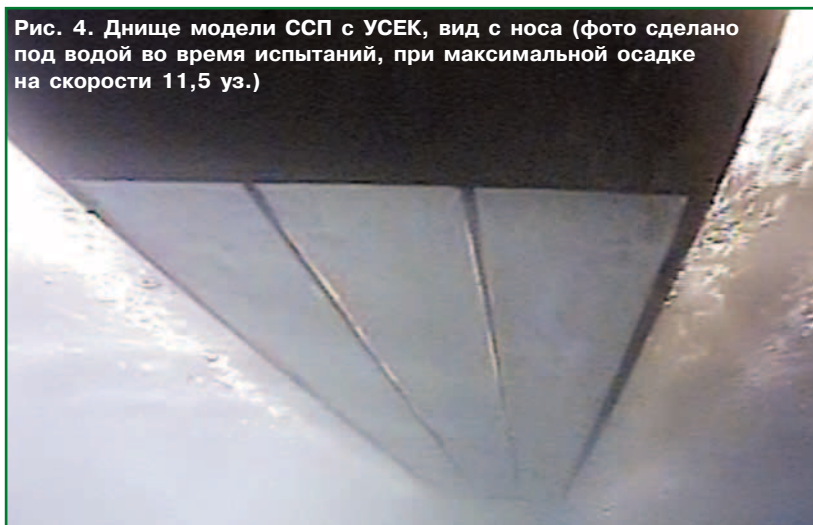
Базируясь на результатах натурных испытаний речной баржи с УСЕК на мелководье [2], в расчетах величины снижения мощности и расхода топлива ГД при создании каверны принят понижающий коэффициент $k=0,9$.

Во-вторых, сведения, подтверждающие достигаемый топливосберегающий эффект,

Рис. 3. Модель ССП с УСЕК



Рис. 4. Днище модели ССП с УСЕК, вид с носа (фото сделано под водой во время испытаний, при максимальной осадке на скорости 11,5 уз.)



относятся к объекту нового судостроения. А в процессе эксплуатации экономия энергоресурсов

наряду с защитой экологии еще больше возрастают. Этому способствует сокращение негатив-

Данные по расходу топлива СЭУ сравниваемых судов

Таблица 2

Скорость, уз.	Варианты загрузки судна								
	В море с грузом, Т=4,7 м			В реке с грузом, Т=3,6 м			При балластном переходе в море, Т=3,4		
	Без УСЕК, (G) _б , т/сут.	С УСЕК, (G) _у , т/сут.	$\Delta(G)=(G)_б-(G)_у$, т/сут./%	Без УСЕК, (G) _б , т/сут.	С УСЕК, (G) _у , т/сут.	$\Delta(G)=(G)_б-(G)_у$, т/сут./%	Без УСЕК, (G) _б , т/сут.	С УСЕК, (G) _у , т/сут.	$\Delta(G)=(G)_б-(G)_у$, т/сут./%
9,0	5,64	5,10	0,54/9,6	4,84	4,25	0,59/12,1	4,80	4,16	0,64/13,3
10,0	7,80	6,88	0,92/11,8	6,62	5,76	0,86/13,0	6,62	5,52	1,10/16,6
10,5	9,42	8,19	1,23/13,1	7,93	6,81	1,11/14,0	8,05	6,62	1,43/17,8
11,0	11,41	9,81	1,60/14,0	9,64	8,10	1,54/15,9	9,78	8,10	1,68/17,2
11,5	13,77	11,74	2,03/14,7	11,60	9,65	1,95/16,8	11,65	9,65	2,0/17,2

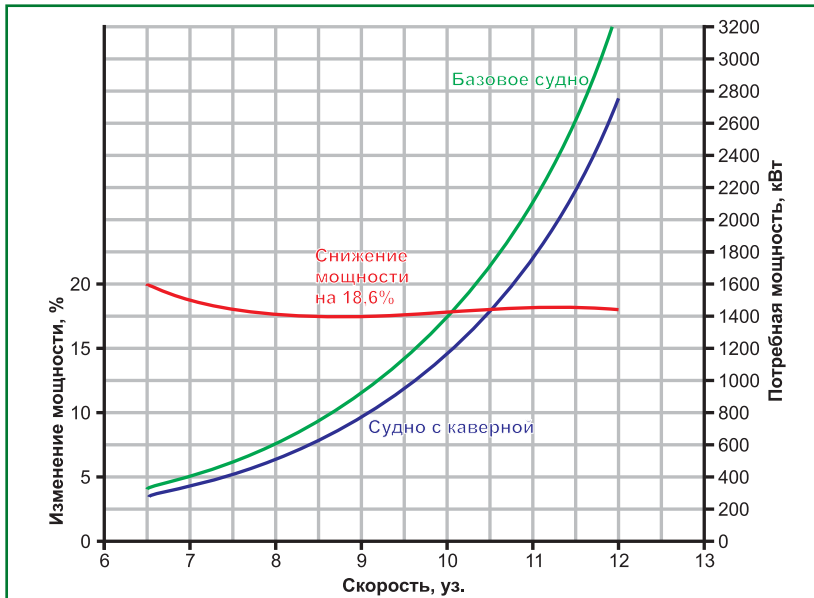


Рис. 5. Зависимость потребляемой мощности (P_S) и снижения ее величины (ΔP_S) от скорости движения ССП при морской осадке

ного влияния факторов образования, коррозии и деформации корпуса, поскольку площадь его поверхности, контактирующая с водой, у судна с УСЕК примерно на 40% меньше, чем у традиционного аналога. Такой дополнительный эффект может быть особенно весомым для флота, работающего в теплых морях, где обрастание протекает достаточно быстро.

Информация, отраженная на рис. 5 и в таблице 2, соответствует начальной посадке судна «на ровный киль».

При наличии дифферента средняя плоскость поверхности ЕК остается параллельной горизонту, следовательно, зазор между ней и днищем рецесса по мере удаления от редана в случае, когда имеет место дифферент на корму, уменьшается, а при дифференте на нос — наоборот, возрастает.

При заданных в расчетах каверн допустимых значениях дифферента (на корму — $\Delta T_K^* = T_K - T_H = 0,3$ м, на нос — $\Delta T_H^* = T_H - T_K = 0,1$ м) ЕК покрывают практически всю площадь рецесса и выигрывают

в сопротивлении оказывается близким к идеальному случаю посадки судна «на ровный киль».

Допустимый крен составляет порядка $2^\circ (|(T_{ПБ} - T_{ЛБ})| \leq 0,5$ м), при этом ЕК также сохраняется.

На первый взгляд, соблюдение жестких требований по допустимому дифференту может показаться затруднительным. Однако в действительности речь идет о необходимости их выполнения по отношению к начальной, то есть перед выходом в рейс, посадке судна. А это уже не так сложно, если использовать штатную балластную систему при оснащении высокоточной системой контроля осадок носом, кормой и по бортам на миделе (подобными средствами сейчас оборудуют морские грузовые теплоходы).

По необходимости на борту можно предусмотреть специальные балластные цистерны для тонкой корректировки посадки.

При движении ходовой дифферент судна изменяется, прежде всего, по мере потребления топлива, но данный процесс про-

текает весьма медленно: разница в осадках носом и кормой возрастает всего на 2,2 см/сут.

По этой причине для поддержания нужной посадки судна во время рейса не требуется формировать какие-либо специальные автоматизированные системы, достаточно осуществлять корректирующие балластировки один раз в несколько дней (как предписывает инструкция). Таким образом, обеспечение надлежащей посадки судна с УСЕК — вопрос дисциплины и привычки экипажа.

При движении судна на тихой воде без воздуха в рецессе (это аварийный режим) его сопротивление возрастает на 20-30%, увеличивается и осадка судна. Такой режим при движении на тихой воде и умеренном волнении является маловероятным, поскольку потеря воздуха может произойти только в результате прекращения его подачи в рецесс из-за выхода из строя воздухоподводки, а на судне предусмотрена установка как минимум двух воздухоподводок (основной и резервной).

Для защиты гребных винтов от попадания пузырьков воздуха, уносимых из каверн, применяется простое устройство [5].

При эксплуатации судна на мелководных участках ВВП важное значение имеет величина его просадки (рост осадки). У судна с каверной, как и у традиционного аналога, ходовая осадка заметно увеличивается с прибавлением скорости. Однако само по себе наличие каверн не сильно влияет на рост просадки: ее величина у сравниваемых натуральных судов на глубокой воде при скорости 21,5 км/ч выше лишь на 45 мм (165 мм и 120 мм соответственно), при скорости 12 км/ч — практически одинакова.

На предельном мелководье просадка как у классического, так и у модернизированного судна возрастает. В действительности же при прохождении подобных участков судоводитель

КСТАТИ

Приведенные данные по экономии топлива соответствуют судну из постройки. В процессе эксплуатации топливосберегающий эффект будет возрастать, благодаря меньшему негативному воздействию обрастания, коррозии и деформации корпуса.

всегда сбавляет скорость, поэтому следует ожидать, что увеличение осадки судна с УСЕК не будет являться препятствием для использования предлагаемой энергосберегающей технологии.

При движении судна на волнении эффективность использования каверны снижается и этот недостаток УСЕК является неустраняемым.

Следует отметить, что на мелкоосидящих судах смешанного плавания негативное влияние волнения проявляется в большей степени по сравнению с морскими судами, имеющими гораздо большую осадку. На морских судах разрушение ЕК происходило при некотором «критическом» волнении под воздействием качки судна. На мелкоосидящих судах разрушение ЕК имело место даже тогда, когда качка судна была еще незначительной. Причиной являлась пульсация гидростатического давления на днище судна, обусловленная колебательными движениями поверхности воды у бортов. Под воздействием этих пульсаций форма поверхности каверны изменяется: в зонах пониженного давления (в районе расположения подошв волн) каверны «выпучиваются», а в зонах повышенного давления прогибаются, приближаясь к днищу рецесса. Когда поверхность каверны опускается ниже уровня бортовых килей происходят залповые выбросы воздуха из рецесса в атмосферу, объем каверны уменьшается и наконец она разрушается. Заметим, что в центральной секции рецесса пульсация гидростатического давления сказывается в меньшей степени, чем в бортовых, поэтому в центральной секции ЕК сохраняется при большей интенсивности волнения.

Как показали испытания модели на нерегулярном волнении, ЕК сохраняется во всех продольных секциях рецесса, во всем расчетном диапазоне скоростей хода при волнении силой до 3 баллов включительно. При этом эффективность использования УСЕК на расчетной скорости (когда используется 85% МДМ ГД) близка к случаю движения в условиях тихой воды: снижение расхода топлива СЭУ составляет примерно 1,75 т/сут.

Волнение в 4 балла способно привести к периодическому разрушению ЕК в бортовых секциях рецесса. Однако сохранявшаяся в них система отдельных каверн относительно большой протяженности и ЕК в центральном отсеке обеспечивали положительный эффект, хотя почти на 45% меньший, чем на тихой воде: экономия энергоресурсов уменьшалась примерно до 1 т/сут.

При волнении в 5 и 6 баллов (предельная величина для ССП класса «R2-RSN») получался отрицательный эффект, и расход топлива СЭУ возрастал на 0,4-0,6 т/сут.

Очевидно, в этих условиях целесообразно прекращать подачу воздуха в рецессе для снижения нагрузки приводного дизель-генератора. Следует отметить, что увеличение сопротивления и расхода топлива судна с УСЕК на волнении в 5 и 6 баллов не очень значительно, поскольку в балансе сил сопротивления доминирующим становится дополнительное волновое сопротивление, которое от наличия или отсутствия воздуха в рецессе практически не зависит.

Кроме того, важно принимать во внимание следующий факт: в морских районах, разрешенных для плавания флота упомянутого класса, среднегодовая повторяемость таких сильных волнений, как правило, не превышает 10%.

Понятно, что осредненный годовой эффект от использования УСЕК будет зависеть от повторяемости волнения различной интенсивности на конкретной линии эксплуатации.

Для оценки экономической эффективности использования УСЕК в реальных условиях эксплуатации А.С. Буяновым разработана математическая модель, базирующаяся на результатах мореходных испытаний и статистических данных по волнению в морях и океанах [6], позволяющая выполнить расчет ходового времени судна (с УСЕК или без него) на различных участках маршрута в зависимости от интенсивности волнения. Для получения корректных данных о продолжительности рейса, учитывающих различную интенсивность волнения в течение года, моделирование работы судна на конкретной линии эксплуата-

ции осуществлялось за период 10 лет.

С целью получения достоверных сведений о продолжительности рейса, учитывающих различную ИВ в течение года, моделирование работы судна на конкретной линии эксплуатации осуществлялось за 10 лет.

Согласно выполненной специалистами ЗАО «ЦНИИМФ» оценке, на маршруте Ейск-Касабланка с наиболее суровым ветро-волновым режимом (среди проанализированных типовых направлений следования ССП) при внедрении УСЕК за круговой рейс расходы на топливо уменьшаются в среднем на 10,7%.

На линиях Санкт-Петербург-Гент и Ростов-на-Дону-Таррагона негативное влияние волнения на эффект экономии потребления энергоресурсов снижается довольно заметно.

Поскольку УСЕК позволяет сокращать расход топлива, возможно уменьшать его запасы на борту (по сравнению с традиционным аналогом, где резерв равен 330 т), не изменяя установленной автономности плавания. В частности, для периода продолжительностью 20 суток, размер экономии запаса топлива приближенно составит минимум 15-20 т. Более точная оценка топливосберегающего эффекта осуществляется для каждой конкретной линии эксплуатации флота.

ВЛИЯНИЕ УСЕК НА МАССУ ПОРОЖНЕМ, СТРОИТЕЛЬНУЮ СТОИМОСТЬ И ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ СУДНА

При оборудовании судна УСЕК его масса порожнем, естественно, возрастает.

Во-первых, корпус станет тяжелее вследствие установки элементов УСЕК (прежде всего, мощных продольных килей), дополнительных подкреплений, необходимых для снятия концентраций напряжений по периметру рецесса, а также размещения системы подачи в него воздуха. Во-вторых, увеличится высота борта, потому что для сохранения вместимости грузовых трюмов (как у классического аналога) требуется подъем их настила на глубину рецесса.

Вместе с тем, указанные изменения в конструкции корпуса повышают стандарт его прочности, что позволяет частично компенсировать рост его массы за счет уменьшения размеров отдельных связей.

В итоге увеличение массы корпуса достигло примерно 60 т, масса СПВ – 6 т. В относительном выражении рост массы судна порожнем составил менее 2,5%. При этом строительная стоимость транспортного средства повысилась примерно на 2%.

Что касается изменения грузоподъемности судна после внедрения УСЕК, то проводя оценку, важно учитывать не только прирост массы порожнем, но и отмеченные ранее факторы – уменьшение запаса топлива и возможность увеличения осадки при работе судна в море (из-за наличия избыточного, по сравнению с Правилами РМРС, надводного борта).

Согласно результатам выполненного расчета надводного борта судна с УСЕК, максимальная осадка по ЛГВЛ, когда воздуха в рецессе нет, равна 5,220 м. Если рецесс заполнен воздухом целиком, судно всплывает на 0,357 м, то есть максимальная осадка судна с УСЕК будет чуть больше, чем у традиционного аналога – **$T_{max}=4,863$ м против 4,700 м**. Таким образом, грузоподъемность судна с УСЕК в море может быть увеличена на 315 т при перевозке продукции с удельным погрузочным объемом менее 1,49 м³/т – по сути практически всей типовой номенклатуры.

В результате грузоподъемность судна с УСЕК при осадке 4,863 м составит 7330 т.

Следует отметить, что при максимальной осадке грузовая марка судна с УСЕК находится выше ватерлинии.

На ВВП при максимальной осадке 3,6 м грузоподъемность модернизированного судна будет 4260 т, то есть меньше, чем у классического аналога почти на 50 т.

Оценивая навигационную безопасность при использовании УСЕК, следует подчеркнуть: наличие рецесса ведет к значительному снижению амплитуды бортовой качки судна при больших накренениях, когда часть воздуха из рецесса стравливается в атмосферу. В этом случае продольные кили и бортовые стенки рецесса выполняют роль пассивных успокоителей качки, подобно скуловым киям традиционных судов.

Этот эффект, а также повышенная высота надводного борта и лучшая защищенность днища рецесса от повреждений (при посадке на мель или столкновении с подводным препятствием) обуславливают более высокий уровень безопасности плавания судов с УСЕК. При этом их управляемость не ухудшается.

На основе опыта эксплуатации речной баржи с рассматриваемым устройством можно констатировать: возможность подачи воздуха под днище в ряде ситуаций упрощала операцию по снятию судна с мели.

Анализ изменения текущих расходов на ремонт и поддержание технического состояния судна при использовании УСЕК носит только качественный характер ввиду отсутствия фактических данных.

Применяя описанную технологию, в процессе эксплуатации судна можно обоснованно ожидать некоторого сокращения затрат по ремонту корпуса, так как днище рецесса гораздо меньше подвержено повреждениям, коррозии и обрастанию по причине отсутствия контакта с водой в течение продолжительного периода времени (на стоянке – практически всегда), поскольку между днищем и водой имеется воздушная прослойка. При этом, разумеется, в определенной степени вырастут расходы на обслуживание и ремонт СПВ.

Как показала проведенная ЗАО «ЦНИИМФ» оценка экономи-

ческой эффективности внедрения предложенной технологии, у судна с УСЕК годовой финансовый результат в среднем на 26% больше, чем у классического аналога. Это обусловлено сокращением затрат на топливо, а также незначительным увеличением грузоподъемности при эксплуатации в море. А срок окупаемости модернизированного судна снижается почти на 2 года – с 10,2 до 8,3 лет.

Полученные результаты дают основание утверждать: внедрение разработанного устройства на тихоходном водоизмещающем флоте позволяет получить в реальных условиях эксплуатации ощутимый экономический и экологический эффект, недостижимый другими известными на сегодняшний день технологиями.

С учетом накопленного опыта, можно уверенно рекомендовать предлагаемую технологию для применения на судах внутреннего и смешанного река-море плавания, как на вновь строящихся, так и находящихся в эксплуатации.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Бутузов А.А., Горбачев Ю.Н., Иванов А.Н., Эллер А.О. Судно с воздушной прослойкой под днищем. Патент на изобретение № 1145587, 1996.
2. Горбачев Ю.Н., Старобинский В.Б., Федоров Е.П. Натурные испытания судна с устройством для снижения расхода топлива // «Речной транспорт», № 6. 1990.
3. Бутузов А.А., Горбачев Ю.Н., Иванов А.Н., Калужный В.Г., Павленко А.Н. Снижение сопротивления движению судов за счет искусственных газовых каверн // «Судостроение», № 11, 1996.
4. Горбачев Ю.Н., Пустошный А.В., Сверчков А.В. Экспериментальные исследования и проектные проработки по применению воздушных каверн на судах смешанного плавания // Труды «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова», вып. 69 (353), 2012.
5. Басин А.М., Бутузов А.А., Иванов А.Н. Устройство для защиты от попадания воздуха на гребной винт. Авторское свидетельство № 217980, 1966.
6. Ветер и волны в океанах и морях. Справочные данные, Регистр СССР, 1974.

КСТАТИ

Применяя описанную технологию, в процессе эксплуатации судна можно обоснованно ожидать некоторого сокращения затрат по ремонту корпуса, так как днище рецесса гораздо меньше подвержено повреждениям, коррозии и обрастанию.