



Методика оценки комфортабельности туристических речных судов

УДК 629.12

АВТОРЫ:

**Е.П. РОННОВ, д.т.н., профессор; Д.А. МИХЕЕВ, магистрант;
Ю.А. КОЧНЕВ, д.т.н., доцент; ВГУВТ**



От степени «комфортабельности» круизного теплохода зависят спрос на путевки и их стоимость, поскольку под данным термином понимают качество услуги, определяющее степень соответствия действующим стандартам бытовых условий пребывания пассажиров на борту, продолжительности их отдыха и свободно времяпровождения в рейсе.

Таким образом, важным представляются изучение способов достижения и оценки уровня указанного параметра. Это особенно актуально на нынешнем этапе, когда отдыхающие могут выбирать из множества различных вариантов проведения отпуска без выезда за границу, по программе внутреннего туризма. Но в любом случае флот должен отвечать требованиям ГОСТ [1, 2].

Исторически у речных судов жизненный цикл составляет не менее 50 лет, что в целом подтверждается мировой практикой. В результате сегодня на внутреннем рынке представлен широкий спектр единиц пассажирского флота, нередко кардинально отличающегося по признакам, характеризующим «комфортабельность», которая с течением времени претерпела существенные изменения. Прежде всего это – дизайн, площадь кают и их соответствие нормативам.

Между тем, в последние годы на теплоходах появились индивидуальные балконы, большие открытые палубы, климатическое оборудование, автоматически поддерживающее комфортную температуру воздуха в каюте. Их наличие или отсутствие серьезно влияет на принятие потенциальным клиентом решения в пользу конкретного лайнера [3].

Обязательно на борту должен быть ресторан, отвечающий требованиям по дизайну интерьера, удобству пребывания для посетителей и условиям труда для персонала.

Рационально, если имеются бары и конференц-залы, способные выполнять несколько функций, то есть наряду с прямым назначением позволяющие проводить культурно-массовые мероприятия.

К другим привлекательным особенностям сервиса следует отнести наличие бассейна, салонов для тихого отдыха и прослушивания музыки, библиотеки, фитнес-зала, прачечной, гладильной, детской комнаты и т.д., а также оптимально разграниченного пространства (отдельные входы и выходы, лестницы и коридоры), минимизирующего контакт отдыхающих с членами команды.

Кроме того, необходимо уделять внимание так называемой «сервисной комфортабельности» – комплексу характеристик, непосредственно связанных с качеством обслуживания

пассажиров, организацией их отдыха на борту, питанием, экскурсионной и развлекательной программами.

В каютах должны присутствовать мелкие бытовые предметы и туалетные принадлежности. Ответственные места стоит декоративно озеленить и украсить предметами искусства. В пути по радио должны транслироваться познавательная информация и музыка.

Подобные факторы очень важны, но их сложно описать строгими физическими величинами, зафиксировать в виде числовых коэффициентов, поскольку их номенклатура и качество могут сильно изменяться на протяжении всего периода эксплуатации теплохода.

При определении уровня «комфортабельности» пассажирского судна необходимо также учитывать степень дискомфорта, например, из-за шума и вибрации от главных двигателей и т.п.

В качестве критерия оценки «комфортабельности» флота можно предложить использовать «пятизвездочную» систему, принятую для классификации береговых гостиниц. Косвенно ее уже сейчас применяет подавляющее большинство судоходных компаний.

Некоторые организации «звездность» (или категорию) обозначают наименованием – например,

КСТАТИ

В качестве критерия оценки «комфортабельности» флота можно предложить использовать «пятизвездочную» систему, принятую для классификации береговых гостиниц. Косвенно ее уже сейчас применяет подавляющее большинство судоходных компаний.



«люкс», «премиум», «комфорт», «стандарт» и «эконом».

Как правило, уровень «1-2 звезды (категории)» соответствует судам, работающим на пассажирских транспортных линиях, где на борту кроме «делового» клиента, присутствует определенное количество отдыхающих «обратников» (осуществляющих поездку по круговому рейсу).

Теплоходы «3-4 звезды» выполняют «познавательные круизы», основу которых составляют частые заходы в порты и насыщенная экскурсионная программа на берегу.

«Пятизвездочные» суда обычно предназначены для отдыха туристов на борту, а наличие экскурсий здесь не является принципиальным.

Количество «звезд» по сути должно численно отражать факторы комфортабельности (наличие персональных балконов, баров, салонов, бассейнов, фитнес-залов и др.), а также их значимость и возможность реализации для туриста. Однако необходимо учитывать особенности одноименных параметров – например, бассейн, балкон, каюта «люкс» и т.п. на разных судах будут качественно отличаться, в частности размерами. Тогда необходимо рассматривать уже «конструктивную комфортабельность» – совокупность показателей комфорта, которые закладываются при проектиро-

вании и строительстве теплохода и являются его неотъемлемой частью либо поставляются в виде оборудования.

К конструктивным показателям комфортабельности наряду с сопутствующим перечнем помещений «круизного» назначения относятся габариты и значения относительных площадей внутренних помещений и открытых палуб, наличие систем и устройств, создающих благоприятные условия пребывания на борту и их рабочие характеристики, уровни шума и вибрации, конструкция и оснащение кают.

Количественно оценивать уровень комфортабельности следует с помощью метода «многокритериальной оптимизации», то есть когда множество критериев «сворачиваются» в один:

$$K = a_1k_1 + a_2k_2 + a_3k_3 + \dots + a_s k_s = \sum a_i k_i \quad (1)$$

где k_i – i -й показатель признака комфортабельности;

a_i – весовой коэффициент i -го показателя признака комфортабельности.

Для повышения объективности результатов реализации этого принципа, с учетом многолетнего опыта анализа эксплуатирующихся пассажирских судов в качестве круизных, их целесообразно разделить на 4 группы по качеству предоставляе-

мых туристам услуг, а именно по степени комфортабельности.

Максимальный уровень будет соответствовать первой группе с учетом утверждения, что на этих теплоходах в идеальном варианте достаточно иметь следующий условно нормативный минимальный перечень помещений, рациональное использование которых позволяет обеспечить не только конструктивную, но и сервисную комфортабельность (2):

1. Ресторан (66). 2. Бар (56). 3. Кинозал (55). 4. Сувенирный киоск (50). 5. Фитнес-зал (54). 6. Сауна (зона СПА) (65). 7. Детская комната (55). 8. Парикмахерская (50). 9. Массажный кабинет (50). 10. Салон тихого отдыха (58). 11. Музыкальный салон (60). 12. Бассейн (70). 13. Лифт (60). 14. Прогулочные зоны (65). 15. Прачечная и сушилка (56). 16. Индивидуальные балконы (65). 17. Величина полезной площади палуб на одного пассажира (65).

Отражать в формуле (2) наличие или отсутствие k_i показателя признака комфортабельности можно с помощью булевой функции. Согласно ей, если показатель присутствует у анализируемого судна, ему присваивается индекс 1, то есть $k_i=1$. Если k_i отсутствует – $k_i=0$. В скобках каждого признака комфортабельности дается значение его весового коэффициента a_i .

В данном случае формулу (1) удобнее представить так:

$$K = \sum_{i=1}^s a_i k_i \quad (3)$$

Нормативно минимальный перечень остальных групп помещений на круизных теплоходах приведен в таблице 1.

Состав помещений в различных группах судов

Таблица 1

Группа судов	Номер помещений из перечня (2)
Вторая	1-12; 15
Третья	1; 2; 11; 12; 15
Четвертая	1; 2; 11; 15



Основные характеристики современных пассажирских судов

Таблица 2

Проект	Кол-во пасса-жиров, человек	Кол-во мягких мест, ед.	Кол-во жестких мест, ед.	Площадь для пассажиров, м ²	Удельная площадь мягких мест на 1 пассажира, м ²	L, м	B, м	LxB, м ²
860	304	79	135	892,7/1525,5	11,3	74,6	10,5	783,3
785	259	155	104	2952/3505,5	12,3	76	9,6	729,6
646	197	38	159	2733,6/4420	13,6	62	9,1	564,2
588	400	291	209	3357,9/2074,8	9,1	90	11,6	1044
26-37	400	312	88	2989/2156	9,8	90	11,65	1048
20	439	439	-	4633,2	9,9	116	12,4	1438
301	360	360	-	4608	12,8	118	16	1888
92-016	400	400	-	4978	13,1	126	15,46	1947,96
Q-040	216	216	-	3611	15,7	102,88	12,8	1316,86
PV-300	340	340	-	3802,2	11,18	140,63	16,6	2334,458
Проект	200	200	-	2477	12,39	100	13,6	1360

Поскольку группы («звездность») туристических судов отличаются номенклатурой (перечнем) признаков k_i , значит, сравнивать по уровню комфортабельности единицы флота разных групп нелогично, так как очевидно: чем выше группа («звезда»), тем больше предоставляемых услуг и, соответственно, лучше комфортабельность. Тогда уровень комфортабельности рациональнее сопоставлять в первую очередь у судов одинаковой группы («звезды»), среди которых может быть разное превышение минимального для конкретной категории перечня «круизных» помещений. Но и тогда может возникнуть ситуация, при которой перечень общественных «круизных» помещений окажется одинаковым, но они будут различаться эстетичностью отделки, эргономичностью и архитектурно-планировочными решениями.

Последние зависят прежде всего от площади помещений, определяемой по полезной площади всех палуб, приходящейся на одного пассажира [4] (таблица 2 [5]).

Приведенные в таблице сведения относятся к судам постройки начиная с 1950-х годов по настоящее время, имеющим различный уровень комфорта. Вместимость теплоходов рассматриваемых проектов по каютным пассажирским местам составляет от 197 до 400 человек, их длина варьируется от 62 до 140 м, ширина – от 9,1 до 16,6 м. Удельные площади на одного туриста мягких мест колеблются от 9,1 до 15,7 м²/человека.

По архитектурно-конструктивному типу (АКТ) флот отличается количеством ярусов надстройки. Так, суда пр. 860(305), 785, 646 – 2-палубные; пр. 588, 26-37, 20 – 3-палубные; пр. 301, 92-016, Q-40 – 4-палубные, а

пр. PV-300 условно можно считать 5-палубным.

Теплоходы различаются еще по одному признаку АКТ: у большинства судов (из перечисленных в таблице) имеется боковой каплеобразный силуэт, разработанный Л.Н. Добинным, а у созданных в последние годы экземпляров такая особенность отсутствует – традиционная концепция меняется и каждый ярус надстройки делается максимальной длины, близкой к длине корпуса судна.

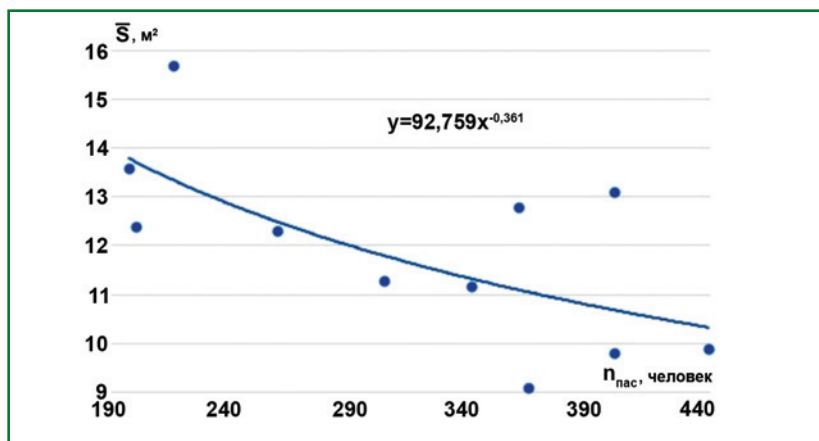
На комфортность также влияет разное расположение машинного отделения (МО) по длине теплохода, что в определенной степени отражается на условиях размещения туристов и площадях пассажирских палуб.

Показанная на рис. зависимость удельной площади на 1 человека \bar{S} от вместимости судна $n_{\text{пас}}$ позволяет сделать ряд выводов:

- в условиях весьма ограниченных размеров речных судов не представляется возможным при заданной пассажировместимости формировать каюты и общественные помещения бесконечно большой величины, поэтому при проектировании таких теплоходов неизбежно приходится прибегать к компромиссам;

- с увеличением пассажировместимости в среднем прослеживается тенденция уменьшения удельной площади.

Кроме того, в некоторых случаях при одинаковой пассажировместимости такие отличия достигают 3-4% по величине удельной площади, как например, у теплоходов пр. 26-37 и 92-016. Это можно



Зависимость удельной площади на 1 пассажира от общей вместимости судна



объяснить тем, что у пр. 26-37 имеются каюты меньшей площади, но с большим числом мест и с худшим комфортом, по сравнению с каютами и общественными помещениями у пр. 92-016.

Еще большие колебания по величине удельной площади выявляются при анализе ее зависимостей от модуля LxB . В силу конструктивных особенностей флота она имеет крупный разброс, и в среднем ее можно считать не зависящей от модуля LxB .

Выполненное авторами статьи исследование позволяет заключить, что в перечне признаков комфортабельности (2) в качестве показателя величины полезной площади палубы (позиция 17) рекомендуется принимать отношение удельной площади на 1 пассажира в каютах с мягкими местами \bar{S} к среднестатистическому значению этой площади при аналогичной вместимости, показанному на рис., либо вычислять по формуле:

$$\bar{S}_{cp} = 92,72 n_{nac}^{0,361}. \quad (4)$$

Тестовый расчет с помощью описанной методики сравнительных

уровней комфортабельности K двух теплоходов пр.301 и Q-40 показал, что при практически одинаковом перечне показателей k_i более комфортабельным (в принятой постановке вопроса) является пр. Q-40, у которого $K=5,513$, тогда как у сопоставляемого судна – $K=4,408$. Это – следствие большей величины полезной площади палуб, предоставленных для отдыхающих.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый авторами статьи принцип позволяет объективнее ранжировать суда по уровню комфортабельности, что может быть востребовано как на этапе проектирования и постройки нового флота, так и в процессе эксплуатации, в частности при проведении рекламных акций, планировании и определении финансово-экономических показателей деятельности.

На основе конечного общего показателя комфортабельности судну может быть присвоен класс «звездности», который будет характеризовать соответствие

теплохода значениям конструктивной и сервисной комфортабельности и позволит более качественно оценить условия пребывания туриста на борту во время рейса.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ Р56221-2014 Туризм и сопутствующие услуги. Речные круизы. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2020. – 10 с.
2. ГОСТ Р55699-2013 Доступные средства размещения для туристов с ограниченными физическими возможностями. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2020. – 28 с.
3. Экономическая стратегия развития речных пассажирских перевозок в северных районах РФ / Зефиоров В.К. // Речной транспорт (XXI век). 2013. – № 5(64). – с. 70-75.
4. Математическая модель оптимизации пассажирских судов пригородного и местного сообщения / Е.В. Купальцева, Е.П. Роннов // Вестник ВГАВТ. 2017. – № 52. – с. 100-106.
5. Речная справочная книжка корабельного инженера Е.Л. Смирнова [Электронный документ] – Режим доступа: www.russrivership.ru.

Фото из архива редакции

КСТАТИ

В качестве показателя величины полезной площади палубы рекомендуется принимать отношение удельной площади на 1 пассажира в каютах с мягкими местами к среднестатистическому значению этой площади при аналогичной вместимости.



Рассредоточение стока по рукавам среди островов сложноразветвленного русла средней и нижней Лены, его изменчивость и учет при выполнении путевых мероприятий

АВТОРЫ:

Р. С. ЧАЛОВ, д.г.н., профессор, кафедра гидрологии суши (КГС), главный научный сотрудник Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева (НИЛЭПиРП) МГУ им. М.В. Ломоносова; **А. И. САХАРОВ**, руководитель ФБУ «Администрация Ленводпуть»; **Г. Б. ГОЛУБЦОВ**, к.г.н., младший научный сотрудник (м.н.с.) НИЛЭПиРП; **А.А. КУРАКОВА**, к.г.н., м.н.с. НИЛЭПиРП; **В.А. СЕМАКОВ**, ведущий инженер НИЛЭПиРП

Исследования выполнены по госзаданию КГС (№ 121051400078-1) и НИЛЭПиРП (№ 121057100166-А) – исходные материалы, при финансовой поддержке РНФ (проект 23-17-00065 – натурные исследования, русло-вой анализ, разработка рекомендаций по путевым работам) и при техническом обеспечении ФБУ «Ленводпуть»

Объектами исследований являются участки очень сложно разветвленного русла средней и нижней Лены, характеризующиеся рассредоточением стока по многочисленным рукавам и протокам, регулярным перераспределением в них расходов воды, значительной шириной поймы и самого русла.

На нижней Лене, особенно ниже устья Вилюя, суммарная ширина реки (вместе с островами) достигает 28 км, русло разделяется островами разных размеров на 10-15 проток и рукавов в одном поперечнике; водность даже самых многоводных зачастую не превышает трети общего расхода воды в реке. Этот участок нижней Лены представлен 4 следующими друг за другом звеньями разветвлений: Монастырским (1240-1195 км судового хода (СХ) от устья), Черпальским (1195-1135 км), Сахам (1135-1065 км) и Медвежьим-Виноградным (1095-1085 км); каждое из них образовано десятками больших и малых остро-

вов (рис. 1). Общая длина участка по оси СХ составляет 175 км.

Большая часть стока реки сосредотачивается в двух основных лево- и правобережных рукавах параллельно-рукавных разветвлений. Правый рукав на всем протяжении участка – судоходный и несколько более многоводный, расположенный вдоль или вблизи правого коренного берега (хребет Омулаган), в свою очередь характеризуется разветвлениями второго порядка. Они еще более свойственны левому рукаву, где образованы большим количеством островов.

Острова и их группы между левым и правым рукавами в центральной части русла разделены субпараллельными им, меньшими по водности рукавами, различными по ширине и длине, между которыми и основными рукавами осуществляется гидравлическая связь. Отдельные рукава посередине реки по диагонали расчленяют группы островов в центральной части русла, создавая условия для частичного пере-

мещения расхода воды из правого судоходного рукава в левый. Ниже выступов и мысов правого коренного находятся группы прибрежных островов, разделенных маловодными протоками, обуславливающими извилистость верхней части основных рукавов в каждом звене, усиливающими отклонение потока от коренного берега.

Вторым для изучения участком на нижней Лене является Белогорский, между устьями Алдана и Лены, завершающий пойменно-русловое разветвление и находящийся на перевале СХ из левого рукава к правому коренному (горному) берегу. Основной расход воды перед перевалом проходит по левому судоходному рукаву (более 75%) возле яра левобережной поймы. Ниже по течению основной расход воды сосредотачивается в правом судоходном рукаве односторонних разветвлений вдоль правого коренного берега (Белая гора) – около 45%. На перевале СХ сток воды



Рис. 1. Общая схема (космоснимок) разветвленного русла нижней Лены ниже устья Вилюя: 1 – границы звеньев разветвлений; 2 – положение стрежневой зоны потока в левом и правом основных рукавах и во вторичных разветвлениях основных рукавов; 3 – то же в субпараллельных рукавах; 4 – то же в диагональных рукавах

рассредоточивается в практически равной степени между рукавами судоходным и за о.Чаячий (45,2, 42,2 и 55% соответственно); межостровные и заостровные (прибрежные) протоки забирают от 0,6 до 13%.

На средней Лене оценка рассредоточения стока и состояния трассы СХ была выполнена в Намском (1595-1535 км) и Буденновском (в его верхней части – Делюсюнях) параллельно-рукавном разветвлении (1595-1580 км). Первое (нижнее по течению) из них представляет собой участок реки, в котором еще 50 лет назад русло было относительно прямолинейным, проходящим среди лево- и правобережных островов и характеризовавшимся извилистостью СХ, огибавшего массивные прирусловые отмели (побочни, осередки), располагавшиеся в шахматном порядке. Зарастание отмелей и превращение их в острова привело к его трансформации в параллельно-рукавное разветвления с практически равноценным распределением расходов воды в судоходном левом и правом рукавах (при сохранении небольшой части стока в прибрежных протоках).

Второе (верхнее) Буденновское (Делюсюнях) разветвление еще в начале XXI века представляло собой одно из звеньев чередующихся односторонних разветвлений, где судоходный (основной по водности) рукав огибал группу левобережных островов, среди которых выделялась по водности Буденновская протока, проходящая в начале вдоль левого пойменного берега. В настоящее время она стала судоходным рукавом, заби-



Рис. 2. Монастырское разветвление (1240-1195 км по СХ) и расположение створов измерения расходов воды в июле 2021 г. (таблица 1)

рающим 55,2% расхода воды и образующим с правым параллельно-рукавное разветвление.

Исследования рассредоточения стока по рукавам разветвлений были выполнены в навигации 2021 и 2023 годов. Их результаты были сопоставлены с данными неоднократно проведенных измерений в течение 1970-2000-х годов [1, 2, 3, 4]. Это позволило установить закономерности русловых перестроений, рассредоточения стока, обосновать основные принципы и конкретные рекомендации для обеспечения надежности и устойчивости водного пути в известных пределах.

На участке нижней Лены ниже устья р.Вилуи наиболее водным на протяжении всего периода воднотранспортного освоения реки (с конца XIX века) является правый основной рукав. Воды левого притока р.Вилуи сосредотачиваются в левом рукаве Лены, куда поступают в полном объеме выносимые им наносы, обуславливая его мелководность и, несмотря на соразмерность со стоком воды правого

рукава, формирование вторичных разветвлений и большого количества отмелей [2]. Большой водности и меньшей разветвленности правого рукава способствует наличие ведущего коренного берега. Водность обоих основных рукавов по их длине существенно меняется из-за отвлечения части стока (или наоборот впадения) в них рукавов между островами в центральной части русла, чему способствуют также прибрежные разветвления, отвлекающие часть стока в протоки, и разделение основных рукавов на разветвления 2-го порядка, что влияет на формирование в них перекатов и регулярное изменение положения фарватера, тем самым осложняя условия судоходства.

Вся система разветвлений Монастырских–Черпальских–Сахам составляет единое параллельно-рукавное разветвление нижней Лены. Ее прямым продолжением являются разветвления ниже по течению вплоть до с. Жиганск. На границах звеньев разветвлений в общей акватории между ухвостьем

Измеренные расходы воды в навигации 1974, 2021 и 2023 годов в Монастырском разветвлении (1240-1195 км) Таблица 1

№ створа (по рис. 2)	Рукав, протока	24.06-1.08.1974 г.		05.07.2021 г., срезка 324 см	17.07.2023 срезка 310 см
		Q, м³/с	Срезка, см	Q, м³/с (%)	Q, м³/с (%)
1	Единое неразветвленное русло ниже устья р. Вилуи	23 589	297	29478	30130
2	Левая протока у о.Монастырский на заходе в левый основной рукав	2601	244	5468	-
3	Левый основной рукав	10412	188	10703	9310
4	Субпараллельный рукав (между островами Оймякон и Сордоннох)	675	261	3812	5023
5	Между островами Бахсы и Сордоннох	556	188	1751	-
6	Правый основной СХ рукав (у о.Джура)	14272	188	17195	15597
7	Правый основной СХ рукав (у о.Оймякон)		188		

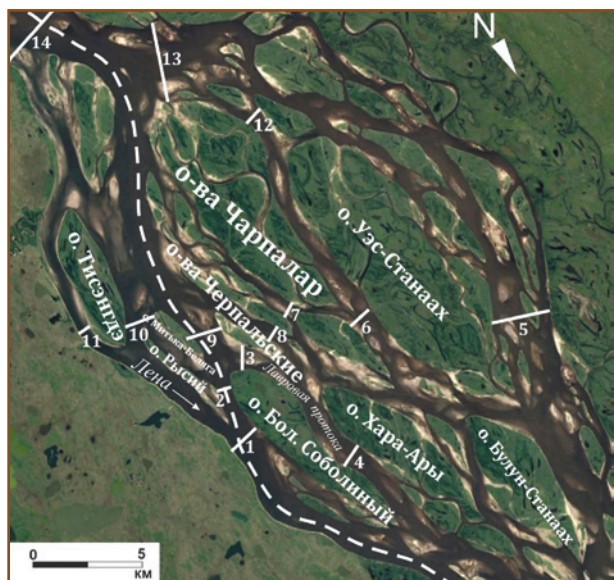


Рис. 3. Черпальское разветвление (1195-1135 км) и расположение створов измерения расходов воды (таблица 2)

верхнего звена и приверхом нижнего четко прослеживаются (как на космических снимках, так и при анализе скоростей течения потока) две динамические оси: левая, выходящая из левого рукава, направля-

ющаяся затем в левый же рукав нижележащего, и правая, направляющаяся в правый рукав. Визуально это подчеркивается цветом водной поверхности из-за разницы в мутности воды левой и правой ленской.

Первое, верхнее из звеньев, Монастырское разветвление имеет протяженность 36 км (40,1 км по СХ) при наибольшей ширине русла (с островами) 12,6 км. В нем насчитывается 29 островов различных размеров, из которых 15 расположено в центральной части русла между левым и правым основными рукавами. Остальные

острова образуют вторичные разветвления основных рукавов и на заходе в них. Между Монастырским и нижележащим Черпальским разветвлением, где русло сужается до 5,1 км, находится единая акватория около 4 км без островов. Черпальский узел при длине 55 км имеет наибольшую ширину до 28 км.

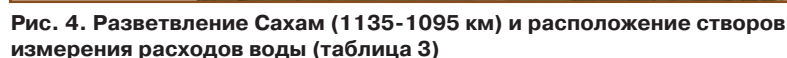
В центральной части, между левым и правым основными рукавами, насчитывается более 40 островов, они образуют свыше 15 разветвлений этих рукавов (из них 6 в периферийной части русла). В разветвлении Сахама наибольшая суммарная ширина реки – 16,6 км, при его длине – 43,3 км, по СХ – 46 км. Количество островов между лево- и правобережными рукавами – 36, в том числе образующих разветвления 2-го порядка в рукавах – 5, прибрежных – 8. Между разветвлениями Черпальским и Сахама ширина русла сокращается до 11 км, но в отличие от сужения перед Черпальским разветвлением, здесь сохраняются прибрежные разветвления как с левой, так и с правой стороны русла, образованные несколькими островами.

Измеренные расходы воды в разветвлении Черпальском-Рысьем (1195-1135 км)

Таблица 2

№ створа (по рис. 3)	Рукав, протока	5.08-6.09.1974 г.		19-20.07.1993 г.		25.06.2020 г., срезка 379 см	04.07.2021 г., срезка 333 см	15.07.2023 г., срезка 330 см
		Q, м³/с	Срезка, см	Q, м³/с	Срезка, см			
1	Правый у о.Бол.Соболиный (судоходный)	13742 (51,6)	294	8100 (36,1)	180	16401 (39,7)	13402 (42)	14180 (41,7)
2	Между о.Рысий и о. Бол.Соболиный	-	-	-	-	7038 (17,1)	5841 (18,3)	5317 (15,6)
3	Диагональный у о.Бол.Соболиный	6837 (25,7)	294	2450 (11,0)	190	3095 (7,5)	1996 (6,3)	-
4	Лавровая протока	3503	294	2485	190	5345	4062	-
5	Левый	8009	294	9000	180	12255 (21,7)	9934 (31,2)	8906 (26,2)
6	Центральный между островами Уэс-Станаах и Черпальскими	2408	294	-	-	4292	2936	-
7	Центральный между островами Чарпалар и Черпальскими	-	-	-	-	1617 (3,9)	1106 (3,5)	-
8	Левая на заходе в диагональный рукав	1444 (5,4)	243	-	-	3648 (8,8)	2621 (8,2)	-
9	Правый между островами Митька-Беляга и Черпальскими	7473 (28,1)	231	5800 (26,0)	190	8479 (20,5)	6996 (22)	-
10	Между островами Митька-Беляга и Тисэнгдэ	6203 (23,3)	231	7701 (23,4)	190	7674 (18,7)	6874 (21,5)	-
11	Правобережная за о.Тисэнгдэ	-	-	-	-	-	-	1970 (5,7)
12	Центральный рукав (заход)	-	-	-	-	-	-	2495 (7,3)
13	Левый (заход)	-	-	-	-	-	13226 (40,7)	11401(33,5)
14	Единое русло	22622	231	22400	190	41035	31894	34040

Водность основных рукавов (левого и правого судоходного) в узле разветвления перед оголовком центральных островов составляет около 40 и 60% соответственно. В левый рукав из диагональной протоки поступает всего 6%, остальная часть воды по протокам



Особенностью разветвления является изменение соотношения водности в основных рукавах в зависимости от фазы водного режима. По данным измерений в 2006 г. на пике половодья относительная водность левого рукава в его низовьях достигала 70%, тогда как правый сосредотачивал около 30%. По мере снижения уровней водность рукавов выравнивается с небольшим преобладанием доли правого рукава – 55-57%. Очевидно, это обусловлено активным функционированием в половодье межостровных протоков посередине реки и диагонального рукава между островами Сордонных и Оймякон,

Таблица 3

№ ство- ра (по рис. 6)	Рукав, протока	26.06-11.07.1971 г.		28-29.07.1994 г.		24.06.2020 г., срезка 379 см	03.07.2021 г., срезка 353 см	14.07.2023 г., срезка 331 см
		Q, м³/с	Срезка, см	Q, м³/с	Срезка, см			
1	Правобережная за безымянным островом	440 (0,7)	512	-	-	1200 (2,9)	863 (2,5)	-
2	Правый судоходный у о.Бол.Лэпсэнээй	19010 (28,1)	498	19215 (62,7)	290	17997 (43,2)	15757 (45,1)	-
3	Между безымянным островом и о. Бол. Лэпсэнээй	8060 (11,9)	498	-	-	6935(16,5)	6599 (18,9)	-
4	Субпараллельный между островами Бол. и Мал.Лэпсэнэй	2290	471	1100	290	1480	1014	-
5	Левая диагональная между островами Сахам и Лэпсэнээй	17250	544	10700	290	9035	7130	6675
6	Правая протока вдоль о.Сахам	-	-	-	-	3758	4155	3633
7	Субпараллельный между островами Хангкыя и Лэпсэнээй	3170	547	4300	290	3390	2735	1806
8	Левый основной	26410	565	6070	290	7721	7373	7962
9	Правый между островами Сахам и Малый	21560	547	9920	270	2281	1775	1222
10	Судоходный между о.Малый и правым берегом					13502	12291	12404

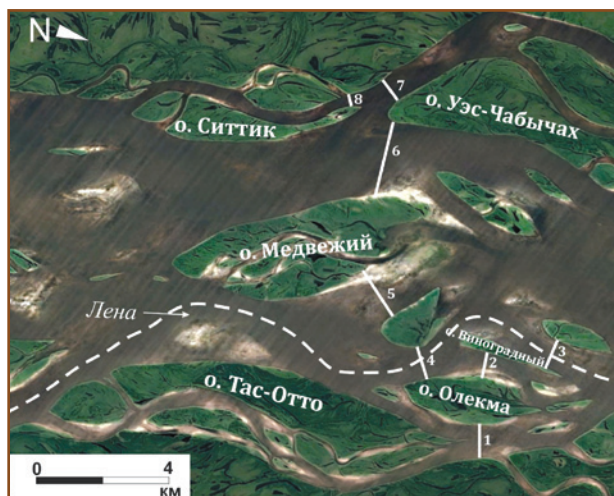


Рис. 5. Разветвление Медвежье-Виноградное (1095-1065 км) и расположение створов измерения расходов воды

по которым осуществляется переток из правого рукава в левый. А левобережные и центральные рукава здесь выполняют наносотсасывающую роль, аккумулируя в том числе и наносы, поступающие из р.Вилуи.

Этому способствуют:

1) расположение правого рукава вдоль ведущего правого коренного берега, вследствие чего в половодье возникает поперечный уклон в сторону центральных рукавов, левого рукава и затопленной левобережной поймы;

2) направляющее воздействие прибрежных островов Люккяр, отклоняющих течение к узлу разветвления (островами Арбын и Сордоноох);

3) половодье на р.Вилуи, весь сток которого направлен в левый рукав.

В данной ситуации наиболее водными, но относительно мел-

кими, и происходит отток воды в левый и диагональный рукава). Так определяются благоприятные условия для преимущественного развития правого рукава, которые остаются неизменными в течение, по крайней мере, с конца 1950-х годов.

Для сокращения оттока воды в диагональный рукав между островами Сордоноох и Бахсы и улучшения СХ на Монастырских перекатах необходима разработка спрямляющей прорезы через правобережный побочень, сильно искривляющий фарватер и направляющий поток в диагональный рукав, используя уже развивающуюся побочневую протоку.

Черпальское разветвление находится ниже Монастырского, после того как стрежни потока сближаются в единой акватории и вновь расходятся по двум основным рукавам

кими (кроме захода в них) оказываются левый основной рукав и диагональный рукав. Правый рукав следует вдоль коренного берега, имеет на значительной части своей длины плесовый характер (кроме захода в него, где формируются Монастырские перекаты в нижнем крыле излучины, огибающей правобережные острова

(рис. 3, таблица 2). Центральная часть русла заполнена крупными и многочисленными малыми островами, разделенными маловодными пойменными протоками и более крупными продольными, субпараллельными и диагональными рукавами; последний разделяет весь островной массив на верхнюю (острова Чарпалар, Уэс-Станаах) и нижнюю (острова Бол. Соболиный, Булун-Станаах, Хара-Ары и др.) части. В прибрежной части русла, за мысом правого коренного берега и конусом выноса р.Лямпунка, имеются крупные острова Тополиный (Тирэх) и Тисэнгдэ на заходе в правый рукав; левый рукав, как и в Монастырском разветвлении, – относительно мелководный и разделяется на разветвления второго порядка.

Особенностью Черпальского разветвления является его значительная ширина (до 28 км), преобладание водности правого основного рукава (42,2%) и его расположение вдоль высокого коренного берега. Продольные рукава посередине реки (между островами Черпальскими, Чарпалар и Уэс-Станаах) – сравнительно маловодны (4,5 и 9,2% соответственно). Левый рукав на заходе забирает 33,5% расхода воды, но из-за большого оттока в межостровные протоки его водность в нижней части падает до 6%. Диагональный рукав, отходящий влево у оголовка о.Бол.Соболиный забирает 14,5% стока, но 12% уходит в продольный рукав (между островами Бол. Соболиный и Хара-Ары).

Островами второго порядка (Митька-Беляга и Рысий) правый основной рукав на перевале потока, огибающего прибрежные острова к правому коренному берегу, разделяется на три протоки, между которыми в многолетнем плане про-

Измеренные расходы воды на перекатном участке Медвежий-Виноградный (1095-1065 км)

Таблица 4

№ створа (по рис. 7)	Рукав, протока	14.07.2023 г., срезка 331 см		29.07.1994 г.			22.07.1971 г.		
		Q, м³/с	Доля в створе, %	Q, м³/с	Доля в створе, %	Срезка, см	Q, м³/с	Доля в створе, %	Срезка, см
1	Между ПБ и о.Олекма	2100	6,4	1130	7	140	370	2,2	90
2	Между островами Олекма и Виноградный	670	2,0	390	2,5	290	70	0,3	90
3	Рукав слева от о.Виноградный	8362	15,6	—	—	—	5390	32,3	90
4	Рукав между оголовком о.Олекма и безымянным островом	5148	25,3	5180	31	140	—	—	—
5	Справа от о.Медвежий	9862	—	—	—	—	—	29,8	—
6	Между островами Медвежий и Уэс-Чабычак	13134	39,7	6850	41	145	9910	47,1	185
7	Рукав между о.Уэс-Чабычак и левым берегом	—	—	2150	12	146	2485	11,9	185
9	Протока между левым берегом и о.Ситтик (выход)	3366	11,0	—	—	—	—	—	—

исходит периодическое перераспределение стока (как следствие, изменяется трасса СХ).

Периодичность в изменении водности рукавов возле этих островов совпадает по времени с большим или меньшим отвлечением части стока в диагональный рукав перед о. Бол.Соболиный и из него в субпараллельную Лавровую протоку.

В те годы, когда возрастает водность протоки справа от о.Рысий (вдоль правого коренного берега), заход в диагональный рукав мелет, доля стока в нем сокращается в 2-2,5 раза. Такие колебания водности рукавов и периодическое их развитие связаны со смещением кос и отмелей в устье правобережных островов Тисэнгдэ и Тирэх, перекрывающих заход в правый рукав у о.Рысий, превращая его в длинную затонину вдоль правого коренного берега, с последующим их отторжением, благодаря чему поток вновь перемещается в правую протоку у о.Рысий. Одновременно с этим на заходы в диагональный рукав и на протку слева от о.Митька-Беляга надвигается массивный побочень, смещающийся вдоль верхней части центральной группы островов, перекрывая и способствуя их обмелению. Подобные переформирования во второй половине XX века наблюдались каждые 10-12 лет, но с 1990-х годов продолжительность цикла в среднем составляла 7-9

лет. В развитии диагонального рукава эта периодичность отражается в колебаниях водности правого основного рукава в пределах от 36,1% (1993 г.) до 51,6% (1974 г.), в 2021-2023 годах – 42%. Такое рассредоточение стока воды в нижней части правого основного рукава на его подходе к правому коренному берегу приводит к формированию здесь перекатов, являющихся одними из самых затруднительных для водного транспорта, требующих проведения регулярных дноуглубительных работ для обеспечения нормальных условий судоходства.

В многолетнем плане и в разные фазы водного режима водность именно субпараллельных рукавов

колеблется очень незначительно. Величина оттока воды в диагональном рукаве (створ № 3) из правого рукава перед оголовком о.Бол. Соболиный изменяется весьма значительно: максимальная доля рас-

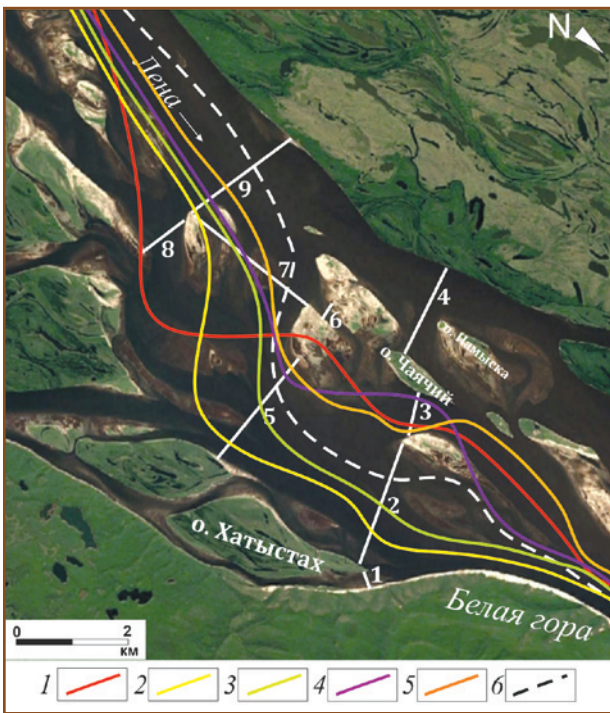


Рис. 6. Разветвление русла на Белогорском перекатном участке, расположение створов измерения расходов воды и положение СХ: 1-5 – в разные годы с 1958-го по 2020-й; 6 – в навигацию 2023 г.

Измеренные расходы воды в навигации 2020 и 2023 годов на перекатном участке Белогорский (1370-1340 км)

Таблица 5

№ створа (по рис. 6)	Рукав, протока	18.07.2023 г., срезка 290 см		04-08.07.2020 г., срезка 283 см	
		Q, м³/с	Доля в створе, %	Q, м³/с	Доля в створе, %
1	Правобережная (Черное ребро), 1350 км	128	0,6	178	0,7
2	СХ, 1350 км, в том числе	10860	45,2	10733	40,6
	справа от осередка	6100	25,5 (56,2)		
	слева от осередка	4760	20 (43,8)		
3	Рукав справа от о.Чаячий, 1350 км	3122	13	4843	18,3
4	Левый рукав у о.Чаячий, 1350 км, в том числе	9866	41,2	10691	40,4
	о.Чаячий – о. Намыска	1512	6,3 (15)		
	о. Намыска – левый берег	8354	34,9 (85)		
5	СХ, 1354 км	10665	44,6	-	
6	Заход в левую протоку справа от о.Чаячий, 1351 км	3365	14	-	
7	Судоходный рукав, 1356 км	4798	20,1	-	
8	Правый, 1360 км	4233	17,6	5405	20,5
9	СХ, 1360 км, в том числе	18029	75,4	17170	65
	справа от осередка	1639	6,9 (31,5)		
	слева от осередка	16390	68,5 (68,5)		

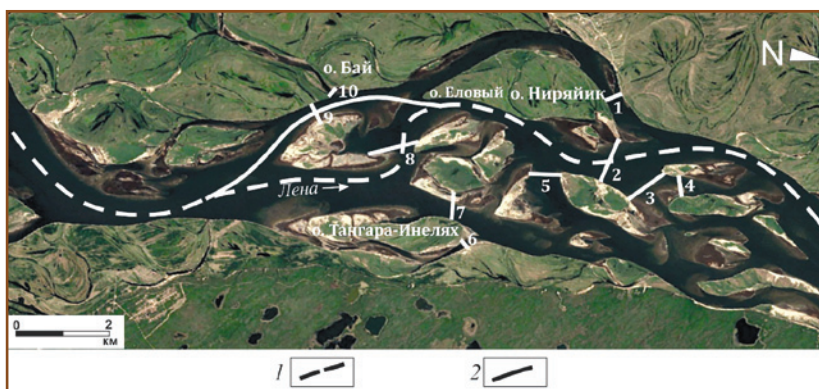


Рис. 7. Намское разветвление (1595-1535 км) и расположение створов измерения расходов воды 20 июля 2023 г.: 1 – положение СХ в навигацию 2023 г., 2 – развивающееся положение СХ по данным исследований 2023 г.

хода в нем была зафиксирована в 1971 г. – 31%. Это – следствие описанных выше переформирования русла правого рукава.

Значит, при относительно малой изменчивости во все фазы водного режима распределения стока р.Лена в Черпальском разветвлении между левым и правым основными рукавами (60-70% и 40-30% соответственно), постоянство водности субпараллельных (центральных) сравнительно маловодных рукавов, существенные колебания водности, связанные с местными переформированиями русла наблюдаются только в диагональном рукаве, в отходящем от него центральном рукаве нижней части звена – Лавровой протоке и особенно в судоходном рукаве в разветвлениях 2-го порядка, образованных островами Митька-Беляга и Рысий, создавая серьезные затруднения на водном пути.

Разветвление **Сахам** по своему морфологическому строению является аналогичным Черпальскому, продолжая параллельно-рукавные разветвления и составляя их следующее звено. После незначительного сужения здесь русло вновь разделяется на два основных и на субпараллельные им рукава. Среди них выделяются диагональный рукав между островами Бол.Лэпсэней и Сахам, а также многочисленные межостровные маловодные протоки посередине реки. Слева от о.Сахам группы островов посередине реки вновь разделены субпараллельными рукавами. Суммарная (с островами) ширина русла равна 13-17 км, количество островов и рукавов в одном створе превышает 10.

Соотношение расходов воды двух основных рукавов (см. таблицу 3) – с небольшим преобладанием стока в правом основном судоходном рукаве (55-60%). А левый

рукав в сумме с субпараллельными рукавами и межостровными протоками забирает до 40-45%.

Основным и наиболее важным фактором, определяющим морфодинамику русла, как и выше по течению, является разделение речного потока на два основных рукава, в каждом из которых формируются острова и осередки, в свою очередь разделяющие их на протоки 2-го порядка. Но в отличие от Монастырского и Черпальского разветвлений, здесь водность основных рукавов различается почти в 3 раза, чему способствует направляющее воздействие вогнутости левого берега в Черпальском звене и образование посередине русла цепочки островов, перекрывающих заход в левый рукав в разветвлении Сахам. В результате по все трем звеньям происходит последовательное увеличение водности правых судоходных и снижение левых рукавов. В правом судоходном рукаве перераспределение расходов воды по рукавам разветвлений 2-го порядка, смещение и продвижение на заходы в рукава побочной, на фоне сезонных и многолетних колебаний стока реки, как и в Черпальском разветвлении, приводят к периодическому изменению положения динамической оси потока (в результате трассы СХ) и такой же периодичности в активизации диагонального рукава у о.Сахам.

Правый рукав (в нижней части звена) у о.Сахам разделяется на две ветви о.Малый. В 1989-1995 годах слева от него сосредотачивалась большая часть расхода воды, но к 2020 г. эта протока обмелела, ее водность составила 4-5%. При этом

Измеренные расходы воды в навигации 2021 и 2023 годов в Намском разветвлении (1565-1535 км)

Таблица 6

№ створа (по рис. 7)	Рукав, протока	20.07.2023 г., срезка 310 см		02-03.06.2020 г., срезка 467 см	
		Q, м³/с	Доля в створе, %	Q, м³/с	Доля в створе, %
1	Намская	2362	15,7	3642	19
2	Судоходная у о.Намский	7827	50,3	-	-
3	Поперечная ниже выхода из Намской протоки	3667	23,6	-	-
4	Межостровная	2665	17,1	2567	13
5	Межостровная	1130	7,3	-	-
6	Правобережная за о. Тангара-Инелях	200	1,3	405	2
7	Правый рукав, 1548,5 км	6475	41,6	6495	34
8	Судоходный рукав, 1550 км	4128	26,5	-	-
9	Левобережная, 1550 км	4344	28	4724	25
10	Межостровная	214	1,4	298	2

протока справа от о.Малый, куда в начале 2010-х годов был переведен СХ, забирает около 32%.

В настоящее время перестроения русла и рассредоточение стока по рукавам в разветвлениях Черпальском и Сахам обеспечивают близкие к оптимальным состояние фарватера. Значит, перед Службой пути администрации бассейна стоит задача: на основе систематического мониторинга выполнять путевые мероприятия по его сохранению, осуществляя оперативное отторжение побочных, надвигающихся на узлы разветвления и вызывающие нежелательные и неблагоприятные перераспределения расходов воды.

В разветвлении Медвежье-Виноградное (рис. 5) – прямом продолжении Монастырского-Черпальского-Сахам параллельно-рукавного русла – основной тенденцией его режима является снижение водности правобережной системы рукавов за счет оттока воды в левый рукав по поперечным протокам и рукавам. В итоге он становится самым многоводным: суммарно в левобережной части русла (слева от о.Медвежий) сосредотачивается около 60% расхода воды в реке. Однако мелководность данной части русла обуславливает расположение СХ в правом рукаве, несмотря на его отход от коренного берега, повышенную вторичную разветвленность, формирование затруднительных для судоходства перекатов, регулярное перемещение стока по протокам между островами (см. таблицу 4), в том числе в течение навигации при сезонных колебаниях стока, и, как следствие, неустойчивости положения фарватера.

В 1971 г. водность правого судоходного рукава была до 30%

общего расхода воды. В левом рукаве за о.Медвежий концентрировалось в среднем до 40% расхода; при срезке 226 см водность равнялась 32,7%, при срезке 186 см – 42,2%.

По измерениям 1994 г. водность периферических (прибрежных) рукавов практически не изменилась, но значительно уменьшилась доля стока в основном рукаве справа от о.Медвежий (между ним и о. Виноградный): до трети расхода воды проходило слева от о.Виноградный между его оголовком и безымянным островом (нынешний судоходный рукав). Однако измерения в 1994 г. выполнялись при относительно низких уровнях воды: срезка была менее 140 см, суммарный расход на участке – около 16900 м³/с.

В настоящее время в рукаве слева от о.Медвежий проходит около 40% расхода, что сопоставимо со значениями 1994 г., но меньше чем в 1971 г. Водность судоходного рукава у оголовка о.Виноградный достигает 25,3%, но ниже по течению в районе его устья она снижается до 15,6% из-за отвлечения части стока в левобережную систему.

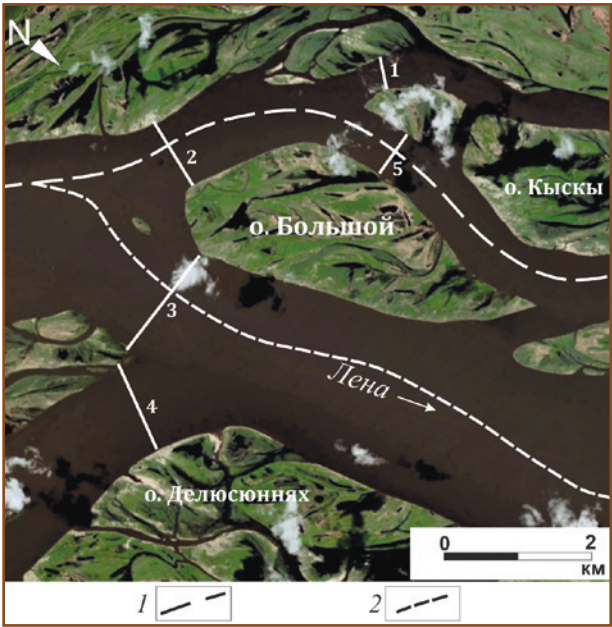


Рис. 8. Верхняя часть Буденновского (Делюсюннх) разветвления и расположение створов измерения расходов (таблица 7). Положения судовой хода: 1 – с 2015 г. (левый рукав); 2 – до 2023 г. (правый рукав)

Белогорские разветвления на перевале СХ из левого рукава пойменно-руслового Белогорского разветвления в правый рукав вдоль коренного берега одностороннего разветвления отличаются постоянным его блужданием между небольшими элементарными островами (Чаячий, Намыска и др.) и многочисленными осередками [3, 5]. В акватории длиной около 10 км вдоль реки (между устьями островов верхнего пойменно-руслового до оголовка островов нижнего одностороннего) поток рассредоточивается по протокам, и водность СХ на всем протяжении перевала изменяется от 15-20 до 40%.

На рис. 6 (современный космоснимок) показаны основные раз-

Измеренные расходы воды в навигации 2020 и 2023 годов в Буденновском (Делюсюннх) разветвлении (1595-1580 км)

Таблица 7

№ створа (по рис. 7)	Рукав, протока	20.07.2023 г., срезка 310 см		03.06.2020 г., срезка 467 см	
		Q, м³/с	Доля в створе, %	Q, м³/с	Доля в створе, %
1	Левобережный, 1585 км	1539	10	2965	15
2	Левобережный СХ – Буденновская протока, 1589 км	8407	55,2	9600	50
3	Старый СХ, 1590 км, в том числе	5013	32,9	5489	38
	слева от осередка (фарватер)	3980	26,1 (79,1)		
	справа от осередка	1033	6,8 (20,6)		
4	Правобережный – протока Соттинская, 1590 км	1808	11,9	2549	13
5	СХ рукав, 1585 км	6868	45,1	6451	34



личные положения фарватера, которые имели место с конца 1950-х годов до 2023 г., а также положение створов измерения расходов воды в навигацию-2023. Положение СХ в 2023 г. в основном соответствует линии наибольшего расположения водности потока.

Постоянное изменение фарватера связано с развитием кос и отмелей в устьях островов верхнего разветвления, их смещением, вызывающим его искривление и усложнение рассредоточенности стока, отторжением и частичным спрямлением. Оптимальным является положение СХ вдоль устьев верхних островов, соответствующее наиболее короткому и наименее извилистому перевалу от левого пойменного к правому коренному берегу; при этом оно соответствует и большей водности судоходных проток. Полный цикл переформирования длится около 25-30 лет, охватывая до 12-14 лет смещения в нижнее положение переката, до 5-6 лет – верхнее положение, и до 9-10 лет – спрямленного положения СХ [5]. В настоящее время (2021-2023 годы) оно максимально приближается к верхнему (оптимальному), которое следует ожидать в ближайшей перспективе благодаря уже намечающимся отторжениям кос в начале перевала и правобережной отмели в его конце (таблица 5).

Намское разветвление на средней Лене (1595-1535 км) за вторую половину XX в. и 2000-е годы претерпело существенную трансформацию, превратившись из прямолинейного русла с шахматным расположением крупных побочной и лево- и правобережными маловодными разветвлениями в параллельно-рукавное разветвление с сохранившимися прибрежными протоками (рис. 7). Из них правобережное, отделяющее основное русло от правого коренного (террасового) берега, – маловодно (менее 2%), левобережное Намское забирает 15,2% стока.

Самые значительные изменения в уже сформировавшемся параллельно-рукавном разветвлении произошли в 2020-е годы в верхней части левого судоходного

рукава (на заходе в него). Здесь при сосредоточении большей части расхода воды в целом в левом рукаве (54,5%), на заходе в него, он распределяется практически поровну по протокам возле безымянного острова. В последние годы активно развивалась левобережная протока, и в 2023 г. доля стока в ней была 28 %, что выше на 3% показателя 2020 г. при значительно большем расходе воды в реке; в правой протоке на заходе в левый судоходный рукав – 26,5% (таблица 6), хотя в период измерений в июле 2023 г. в ней разрабатывалась дноуглубительная прорезь. Очевидно, что перевод СХ в развивающуюся протоку приведет к выводу находящегося здесь переката из числа лимитирующих, а также снизит отвлечение стока в Намскую левобережную протоку, заход в которую окажется за плечом левого берега. Это в свою очередь должно благоприятно отразиться на состоянии перекатов в нижней части левого судоходного рукава.

Буденновское (Делюсюннх) разветвление как параллельно-рукавное сформировалось в 2000-е годы в результате развития левого спрямляющего рукава в одном из звеньев чередующихся односторонних разветвлений – Буденновской протоки. Ранее эта и другие левобережные протоки забирали не более 20-23% расхода воды, и основной сток проходил по правому судоходному рукаву, огибающему группу левобережных островов. Заход в него со временем становился все более крутым из-за развития отмелей и кос в устье вышележащих правобережных островов. Водность вновь сформировавшегося судоходного левого рукава (Буденновской протоки) достигает теперь более половины стока реки (55,2%), из которого ниже по течению в левобережную протоку уходит 10%, и в судоходном рукаве остается 45,1%. По сравнению с 2000 г., сток в Буденновской протоке вырос на 5%, тогда как в левобережной протоке на 1585 км он наоборот снизился. Относительный расход бывшего правого судоходного рукава упал с 38 до почти 33%. Почти на 11% выросла доля стока в судоходном

рукаве ниже ответвления левобережной протоки (рис. 8, таблица 7).

Таким образом, разнообразие разветвлений на средней и нижней Лене обуславливает различные условия рассредоточения стока – от развития новых рукавов при трансформации морфодинамических типов русла и коренного изменения положения трассы СХ, проложенной по вновь ставшим основными рукавам (Буденновское и Намское разветвления на средней Лене), до систематических колебаний водности основных рукавов и изменения фарватера в процессе деформаций русла судоходных рукавов и временных изменений водности меж-островных проток посередине русла (в прибрежных разветвлениях и в параллельно-рукавных разветвлениях нижней Лены).

Основываясь на выявленных закономерностях рассредоточения стока и связанных с ними переформирований русел в целом или судоходных рукавов в частности, авторами настоящей статьи были подготовлены рекомендации по проведению путевых мероприятий, призванных обеспечить улучшение местных условий судоходства.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Русловой режим и регулирование русла средней и нижней Лены / Беркович К.М., Борсук О.А., Гаррисон Л.М., Кирик О.М., Лодина Р.В., Рулева С.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В. // Эрозия почв и русловые процессы, 1981. – Вып. 8. – с. 125-156.
2. Водные пути бассейна Лены. – М.: МИКИС, 1995. – 600 с.
3. Ленские “разбои”: ретроспективный анализ переформирования, прогнозные оценки и регулирование русла / Чалов Р.С., Кирик О.М. // Эрозия почв и русловые процессы, 2015. – Вып. 19. – с. 294-338.
4. Морфология русла и рассредоточение стока среди островов сложных параллельно-рукавных разветвлений нижней Лены и их многолетняя изменчивость / Чалов Р.С., Голубцов Г.Б., Завадский А.С., Головлев П.П., Чалов С.Р. // Водные ресурсы, 2023. – Т. 50, № 3. – с. 274-285.
5. Многолетние направленные и периодические деформации Белогорских перекатов на р. Лене и временная трансформация подходов к их выправлению. / Чалов Р.С., Кирик О.М., Ильясов А.К., Ботавин Д.В. // Речной транспорт (XXI век). 2014. – № 2. – с. 82-87.

КСТАТИ

Разнообразие разветвлений на средней и нижней Лене обуславливает различные условия рассредоточения стока.

НАУЧНЫЕ РАБОТЫ / SCIENCE WORKS

40 ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова

В.И. Дмитриев, В.В. Каретников, Д.Ф. Миляков.

Особенности нормативного регулирования безопасности плавания автономных судов ВВТ

41 ВГУВТ

М.В. Осокин, М. В Жуков, В.И. Тихонов. **Анализ развития современных критериев устойчивости судна в неповрежденном состоянии**

46 СГУВТ

С.П. Андриющенко, А.С. Дмитриев, Д.С. Тельцов, О.Б. Лебедев, С.Н. Иванчик.

Обзор проблематики энергетической эффективности морских судов и способов сокращения ими выбросов парниковых газов

48 СГУВТ

О.Ю. Бородина, С.П. Глушков. **Трибомеханическая система динамического гасителя крутильных колебаний вязкого трения судового дизеля**



52 СГУВТ

Б.О. Лебедев, О.Б. Лебедев, Е.В. Жердева.

Об использовании биотоплива в качестве горючего в дизельном двигателе речного судна

54 СГУВТ

В.В. Шамова, В.В. Беляева, С.В. Ступко, В.В. Саликов, А.В. Ботвинков.

Применение ГИС-технологий в натуральных исследованиях узлов слияния рек (на примере Сибирского региона)

56 ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова

Д.А. Морозова.

Модель контейнерной линии на основе теории графов в контексте стратегического планирования

60 АННОТАЦИИ

61 ANNOTATIONS

63 ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

УЧРЕЖДЕНИЕ: ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова

ТЕМА: Особенности нормативного регулирования безопасности плавания автономных судов внутреннего водного транспорта (ВВТ)

АВТОРЫ: В.И. ДМИТРИЕВ, к.т.н., доцент, профессор кафедры «СнаВВП»; В.В. КАРЕТНИКОВ, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «СнаВВП»; Д.Ф. МИЛЯКОВ, к.т.н., Научный центр прикладной электродинамики

УДК 656.62

Безопасность (безаварийность) плавания судов по внутренним водным путям (ВВП) подразумевает реализацию с целью охраны человеческой жизни и имущества, а также защиты окружающей среды определенной совокупности технических, организационных, эксплуатационных и правовых средств и методов, соответствующих достигнутому научно-техническому уровню оснащённости флота и принципам его использования [1].

При этом значение организационных мероприятий будет возрастать с повышением роли человека в данном процессе. Таким образом, специалисты, занимающиеся созданием и последующим применением современной техники, в том числе в области автономного судоходства, должны обладать особыми компетенциями, позволяющими им принимать оперативные и адекватные решения для обеспечения безопасности (ОБ) людей, флота и окружающей среды.

Известно [2], что основным фактором, влияющим на безопасность судоходства, является «человеческий». Преимущественно он является главной причиной транспортных происшествий на ВВП – вследствие полного или частичного нарушения как экипажем, так и береговым персоналом формализованных в нормативных актах требований.

С 30 мая по 9 июня 2023 г. в штаб-квартире Международной морской организации (ИМО) прошла 107-я сессия Комитета по безопасности на море. Среди прочих тем эксперты рассмотрели вопрос о разработке целеориентированного инструмента для морских автономных надводных судов (МАНС). Его предлагалось сделать обязательным за счет внесения поправок в конвенции СОЛАС, МАРПОЛ и другие документы ИМО.

Однако, поскольку действие нормативной базы, сформированной этой структурой, не распространяется на ВВП России [3], то воз-

никает проблема с терминологией: называть безэкипажные морские суда «автономными», как рекомендует ИМО, получается не совсем корректно.

Ведь под «автономностью» традиционно подразумевается время, в течение которого судно способно находиться в море, выполняя запланированный рейс, без пополнения запасов питьевой и технической воды, провианта и расходных материалов, не относящихся к движению, а также без смены экипажа. Следовательно, по мнению авторов настоящей статьи, правильно применять понятие «морские безэкипажные надводные суда» (МБНС). Упомянутый термин «автономные суда» (АС) уже используется, и его необходимо принять как официально закреплённый не только в международной, но и в национальной практике. Последнее нашло отражение в отечественных федеральных законах – кодексах торгового мореплавания [4] и внутреннего водного транспорта [5].

Значит, нужно придерживаться нормативно закреплённой терминологии.

Согласно Положению по классификации морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов (МАНС) Российского морского регистра судоходства под «автономным» (автономно управляемым) понимается судно, которое управляется без участия человека, следуя рейсовому заданию [6].

Для обеспечения безопасности плавания автономного (или полуавтономного) судна требуется оборудование поста контроля/управления, с помощью которого будут осуществляться оперативный мониторинг и управление таким флотом, – Центра дистанционного управления судном (судами) (ЦДУ). Он может быть построен по принципу централизованного или децентрализованного управления и размещен на берегу либо другом судне, в зависимости от структуры управления и решаемых задач.

Мониторинг состояния АС может проводить любое количество центров, но управление должно быть реализовано адресно.

Персонал ЦДУ, уполномоченный обеспечивать безопасную эксплуатацию АС, может быть классифицирован как внешний экипаж, состоящий из внешнего капитана и специалистов по управлению. Они должны иметь определенные квалификационные свидетельства, подтверждающие прохождение спецподготовки, в том числе на передовых тренажерных комплексах, и приобретение надлежащих компетенций в областях дистанционной эксплуатации судовой энергетической установки, электрооборудования, средств автоматики и радиоэлектронного оборудования АС.

Проверка соответствия требованиям к квалификации, опыту работы и уровню профессиональной подготовки внешнего экипажа автономного (полуавтономного) судна и порядок выдачи квалификационных свидетельств должны осуществляться администрациями бассейнов ВВП. Формы свидетельств внешнего капитана и специалистов по управлению АС должны устанавливаться федеральным органом исполнительной власти в сфере транспорта в положении о дипломировании членов внешних экипажей АС внутреннего плавания [7].

Внешний капитан при управлении АС может быть классифицирован как лицо, ответственное за управление судном, и тогда он должен выполнять все функции и обязанности, возложенные законодательством РФ и международными договорами на капитана судна по ОБ плавания и предотвращению загрязнения окружающей среды.

Член внешнего экипажа АС будет находиться в подчинении у внешнего капитана и нести ответственность за выполнение функций по управлению АС с целью ОБ его плавания [7].

Лоцманскую проводку автономных (полуавтономных) судов рачи-

онально осуществлять из ЦДУ. Этот процесс может быть реализован совместно лоцманом и внешним капитаном АС либо самостоятельно внешним капитаном, при условии прохождения им стажировки в лоцманской службе для всех зон, в которых предполагается эксплуатация автономного (полуавтономного) судна. Кроме того, внешний капитан АС должен иметь действующее свидетельство о прохождении стажировки и лоцманское удостоверение, выданное администрацией бассейна. Данное условие является подтверждением квалификации лоцмана и дает право внешнему капитану самостоятельно выполнять лоцманскую проводку флота, но только определенных размеров и назначений, в конкретном районе.

Автоматизированная система управления движением АС характеризуется источниками опасности [8]:

- чрезмерная тенденция к сближению автономного (полуавтономного судна) с любым другим судном и/или навигационной опасностью на расстоянии, не гарантирующие своевременного безопасного расхождения;

- неблагоприятное влияние внешней среды, создающее угрозу снижения мореходных качеств судна, потери необходимой точности и надежности дистанционного управления, смещения груза, либо повреждения АС или его элементов.

Каждый член внешнего экипажа АС в составе Службы движения – подсистемы, входящей в ЦДУ, должен выполнять конкретные правила проведения технологических операций, гарантирующих соблюдение установленных ограничений по безопасности плавания. Эти ограничения и правила могут распространяться как на традиционный флот, так и на АС, и должны быть формализованы специальными документами, знание которых обязательно

для любого сотрудника Службы движения.

Для судов внутреннего плавания такими документами являются, в том числе Кодекс ВВТ, Технология работы и должностные инструкции специалиста берегового центра управления самоходными безэкипажными судами, а также правила для ВВП, утвержденные федеральным органом исполнительной власти в области транспорта: плавания судов; движения и стоянки судов в бассейнах; пропуска судов через шлюзы; диспетчерского регулирования движения судов и управления движением судов; радио-связи подвижной службы и подвижной спутниковой службы.

Наиболее подходящим правовым инструментом для установления квалификационных требований к указанным специалистам может являться Положение о дипломировании членов внешних экипажей АС.

Источник деятельности внешнего экипажа АС – поток требующих управления событий, возникающих в процессе изменения обстановки в зоне ответственности ЦДУ. Такие события связаны с перечисленными источниками опасности, когда появляются нарушения в выполнении действующего порядка движения флота, опасного сближения с другим судном, попадание в зону неблагоприятных метеоявлений и т.д. Появление на маршруте перехода событий, требующих управления, внешний экипаж ЦДУ распознает с помощью имеющихся средств получения информации о состоянии судоходной обстановки.

Результаты деятельности внешнего экипажа по ОБ плавания АС оцениваются по безошибочности и своевременности принимаемых решений, выполнения установленных ограничений и правил в конкретной ситуации.

В области автономных технологий на ВВТ главными следует считать проблемы разрешения неопределенности восприятия информации при расхождении судов, при плавании в сложных условиях, пересмотр правил предупреждения столкновения и законодательной базы на случай аварии.

По мере распространения АС можно прогнозировать постепенное снижение роли «человеческого фактора» в управлении флотом, которое будет осуществлять уже искусственный интеллект и соответствующие автоматизированные системы. Значит, международные морские нормативные акты потребуют кардинального пересмотра.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Приоритетные вопросы внедрения беспилотных судов на морском и внутреннем водном транспорте / Каретников В.В., Миляков Д.Ф. // Морская радиоэлектроника. 2018. – № 4 (66). – с. 4-6.
2. Учет индивидуально-психологических особенностей плавательного состава и влияние человеческого фактора на безопасность транспортного процесса // Каретников В.В., Козик С.В., Соколова И.А. / Вестник АГТУ. Серия «Морская техника и технология». 2018. – № 1. – с. 16-23.
3. Морские суда без экипажей – реальность и перспективы (сб. научн. докладов РУТ и АММП от 29.10.2020 г.). 2020. – 41 с.
4. Кодекс торгового мореплавания РФ от 30.04.1999 г. № 81-ФЗ (в ред. от 19.10.2023 г. с изм. и доп. от 01.04.2024 г.).
5. Кодекс ВВТ РФ от 07.03.2001 г. № 24-ФЗ (в ред. от 19.10.2023 г.).
6. Положения по классификации морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов. – Российский морской регистр судоходства, 2020. – 96 с.
7. Закон от 10.07.2023 г. № 294-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ».
8. К вопросу оценки рисков использования безэкипажных средств водного транспорта на участке акватории // Каретников В.В., Козик С.В., Буцаец А.А. / Вестник ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. 2019. – Т. 11, № 6. – с. 987-1002.

УЧРЕЖДЕНИЕ: Волжский государственный университет водного транспорта (ВГУВТ)

ТЕМА: Анализ развития современных критериев остойчивости судна в неповрежденном состоянии

АВТОРЫ: М.В. ОСОКИН, доцент; М.В. ЖУКОВ, аспирант; В.И. ТИХОНОВ, профессор; кафедра «Судовождение и безопасность судоходства»

УДК 656.61.052

Сегодня остойчивость судна на международном уровне регламентируется обязательными минимальными требованиями, перечисленными в ч.4 А Кодекса [1] 2008 г. наряду с поправками, принятыми в

разные периоды после ввода в действие его положений. При этом в ч.В документа содержатся дополнительные рекомендации по критериям остойчивости судов разных типов, перевозящих некоторые виды грузов.

Главными являются обязательные требования к минимальному значению метацентрической высоты, запасу статической и динамической остойчивости на спокойной воде (в виде минимальных значений плеч статических и динамических восстанавливающих моментов при определенных углах крена), углу статического опрокидывания судна в заданном состоянии загрузки, а также предельным углом статического крена и амплитуды бортовой качки при совместном воздействии на судно ветра (в том числе шквала) и волнения.

Поскольку к моменту разработки и утверждения Международной морской организацией (ИМО) указанного Кодекса не был выполнен достаточный объем научных исследований поведения судна на взволнованной поверхности моря, упомянутые критерии базируются преимущественно на статистике аварийности.

В более поздних руководящих документах отмечается, что должный уровень безопасности плавания с точки зрения остойчивости не может быть основан только на правильном проектировании и загрузке единицы флота. Очень важно также обеспечение оптимального управления судном в суровых погодных условиях.

К настоящему времени было проведено (и проводится) множество исследований, посвященных различным аспектам динамической остойчивости судна на волнении. Их результаты публиковались в научных изданиях и выходили в формате рекомендаций судоводителям и руководящих документов. В качестве наглядного примера следует привести работы [2, 3, 4, 5, 6].

Кроме того, с развитием расчетных методов прогнозирования у судоводителей появилась возможность получать достаточно точные прогнозы погоды и волнения в виде полей ветра, а также полей высот и пери-

одов ветровых волн и зыби. На рис. показан вариант такого прогноза с популярного интернет-сайта [7] для ветровых волн и зыби в выбранном морском районе на конкретный момент.

Подохожие прогнозы с выделением цветом полей высот и периодов ветрового волнения и зыби для морей, омывающих территорию России, можно также найти на интернет-сайте Единой системы информации о мировом океане [8].

Результаты упомянутых изысканий были учтены в принятом Комитетом по безопасности мореплавания (КБМ) ИМО 4-11 ноября 2020 г. Временном руководстве по второму поколению критериев остойчивости судна в неповрежденном состоянии [9], базирующемся главным образом на новейших технологиях расчетов.

В документе впервые использован многоуровневый подход к оценке уязвимости судна на волне с точки зрения потери остойчивости без хода, развернутого лагом к волне, при одновременном воздействии на него качки и шквала; так называемой «чистой» потери остойчивости (когда она снижается ввиду уменьшения момента инерции действующей ватерлинии на волне); возникновения параметрического резонанса качки; недопустимых значений ускорений при качке; а также попадания судна в режимы серфинга и брочинга.

Точность получаемых результатов оценки возрастает от уровня к уровню с сопутствующим усложнением метода вычислений:

1 уровень. Применяется оценка уязвимости судна с запасом в наиболее неблагоприятных условиях регулярного волнения, практически не встречающегося в природе.

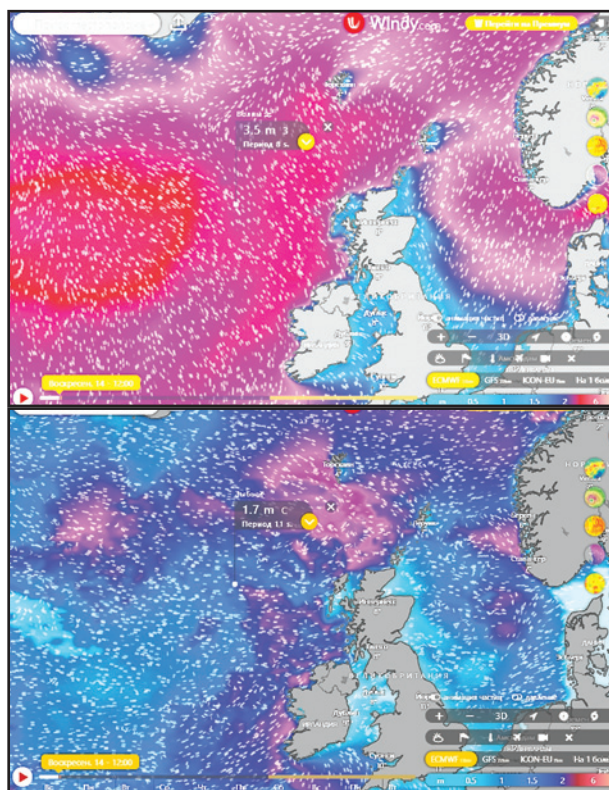
2 уровень. Оценка производится в реальных условиях, но по упрощенным математическим зависимостям, с учетом сочетания вероятности встречи судна с волной заданной обеспеченности с вероятностью возникновения упомянутых явлений на этой волне.

3 уровень. Используется еще более точный, так называемый «прямой» расчет возбуждающих и демпфирующих качку сил и моментов, действующих на судно на волнении, с использованием уравнений Крылова-Фруда.

Поведение судна на волне на 3 уровне прогнозируется посредством математического моделирования с помощью компьютерных программ, способных решать нелинейные задачи на движение, или модельных испытаний либо комбинации способов.

В случае невозможности соответствия критериям хотя бы одного из первых трех уровней циркуляр [9] рекомендует разработку и применение к судну в текущем статусе загрузки оперативного руководства и/или оперативных ограничений. Они должны предоставить судоводителю информацию об опасных условиях плавания (т.е. сочетаниях состояния моря, курсового угла по отношению к волне и скорости), которых следует избегать, а также (при необходимости) устанавливать ограничения возможности осуществления плавания с точки зрения географического района, планируемого маршрута и/или условий окружающей среды.

В циркуляре [9] отмечается, что второе поколение критериев остойчивости надлежит использовать в дополнение к требованиям Кодекса [1]. Это обусловлено многообразием размеров и обводов корпусов судов и условий их эксплуатации (различного сочетания высот и периодов волн в разных районах Мирового океана), и требуется апробация на практике методов вычислений, выполняемых для таких критериев.



Вариант представления полей высот и периодов ветрового волнения и зыби в современном прогнозе на интернет-сайте «Windy»

Государствам – членам ИМО было предложено довести указанную информацию до сведения всех заинтересованных сторон (классификационных обществ, судостроителей, капитанов, фрахтователей и собственников флота), а также делиться с ИМО опытом пробного использования критериев с целью их планируемого учета в обязательных требованиях.

В циркуляре КБМ ИМО [10] от апреля 2023 г. на основе последних научных разработок даются разъяснения и примеры практического применения методов, изложенных в [9], пригодных для оценки уязвимости судна с точки зрения его динамической остойчивости.

В настоящей статье кратко рассматриваются перечисленные методы для первого и второго уровней уязвимости судна, а также анализируются проблемы и перспективы их использования на практике.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА КРИТЕРИЕВ УЯЗВИМОСТИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА НА ПЕРВОМ УРОВНЕ

Расчеты для судна без хода в данном случае аналогичны вычислениям критерия погоды (он же «основной критерий») из Кодекса [1]. Единственное изменение затрагивает таблицу, предназначенную для выбора коэффициента крутизны волны при определении амплитуды качки через период собственных колебаний судна. Исходная таблица заменяется на приведенную в циркуляре КБМ ИМО [11]. При этом соблюдаются условия не превышения углом статического крена от воздействия на судно ветра расчетной силы минимального значения при выборе из двух вариантов: 80% от угла входа в воду кромки открытой палубы (или 16 град.), не превышения углом крена под ветер под воздействием качки и шквала

Критерии уязвимости динамической остойчивости судна на первом уровне по методам расчетов второго поколения критериев остойчивости

Ускорения при качке	«Чистая» потеря остойчивости
$\varphi \cdot K_L \cdot \left(g + \frac{4\pi^2 \cdot h_r}{T_\varphi^2} \right) \leq 4,64 \quad (1)$	$GM_{\min} \geq 0,05 \quad (2)$ $GM_{\min} = KB + \frac{I_{TL}}{\nabla} - KG \quad (3)$
Параметрический резонанс качки	Серфинг/бродинг
$\frac{\delta GM}{GM} \leq R_{PR} \quad (4)$	Длина судна составляет более 200 м или число Фруда по длине равно не более 0,3

Примечание. Обозначения в формуле (1):

φ – характерная амплитуда качки, учитывающая коэффициент эффективного волнового склона, крутизну волны, как функцию периода собственных колебаний судна и безразмерный логарифмический декремент затухания качки; K_L – коэффициент связи, учитывающий одновременное воздействие на величину ускорения бортовой и килевой качки, а также рыскания судна; g – ускорение свободного падения; h_r – высота возможного местонахождения экипажа или пассажиров над осью вращения судна при бортовой качке; T_φ – период собственных колебаний судна при бортовой качке

минимальной величины при выборе из трех значений: 50 град., динамического угла опрокидывания или угла заливания.

Основные формулы для расчетов по остальным видам уязвимости остойчивости представлены в таблице 1.

Структуры критериев «чистой» потери остойчивости и параметрического резонанса качки базируются на уравнениях гидростатики. Вычисления осуществляются для осадок судна, соответствующих гребню и подошве волны. Длина волны λ_w принимается равной длине судна, а крутизна $S_w=0,0334$ для «чистой» потери остойчивости, и $S_w=0,0167$ – для параметрического резонанса.

Рассматриваемые подходы применимы только к судам, имеющим в оконечностях корпуса развал бортов или вертикальные борта, и не пригодны для флота с завалом бортов внутрь. Это обусловлено тем обстоятельством, что только у судов с развалом бортов ординаты действующей ватерлинии, а значит, и ее момент инерции и метацентрический радиус уменьшаются при понижении уровня воды у борта на впадинах волн.

Наличие развала бортов в оконечностях корпуса определяется выражением:

$$\frac{\nabla_D - \nabla}{A_w \cdot (D - d)} \geq 1 \quad (5)$$

Если оно выполняется, то методы первого уровня применимы. В противном случае циркуляр [9] рекомендует использовать методы вычислений второго или третьего уровней.

Обозначения в уравнениях (2, 3, 4 и 5):

D – расчетная высота борта;

d – осадка судна при данной загрузке;

∇_D – объемное водоизмещение судна, определенное для осадки равной D на ровном киле;

∇ – объемное водоизмещение судна при осадке d ;

A_w – площадь действующей ватерлинии при осадке d .

GM_{\min} – метацентрическая высота, вычисленная по формуле (4) с учетом гидростатических элементов при осадке d_L , проходящей через впадину волны;

KB – аппликата центра величины;

I_{TL} – момент инерции действующей ватерлинии относительно ее продольной оси при осадке $d_L=d-\delta d_L$; здесь в качестве δd_L выбирается минимальное из двух значений: $\delta d_L=d-0,25d_{full}$ (оно не учитывается, если <1) или $\delta d_L=LS_w$;

L – длина судна по действующей ватерлинии;

d_{full} – осадка судна при полной загрузке на спокойной воде;

R_{PR} – лимитирующее значение, вычисляемое как функция от длины и ширины судна, коэффициента полноты мидель-шпангоута и площади скуловых килей;

GM – метацентрическая высота на спокойной воде;

δGM – амплитуда изменения метацентрической высоты, рассчитываемая как половина разности метацентрических радиусов при осадках, соответствующих заданной высоте борта судна и четверти от осадки при полной загрузке, либо учитывающих крутизну волны, как отмечалось ранее.

Уравнения (2, 3 и 4) таблицы 1 для упрощения определения изменения метацентрической высоты рассматриваются через изменения момента инерции действующей ватерлинии при определенных условных осадках на спокойной воде без учета реальной формы ватерлинии на волне.

Для уточнения момента инерции ватерлинии на волне можно предложить следующий принцип. Известно, что момент инерции действующей ватерлинии равен:

$$I_x = \frac{2}{3} \int_{-L/2}^{L/2} y^3 dx, \quad (6)$$

где y – ординаты действующей ватерлинии.

Поскольку корпус подавляющего большинства современных судов имеет цилиндрическую вставку с вертикальными в пределах изменения практических осадок бортами, на волнении ординаты ватерлинии меняются только в оконечностях корпуса, где имеется развал бортов. Поэтому для расчета изменения I_x на волне можно условно разделить реальный корпус судна на цилиндрическую вставку, где ординаты действующей ватерлинии не зависят от уровня воды у борта, носовую и кормовую оконечности, где изменение ординат каждой конкретной теоретической ватерлинии может быть аппроксимировано кубической регрессией вида:

$$y = A \cdot x^3 + B \cdot x^2 + C \cdot x + D, \quad (7)$$

Фигура, которой описывается ватерлиния на цилиндрической вставке как на спокойной воде, так и на волнении, представляет собой прямоугольник с шириной, равной ширине судна, и длиной, равной длине цилиндрической вставки на уровне данной ватерлинии. Определить момент инерции такой фигуры несложно: на волне он не отличается от такового на спокойной воде.

Коэффициенты регрессии вида (7) для теоретических ватерлиний в оконечностях корпуса можно подобрать, воспользовавшись онлайн-калькулятором, подобным [12], позволяющим автоматически выполнять подбор функции по ее графику с одновременной оценкой коэффициента корреляции. Значения абсцисс и ординат точек, из которых состоит теоретическая ватерлиния в оконечностях корпуса берутся с проекции «полуширота» теоретического чертежа судна. Для определения ординат точек, из которых состоят носовые и кормовые ветви действующей ватерлинии судна на волне, необходимо знать на каком расстоянии от гребня волны вертикальное расстояние от основной плоскости судна до поверхности воды на профиле волны соответствует аппликату теоретической ватерлинии.

Во втором приближении профиль волны может быть представлен как косинусоида, вычисленная с помощью известной зависимости:

$$z = \frac{h}{2} \cos\left(\frac{2\pi a}{\lambda}\right), \quad (8)$$

где z – вертикальное расстояние между уровнем спокойной воды при осадке d в данном состоянии загрузки судна и уровнем воды на профиле волны в точке его пересечения с данной теоретической ватерлинией, имеющей аппликату z ;

a – расстояние по горизонтали от гребня волны до линии, соответствующей расстоянию z на профиле волны;

λ – длина волны (принимается равной длине судна);

h – высота волны, соответствующая принятой длине волны.

Для обеспечения возможности пересечения поверхности воды на профиле волны с любой теоретической ватерлинией должно соблюдаться условие:

$$z = d + z, \quad (9)$$

Отсюда расстояние a от гребня волны до точки пересечения взволнованной поверхности воды с теоретической ватерлинией можно оценить по формуле:

$$a = \frac{\lambda}{2\pi} \arccos \frac{2(z-d)}{h}. \quad (10)$$

При следовании судна с курсовым углом q по отношению к волне, в тот момент, когда гребень проходит через миделевое сечение судна, носовая или кормовая ветвь любой теоретической ватерлинии, описываемая математической зависимостью вида (7), пересекается с поверхностью воды на профиле волны в точке, находящейся на расстоянии a от гребня волны.

Линию, соответствующую уровню воды на профиле двухмерной синусоидальной волны на уровне упомянутой конкретной теоретической ватерлинии, можно выразить математической зависимостью:

$$y = x \cdot \operatorname{tg}(90 + q) - \frac{L}{2} \cdot \cos q + \frac{a}{\sin q}. \quad (11)$$

Для определения абсцисс точек пересечения поверхности воды на профиле волны с теоретической ватерлинией судна можно приравнять правые части уравнений (7) и (11) и после преобразований получить уравнение:

$$A \cdot x^3 + B \cdot x^2 + (C - \operatorname{tg}(90 + q)) \cdot x + \frac{L}{2} \cdot \cos q - \frac{a}{\sin q} + D = 0. \quad (12)$$

Для решения уравнения (12) можно использовать другой онлайн-калькулятор [13] аналогичной серии. Определив значение x , находим величину y , используя выражение (11). Повторяем вычисления для каждой ватерлинии на теоретическом чертеже, получая координаты точек, в которых эти ватерлинии пересекаются с взволнованной поверхностью воды. Затем с помощью калькулятора [12] подбираем функцию, описывающую данную ватерлинию и, подставив ее в зависимость (6) вместо y , рассчитываем I_x на волне отдельно для левого и правого борта в носовой и кормовой частях корпуса. Прибавив значение момента инерции для цилиндрической вставки, получаем значение I_x ватерлинии на волне.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА КРИТЕРИЕВ УЯЗВИМОСТИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА НА ВТОРОМ УРОВНЕ

Критерии уязвимости по всем упомянутым выше видам нарушения остойчивости на втором уровне основаны на долгосрочном (в течение 1 ч) анализе вероятности возникновения несоответствия остойчивости установленным требованиям. Все они имеют структуру, показанную в уравнении:

$$\sum_{i=1}^N W_i \cdot C_{s,i} \leq R, \quad (13)$$

где W_i – краткосрочная вероятность попадания судна на волну с определенным сочетанием высоты и периода; она находится с помощью таблицы спектрального распределения высот и периодов волн посредством деления количества волн с определенными высотами и периодами в ячейке таблицы на общее количество волн во всех ячейках, равное 100000.

Такие таблицы составлены Международной ассоциацией классификационных обществ для различных районов Мирового океана и приводятся в различных источниках, в частности в [14]. Они базируются на све-

**Спектр высот и периодов
волнения для Северной Атлантики**

Таблица 2

Number of occurrences: 100 000 / T_z (s) = average zero-crossing wave period / H_s (m) = significant wave height																
T_z (s) ▶	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5
H_s (m) ▼																
0.5	1.3	133.7	865.6	1186.0	634.2	186.3	36.9	5.6	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.5	0.0	29.3	986.0	4976.0	7738.0	5569.7	2375.7	703.5	160.7	30.5	5.1	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0
2.5	0.0	2.2	197.5	2158.8	6230.0	7449.5	4860.4	2066.0	644.5	160.2	33.7	6.3	1.1	0.2	0.0	0.0
3.5	0.0	0.2	34.9	695.5	3226.5	5675.0	5099.1	2838.0	1114.1	337.7	84.3	18.2	3.5	0.6	0.1	0.0
4.5	0.0	0.0	6.0	196.1	1354.3	3288.5	3857.5	2685.5	1275.2	455.1	130.9	31.9	6.9	1.3	0.2	0.0
5.5	0.0	0.0	1.0	51.0	498.4	1602.9	2372.7	2008.3	1126.0	463.6	150.9	41.0	9.7	2.1	0.4	0.1
6.5	0.0	0.0	0.2	12.6	167.0	690.3	1257.9	1268.6	825.9	386.8	140.8	42.2	10.9	2.5	0.5	0.1
7.5	0.0	0.0	0.0	3.0	52.1	270.1	594.4	703.2	524.9	276.7	111.7	36.7	10.2	2.5	0.6	0.1
8.5	0.0	0.0	0.0	0.7	15.4	97.9	255.9	350.6	296.9	174.6	77.6	27.7	8.4	2.2	0.5	0.1
9.5	0.0	0.0	0.0	0.2	4.3	33.2	101.9	159.9	152.2	99.2	48.3	18.7	6.1	1.7	0.4	0.1
10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	10.7	37.9	67.5	71.7	51.5	27.3	11.4	4.0	1.2	0.3	0.1
11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	3.3	13.3	26.6	31.4	24.7	14.2	6.4	2.4	0.7	0.2	0.1
12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	4.4	9.9	12.8	11.0	6.8	3.3	1.3	0.4	0.1	0.0
13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.4	3.5	5.0	4.6	3.1	1.6	0.7	0.2	0.1	0.0
14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.2	1.8	1.8	1.3	0.7	0.3	0.1	0.0	0.0
15.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.6	0.7	0.5	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
16.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0

дениях, собранных с 1960-х по 1980-е годы, частично пересмотренных в 2001 году. При этом используется совместная функция плотности вероятности крутизны и длины конкретной волны при установившемся волнении согласно волновому спектру Бретшнайдера.

В циркуляре [9] используются приведенные в таблице 2 данные для Северной Атлантики. Здесь даны обозначения: переменная H_s – так называемая «значительная» высота волны с обеспеченностью 13,5%, приводимая в прогнозах волнения; переменная T_z – период волны; $C_{s,i}$ – краткосрочная вероятность возникновения данного вида нарушения остойчивости на волне высотой H_s с периодом T_z , зависящая от различных параметров, связанных с данным видом нарушения (виды нарушения требований к остойчивости отличаются процедурой расчета для получения значений $C_{s,i}$; процедура оценки каждого вида $C_{s,i}$ в общем виде приводится в циркуляре [9]; подробное описание структуры подобных расчетов с примерами их использования можно найти в циркуляре [10]); R – пороговое значение вероятности нарушения требований к остойчивости, которому необходимо соответствовать (составляет 0,06 для судна без хода, «чистой» потери остойчивости и первого критерия параметрического резонанса качки, а также 0,00039 – для ускорений при качке и 0,025 – для второго критерия параметрического резонанса; для режима серфинга/бродинга пороговое значение равно 0,005).

Краткосрочные критерии $C_{s,i}$ для судна без хода, а также для ускорений при качке оцениваются с помощью упрощенной динамической модели, включающей учет энергетических спектров ветра и волн, реакции судна на крен и ускорения при бортовой качке.

Как параметрический резонанс, так и «чистая» потеря остойчивости определяются двумя разными краткосрочными критериями. В первом случае один критерий оценивает величину изменения остойчивости в условиях набора из 16 волн, а второй учитывает изменение амплитуды качки во времени путем применения упрощенной динамической математической модели. Во втором случае оба критерия оценивают снижение показателей остойчивости в результате исследования изменения плеча восстанавливающего момента на волнах. Тогда каждый из двух критериев будет представлять собой средневзвешенное значение определенных параметров

стойчивости судна, которое считается статически расположенным на волнах заданной высоты и длины.

Краткосрочный критерий для серфинга/бродинга итеративно вычисляется посредством учета упора винта, сопротивления воды движению корпуса судна, в том числе дополнительного сопротивления от волнения.

В ходе развития практического применения положений циркуляра [9] в работе [4] предложен комплексный индекс, учитывающий одновременно все виды волнового воздействия на судно, как дополнительный инструмент для оценки показателей остойчивости на волнении для конструкторов и судостроителей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В циркуляре [9] упомянуты ограничения, присущие приводимым в нем методам оценки остойчивости, а именно: методы оценки остойчивости по критерию ускорения при качке требуют дальнейшей доработки, критерии уязвимости первого и второго уровней для режима нарушения остойчивости судна без хода иногда дают непоследовательные результаты. Таким образом, для некоторых судов на волне с определенными характеристиками на уровне 2, когда остойчивость рассчитывается с учетом обеспеченности нерегулярного волнения, требования к остойчивости могут не выполняться, в то время как на уровне 1 при расчете остойчивости на регулярном волнении они удовлетворяются.

Критерий уязвимости второго уровня для режима «чистой» потери остойчивости дает недостоверные результаты для судов с низким надводным бортом, то есть не учитывает влияние заливания палубы на момент инерции действующей ватерлинии. При этом в циркуляре [10] конкретизировано, что под такими судами в первую очередь имеются в виду суда-снабженцы буровых платформ с надстройкой в носовой части корпуса и протаженной грузовой палубой. Однако, по мнению авторов настоящей статьи, к таким судам могут относиться также любые небольшие суда, в частности, рыболовные, коастеры и суда смешанного «река-море» плавания.

Методики учета влияния заливания палубы на уменьшение остойчивости для такого флота нуждаются в уточнении. Несмотря на все упрощения и эмпирическую подгонку методов вычислений, математические зависимости для определения этих величин, как например, характерная амплитуда качки ϕ или краткосрочная вероятность возникновения нарушения остойчивости $C_{s,i}$ остаются достаточно сложными, требуют применения некоторых данных, не всегда доступных на борту судна, а вычисления по ним занимают достаточно продолжительное время.

Практическое применение второго поколения критериев остойчивости даже на уровне 1, не то что на уровнях 2 или 3, может сопровождаться большим количеством вычислений. Поэтому для обеспечения безопасности судна при его движении на волнении необходимо создание простых и быстрых (для практического использования) инструментов, способных оперативно учитывать как погодные условия, так и загрузку судна.

Применяемые в настоящее время для решения такой задачи компьютерные приложения достаточно успешно

справляются с данной задачей. Например, популярная на крупном флоте, работающем на трансокеанских линиях, программа «Bon voyage», написанная американской компанией «Applied Weather Technology», выдает на дисплей электронно-картографической навигационно-информационной системы наряду с проложенным маршрутом движения судна прогноз полей ветра и волнения, а также не рекомендуемые в прогнозируемых погодных условиях курсы и скорости (в зависимости от характеристик остойчивости при данной загрузке), позволяя учитывать потери скорости судна из-за воздействия погоды и волнения, определять расход топлива на переход с учетом этих потерь и т.д.

Но, во-первых, наличие компьютерных программ не отменяет требований к наличию на борту судна бумажной документации, позволяющей оценивать его остойчивость. Во-вторых, как показывает опыт, иногда даже при наличии подобного приложения на борту небольших судов их собственники оплачивают и задействуют не весь имеющийся функционал, чтобы сократить эксплуатационные расходы.

По мнению авторов статьи, решение проблемы видится в разработке для каждого конкретного проекта судна номограмм, вход в которые будет осуществляться с данными о курсовом угле, высоте и периоде волн с наиболее опасными для конкретного судна характеристиками, а также скорости и аппликате центра тяжести судна при данной загрузке, а на выходе будет определяться соответствие остойчивости критериям второго поколения в данных условиях. Подобные номограммы, используемые для оценки поведения судна в условиях волнения от кормовых курсовых углов, приведены, в частности, в [2]. Рационально дополнить судовой буклет «Информации об остойчивости» такими номограммами для любых курсовых углов прогнозируемого волнения.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. International code of intact stability [Электронный документ]. – Режим доступа: www.deckofficer.ru/titul/resolutions/item/imo-

international-code-on-intact stability. 2. Выбор безопасных скоростей и курсовых углов при штормовом плавании судна на попутном волнении (РД 31.00.57.2-91). – СПб: ЗАО ЦНИИМФ, 2001. – 58 с. 3. MSC.1/Circ.1228. Revised guidance to the master for avoiding dangerous situations in adverse weather and sea conditions. [Электронный документ]. – Режим доступа: www.cdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Safety/Documents/Stability/MS-C.1-CIRC.1228.pdf. 4. Evaluation by a quantitative index about intact stability performance in waves of a set of megayacht units / N. Petacco, P. Gualeni // Journal of marine science and engineering. 2023. – № 814. 5. Application of dead ship condition based on IMO second-generation intact stability criteria for 13K oil chemical tanker / Shin, D.; Chung, J. // Ocean eng. 2021 – № 238. 6. Influence of systematic hull shape variations on ship stability performances in waves / N. Petacco, G. Vernengo, D. Villa, A. Copped, P. Gualeni // J. Ship Res. 2021. – № 65. – р. 243–256. 7. Прогностические карты полей ветра и волнения для Мирового океана [Электронный документ]. – Режим доступа: www.windy.com/?56.333,44.001,5. 8. Единая система информации о мировом океане [Электронный документ]. – Режим доступа: www.193.7.160.230/web/esimo/black/wwf/wwf_black.php. 9. MSC.1/Circular.1627. Interim guidelines on the second generation intact stability criteria [Электронный документ]. – Режим доступа: www.crclass.org/wp-content/uploads/2023/10/2-6-MS-C.1-Circ.1627-Interim-Guidelines-On-The-Second-Generation-Intact-Stability-Criteria-Secretariat.pdf. 10. MSC.1/Circ.1652 26. Explanatory notes to the interim guidelines on the second generation intact stability criteria [Электронный документ]. – Режим доступа: www.puc.overheid.nl/PUC/Handlers/DownloadDocument.ashx?identifier=PUC_743708_14&versionnummer=1&type=pdf&ValChk=H_CVidw_4r2094jl45UwQTEqBT3USaMkmeb1fKw5g1. 11. MSC.1/Circular 1200. Interim Guidelines for Alternative Assessment of the Weather Criterion (24.05.2006) [Электронный документ]. – Режим доступа: www.imorules.com/MSCCIRC_1200.html. 12. Онлайн калькулятор «Planetcalc» [Электронный документ]. – Режим доступа: www.lplanetcalc.ru/5992/. 13. Online calculator «Planetcalc» [Электронный документ]. – Режим доступа: www.planetcalc.ru/1122/. 14. Standard wave data. IACS Rec. 1992/Rev.2 2022 [Электронный документ]. – Режим доступа: www.iims.org.uk/wp-content/uploads/2023/01/rec34rev2.pdf.

УЧРЕЖДЕНИЕ: Сибирский государственный университет водного транспорта (СГУВТ)

ТЕМА: Обзор проблематики энергетической эффективности морских судов и способов сокращения ими выбросов парниковых газов (ПГ)

АВТОРЫ: С.П. АНДРЮЩЕНКО, к.т.н. доцент; А.С. ДМИТРИЕВ, к.т.н., доцент; Д.С. ТЕЛЬЦОВ, аспирант; О.Б. ЛЕБЕДЕВ, к.т.н., доцент; С.Н. ИВАНЧИК, старший преподаватель; кафедра судовых энергетических установок

УДК 621.43

Согласно последним данным (рис. 1), около 70% всех товаров в мире перевозится морским транспортом, являющимся наиболее экономичным и одновременно с этим крупным источником загрязнения атмосферного воздуха.

В выхлопных газах судовых силовых установок содержится около 220 вредных веществ; самые опасные для всех живых организмов: окиси углерода, углеводороды, оксиды азота, серы и др.

По оценкам ученых, выбросы ПГ с флота достигают 3% глобального показателя. Ожидается, что в ближайшее десятилетие такие выбросы вырастут на 60% [1].

Оксиды азота составляют 20% величины мировых выбросов, тогда как оксиды серы – составляют примерно 10% чистых выбросов.

В соответствии с отчетом, опубликованным американским научно-исследовательским институтом, крупные грузовые суда ежегодно выбрасывают в атмосферу более 5000 т ПГ, в то же время бензиновый или дизельный автомобиль – лишь около 100 г.

Для сокращения вредных выбросов в атмосферу с судов Международная морская организация (ИМО) была вынуждена ввести новые понятия и принципы их выполнения.

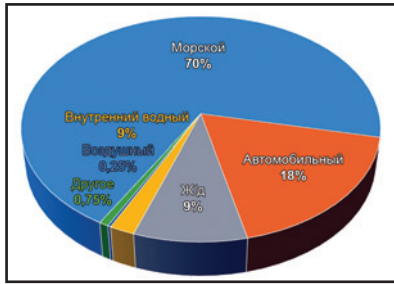


Рис. 1. Грузоперевозки по видам транспорта

ния экологических норм при перевозке грузов морским транспортом:

- снижение выбросов оксидов серы и азота посредством последовательного усиления как эксплуатационных, так и конструктивных требований, предъявляемых к энергоэффективности флота определенного класса и типа; например, оснащение судна скруббером и системами селективного катализа (Selective catalytic reduction – SCR), рециркуляции выхлопных газов (Exhaust gas recirculation – EGR), использования топлива с низким содержанием серы (Very low sulphur fuel oil – VLSFO), альтернативных видов горючего и т.п.;

- уменьшение выбросов ПГ путем повышения технической эффективности судовых силовых установок (Energy efficiency design index – EEDI) и внедрения эксплуатационных мер энергетической эффективности судна (Ship energy efficiency management plan – SEEMP);

- полное сокращение выбросов ПГ с судов к 2050 году, согласно Парижской конференции по климату [2].

В отношении первого пункта будет уместным описать и дать пояснение основных составляющих требований, а также указать их процентный прирост в экономии или генерации энергии:

- конструктивные:

1. Реализация технологий преобразования солнечной энергии в электрическую (1-3%);
2. Внедрение соответствующих конструктивных материалов (2-5%);
3. Проектирование необходимых движителей и движительно-рулевых комплексов (ДРК) в целом (1-8%);
4. Улучшение системы утилизации тепла (2-4%);
5. Надлежащие усовершенствования главной силовой установки (2-4%);
6. Модернизация вспомогательной силовой установки (1-4%);
7. Использование гибридной энергии (3-5%);
8. Реализация системы смазки типа «воздух–масло» (2-3%);
9. Проектирование системы балластных вод (5-7%);
10. Покрытие определенными лакокрасочными материалами корпуса судна и его надстроек (1-10%);
11. Применение носового бульба (3-7%).

- эксплуатационные:

1. Оптимизация дифферента и осадки (2-5%);
2. Использование грузовых помещений (7-24%);
3. Оптимизация маршрута судна (3-7%);
4. Береговое электропитание (3-5%);
5. Снижение скорости (13-34%).

В 2013 году ИМО представило EEDI для проектируемых морских судов (танкеры, газовозы, сухогрузы, контейнеровозы, рефрижераторы и т.п.).

В 2014 году были внесены поправки в правила EEDI. С тех пор они стали распространяться на танкеры СПГ,

Стратегия ИМО [3] по снижению выбросов ПГ подробно изложена в гл. VI МАРПОЛ 73/78 [4]. Она подразумевает три необходимых пункта, выполнение которых необходимо соблюдать с целью улучшения

суда типа «RO-RO» и круизные пассажирские суда, имеющие гибридные силовые установки.

В 2022 году ИМО анонсировало Energy efficiency existing ship index (EEXI) – индекс энергетической эффективности для существующих судов, то есть для тех, что были построены еще до введения EEDI (до 2013 года). Этот индекс охватывает весь торговый флот водоизмещением более 400 регистровых т.

Термин EEDI означает меры технического характера, применяющиеся на стадии проектирования судов, его основная задача – снижение выбросов ПГ на 1 т/милю.

Определять EEDI планировалось с помощью формулы [5]:

$$EEDI = \frac{FOC \cdot C}{C_{dwt} \cdot V_S}, \quad (1)$$

где FOC – часовой расход топлива всеми потребителями, г/ч;

C – коэффициент, учитывающий содержание CO_2 в применяемом (эксплуатируемом) виде топлива, г (CO_2)/г (топлива);

C_{dwt} – дедвейт судна, т;

V_S – скорость проектируемого судна, миль/ч.

Затем уравнение было пересмотрено и обновлено. Теперь наряду с ранее перечисленными условиями учитывается целый комплекс технических факторов: тип судна и его силовая установка, грузоподъемность, скорость движения, форма корпуса, род применяемого горючего и т.д.

Таким образом, зависимость (1) принимает вид:

$$EEDI = \frac{\left(\prod_{j=1}^n f_j \right) \left(\sum_{i=1}^n P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right)}{f_i \cdot f_c \cdot C_{dwt} \cdot f_w \cdot V_S} + \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE^*} \right)}{f_i \cdot f_c \cdot C_{dwt} \cdot f_w \cdot V_S} + \frac{\left(\left(\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^n P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^n f_{eff(i)} \cdot P_{AEff(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right)}{f_i \cdot f_c \cdot C_{dwt} \cdot f_w \cdot V_S} - \frac{\left(\sum_{i=1}^n f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} \right)}{f_i \cdot f_c \cdot C_{dwt} \cdot f_w \cdot V_S}, \quad (2)$$

Здесь в числителе:

$\sum_{i=1}^n P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)}$ – слагаемое, отражающее удельный расход топлива и мощность главной судовой энергетической установки при работе на 75% мощности от номинальной;

$\sum_{i=1}^n P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE^*}$ – удельный расход топлива и мощность имеющихся на судне дизель-генераторов, предназначенных для обеспечения электроэнергией всех потребителей;

$\left(\sum_{i=1}^n P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^n f_{eff(i)} \cdot P_{AEff(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE}$ – мощности, потребляемые валогенератором и вырабатываемые при реализации инновационных методов для получения электроэнергии на борту;

$\sum_{i=1}^n f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME}$ – мощность, получаемая при выработке с помощью инновационных методов.

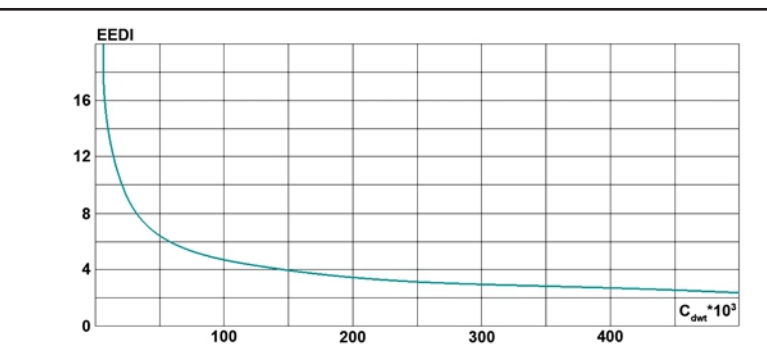


Рис. 2. Пример графика для танкеров

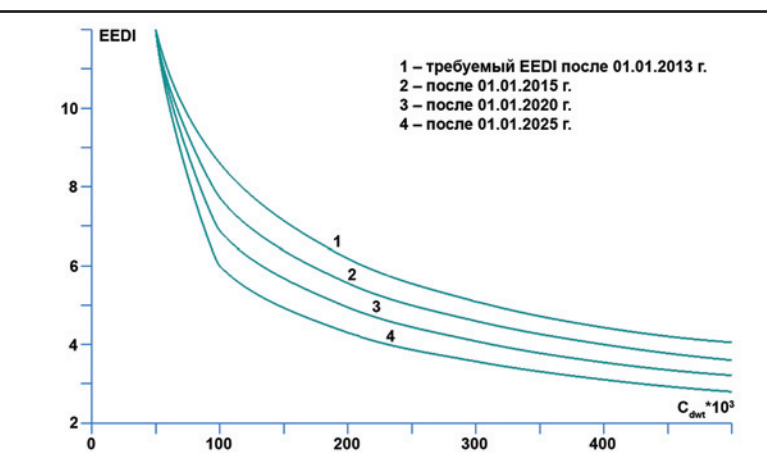


Рис. 3. Стратегия сокращения количества ПГ

В знаменателе:

C_{dwt} – дедвейт для грузовых судов, или валовая вместимость для пассажирских;

V_S – скорость проектируемого судна;

f_b, f_j, f_c, f_w – коэффициенты, учитывающие условия эксплуатации и назначение проектируемой единицы флота.

Далее полученное EEDI сопоставляется с графическими данными для действующих судов: рассчитанная величина должна быть меньше либо равна значению на кривой.

В свою очередь графические зависимости $EEDI=f(C_{dwt})$ были получены в результате сбора и обработки статистики по эксплуатируемому флоту на основе баз данных «Lloyd's Register» (рис. 2) [6].

Стратегия МАРПОЛ подразумевает дальнейшее ужесточение коэффициента EEDI, что накладывает на собственников флота и судостроителей обязательства по принятию соответствующих решений для сокращения выбросов ПГ во всех судоходных районах мирового океана (рис. 3).

Таким образом, необходима оптимизация процессов на всех этапах – от начала проектирования судна до его грамотной технической эксплуатации экипажем.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Анализ влияния внедрения водородной энергетики на транспорте на снижение выбросов / Розов И.В., Спиренкова О.В., Титов С.В., Тушина А.С. // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2023. – № 2. – с. 164-169.
2. Анализ перспективных видов низкоуглеродного топлива для водного транспорта / Розов И.В., Снытников П.В., Спиренкова О.В., Титов С.В., Тушина А.С. // Речной транспорт (XXI век). 2023. – № 3 (107). – с.35-38.
3. IMO (2010a). Reduction of greenhouse gas emissions from ships (report of the working group on energy efficiency measures for ships). – Paper MEPC 61/WP.10.
4. International convention for the prevention of pollution from ships, 1973, as amended by the Protocol of 1978 (MARPOL 73/78), as amended in 2013.
5. Guidelines on the method of calculation of the attained EEDI for new ships. – Resolution MEPC 66/21/Add 1 Annex 5, MEPC. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.schonescheepvaart.nl/downloads/regelgeving/doc_1400076573.pdf.
6. Энергетическая эффективность судов и регламентация выбросов ПГ / Иванченко А.А., Петров А.П., Живлюк Г.Е. // Вестник ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. 2015. – № 3(31).

УЧРЕЖДЕНИЕ: Сибирский государственный университет водного транспорта (СГУВТ)

ТЕМА: Трибомеханическая система (ТМС) динамического гасителя крутильных колебаний (КК) вязкого трения (ВТ) судового дизеля

АВТОРЫ: О.Ю. БОРОДИНА, аспирант; С.П. ГЛУШКОВ, д.т.н., профессор; кафедра судовых энергетических установок

УДК 621.431.74:53.091:534.013

В судовых двигателях КК традиционно принято гасить с помощью гармонических балансиров – демпферов, обеспечивающих ВТ в слоях силиконовой жидкости, занимающей пространство (зазор 0,75-2,0 мм) между ступицей и маховиком.

Здесь в качестве наполнителя применяется полиметилсилоксан, являющийся реологической жидкостью с кинематической вязкостью от 0,0065 до 2 м²/с (от 6500 до 2000 000 сСт).

В процессе возникновения в металлополимерной паре трения большую роль играют трибохимические реакции,

инициаторами которых служат термическая и механическая деструкции вещества и, как следствие, проявление делатансии из-за трибосинтеза его мономеров [1].

ТМС демпфера ВТ состоит из подсистем: контактирующих элементов (корпус, ступица, подшипник, маховик – инерционная масса), полимерного материала и внешней среды [2].

ТМС характеризуется:

– входными факторами: комплексом нагрузки, воздействующей на систему в виде нагрева, колебаний, изменения нагрузочно-скоростных факторов,

моментов сил воздействия на систему колебаний;

- выходными факторами: преобразованием энергии, эффективностью работы демпфера, вибрацией, шумом, выделением теплоты;

- структурой: элементами (тело, контртело, промежуточная среда), свойствами (материалов, промежуточной среды в теле демпфера и окружающей среды) и взаимодействием (условия трения, механизмы износа и т.д.) [3].

Известно, что при работе силовых установок с ДВС возбуждаются резонансные вынужденные колебания. Они служат источником дополнительных динамических нагрузок во всех звеньях и узлах передачи, влияют на появление шума, вибрации, нагрев участков валопровода, повышение расходов топлива и масла.

При упругих колебаниях системы учитываются действующие на нее нагрузки, а именно – момент сил инерции масс $M_{и}$, момент сил упругости вала $M_{у}$, внешние переменные моменты сил, вызывающие вынужденные колебания $M_{к}$, моменты сил сопротивления колебаниям M_{ζ} [4, 6]:

$$M_{и} = J \frac{d^2\varphi}{dt^2}, \quad M_{у} = C\varphi, \quad M_{к} = A \sin(k\omega t + \varepsilon), \quad M_{\zeta} = \xi \frac{d\varphi}{dt},$$

$$-M_{и} - M_{\zeta} + M_{у} = M_{к}, \quad J \frac{d^2\varphi}{dt^2} + \xi \frac{d\varphi}{dt} + C\varphi = A \sin(k\omega t + \varepsilon),$$

где J – массовый момент инерции;

C – коэффициент жесткости вала при кручении;

φ – фазовый угол;

t – время;

A – амплитуда k -й гармоники;

k – порядок гармоники;

ω – угловая скорость вращения вала;

ε – начальная фаза гармоники по отношению к положению поршня в верхней «мертвой» точке.

С целью гашения резонансных колебаний при эксплуатации двигателя используются как технические средства изменения параметров КК, так и специальные динамические вибрационные выпрямители.

Действие последних основывается на уравнивании возмущающего момента или изменении частоты колебаний системы без поглощения энергии (анти-вибраторы) и с таковым; во втором случае энергия, подводимая возмущающим моментом, рассеивается в атмосферу в виде теплоты (демпферы сухого и вязкого трения, упруго-фрикционные, с резиновым демпфирующим элементом, комбинированные демпферы) [5, 7].

Для оценки КК в системе необходимо оперировать суммарной работой сил сопротивления и учитывать силы трения внешние и внутренние [8].

Момент трения демпфера в крутильной системе коленвала двигателя равен:

$$M'_{mp} = \zeta_d \omega_c (A_1 - A_d),$$

где ζ_d – коэффициент демпфирования (для дизелей изменяется в пределах от 35 до 595 Н·м·с);

ω_c – собственная угловая частота колебаний крутильной системы;

A_1, A_d – амплитуды колебаний.

К выходным факторам ТМС относятся эффективность функционирования и выделение теплоты демпфером в окружающую среду.

Количество выделяемого демпфером тепла в течение 1 ч может достигать от 500 до 1000 ккал/ч. Если соотношение приближенного объема выделяемого демпфером тепла к площади поверхности его маховика

удовлетворяет условию: $(Q_{M.сг}/S) \leq 0,55$ ккал/ч, то демпфер не требует искусственного отвода тепла [9].

Внутреннее трение в полимере при цилиндрических нагружениях крутильно-колебательной системы можно описать прямой зависимостью вязкости полимерной жидкости от скорости сдвига в ней.

Согласно [10], момент трения в демпфере $M_{тр}$ складывается из моментов, возникающих на цилиндрической $M_{т.ц}$ и торцевых $M_{т.т}$ поверхностях демпфера:

$$M'_{mp} = M_{т.ц} + 2M_{т.т}, \quad M_{т.ц} = \frac{2\pi D l R_n^2 \eta_t}{\sqrt{1 - \psi D - \Phi D^2 + H D^3}},$$

где $D = \frac{\omega_c (A_1 - A_d) R_n}{h_p}$ – скорость сдвига в полимере;

$$\psi = 0,1864 \cdot 10^{-2} (1 - 0,187 \eta_t),$$

$$\Phi = 0,4871 \cdot 10^{-5} (1 + 0,0145 \eta_t),$$

$$H = 0,3393 \cdot 10^{-8},$$

R_n – наружный радиус маховика демпфера;

h_p – величина зазора между маховиком и корпусом демпфера;

l – ширина маховика демпфера;

η_t – динамическая вязкость силиконовой жидкости при температуре t (°C).

Момент трения на каждой торцевой поверхности равен:

$$M_{т.т} = 2\pi D_0 \eta_t \int_{R_0}^{R_n} \frac{R^3 dR}{\sqrt{1 - \psi D_0 R - \Phi D_0^2 R^2 + H D_0^3 R^3}},$$

$$\text{где } D_0 = \frac{\omega_c (A_1 - A_d)}{h_0};$$

R_0 – внутренний радиус маховика демпфера.

Как показал анализ литературы [11], работоспособность демпферов КК ВТ напрямую зависит от дилатансии, сдвиговой деформации полимера в демпфере. Дилатансия происходит при высоких значениях градиента скорости сдвига в полиметилсилоксановой жидкости (ПЖ) под действием КК при аномалии вязкости. Критическое значение скорости сдвига, обозначенное в [12], составляет $D > 200 \text{ с}^{-1}$ при зазорах в демпфере в пределах 0,35–0,45 мм.

На рис. 1 представлена зависимость скорости сдвига ПЖ D (с⁻¹) от значений величины зазора демпфера h (мм) по наружному диаметру маховика дизеля.

В лаборатории ФГБУН ИХТТМ СО РАН в Новосибирске исследовалось влияние изменения скорости сдвига полимера и температуры на вязкость ПЖ, а также изучалось ее молекулярно-массовое распределение (ММР) с выявлением коэффициента полидисперсности. При этом применялись соответственно ротационный реометр «RheolabQC» и жидкостный хроматограф; в качестве носителя использовался тетрагидрофуран.

Эксперименты показали изменения динамической вязкости полимера η (Па·с) от температуры t при скорости сдвига $D = 1000 \text{ с}^{-1}$ и при $t = 20^\circ\text{C}$ от скорости сдвига D (с⁻¹).

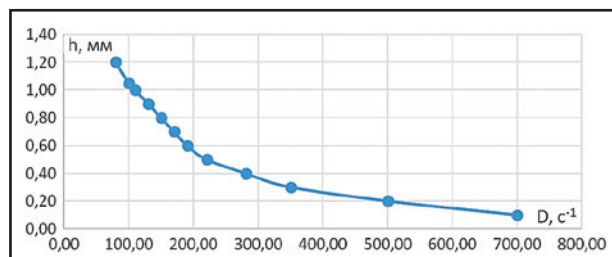


Рис. 1. Зависимость скорости сдвига полиметилсилоксана от величины зазора демпфера дизеля

Зависимости динамической вязкости η от температуры t ($^{\circ}\text{C}$) и скорости сдвига D (c^{-1}) полимера Таблица 1

Марка ПМС-Ж	Температура t , $^{\circ}\text{C}$	Динамическая вязкость η , $\text{Па}\cdot\text{c}$	Кинематическая вязкость, cSt	Скорость сдвига D , c^{-1}
ПМС-10000	20	8583,6	8812,7	1000
	25	7973,1	8185,9	
	50	5900,1	6057,6	
	75	3790,8	3892,0	
	100	2609,2	2678,9	
ПМС-200	20,0	217,3	224,5	1000
	29,0	205,0	211,8	
	37,5	184,2	190,3	
	45,5	162,0	167,4	
	53,5	142,0	146,7	
	60,5	125,5	129,7	
	67,0	111,9	115,6	
	73,5	100,6	104,0	
	80,0	91,2	94,2	

Параметры исследования жидкости:

- марки – ПМС-10000 и ПМС-200;
- диапазон температуры – от 20 до 100 $^{\circ}\text{C}$;
- скорость сдвига – от 10 до 1000 c^{-1} .

Полученные результаты сведены в таблицу 1.

На основе этих данных были построены диаграммы (рис. 2 и 3) изменения динамической вязкости полиметилсилоксана в зависимости от температуры.

На рис. 4 и 5 приведены диаграммы изменения динамической вязкости полиметилсилоксана от скорости сдвига в полимере.

С повышением частоты вращения коленвала меняется амплитуда вынужденных колебаний и увеличива-

ется скорость сдвига в полимере. Сдвиговая деформация полимера приводит к росту полидисперсности и, как следствие, к формированию в нем более низкомолекулярных соединений, что в свою очередь обуславливает снижение работоспособности демпфера, уменьшению коэффициента демпфирования.

С целью получения дополнительной информации о механизме образования и превращения макромолекул в полимере в результате действия нагрузки в трибологической системе (металл–полимер) авторами настоящей статьи изучалось ММР в полимере.

В таблицах 3 и 4, где представлены зависимости молекулярных величин согласно полученным графическим функциям, приняты обозначения: отношение M_w/M_n , именуемое коэффициентом полидисперсности; M_n – среднечисловая молекулярная масса; M_w – средневесовая молекулярная масса; M_z

и M_{z1} – молекулярные массы, определенные по касательной прямой в начале выхода полимера [13].

Дисперсность полимера характеризует кривая ММР (рис. 6 и 7) интегральных и дифференциальных функций. Эти линии выстраиваются в хроматографе автоматически в виде зависимости молекулярной массы (ось абсцисс) от процента полимерных фракций с конкретными молекулярными массами (ось ординат).

Коэффициент полидисперсности для ПМС-10000, согласно полученной графической функции, равен

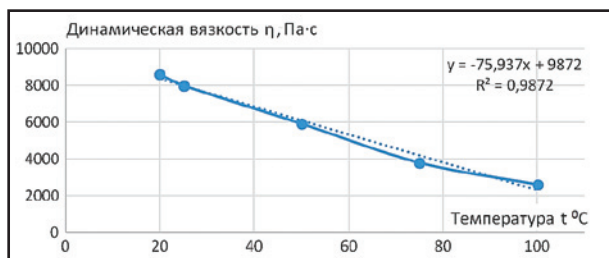


Рис. 2. Зависимость вязкости ПМС-10000 от температуры при скорости сдвига 1000 c^{-1}

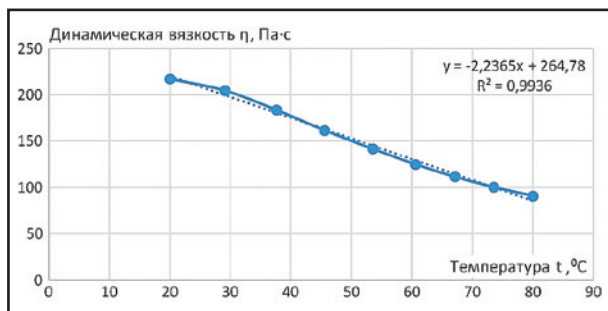


Рис. 3. Зависимость вязкости ПМС-200 от температуры при скорости сдвига 1000 c^{-1}

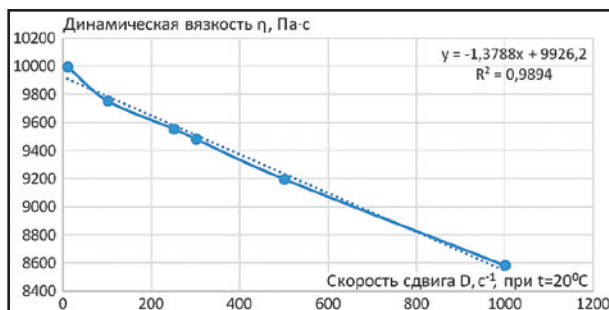


Рис. 4. Изменение динамической вязкости ПМС-10000 от скорости сдвига в полимере

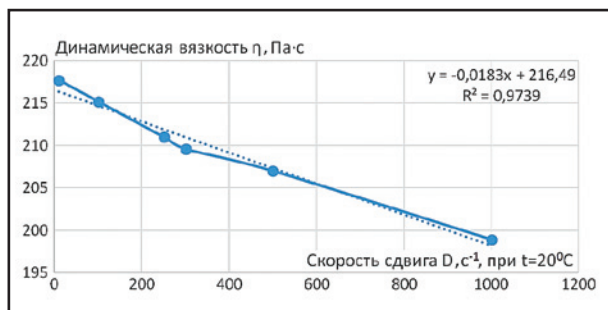


Рис. 5. Изменение динамической вязкости ПМС-200 от скорости сдвига в полимере

Зависимость динамической вязкости η при $t=20^{\circ}\text{C}$ от скорости сдвига D (с^{-1}) полимера Таблица 2

Марка ПМС-Ж	Скорость сдвига D , с^{-1}	Динамическая вязкость η , $\text{Па} \cdot \text{с}$
ПМС-1000	10	10000,00
	100	9755,90
	250	9556,40
	300	9484,79
	500	9198,60
	1000	8583,60
ПМС-200	10	217,7
	100	215,18
	250	210,98
	300	209,58
	500	206,98
	1000	198,90

Зависимость величин ММР ПМС-10000 Таблица 3

M_n	M_w	M_z	M_{z1}	M_w/M_n	M_z/M_w	%
14327	31518	41615	49036	2,19987	1,32034	100,0000

Зависимость величин ММР ПМС-200 Таблица 4

M_n	M_w	M_z	M_{z1}	M_w/M_n	M_z/M_w	%
5506	10255	14839	19322	1,86239	1,44706	100,0000

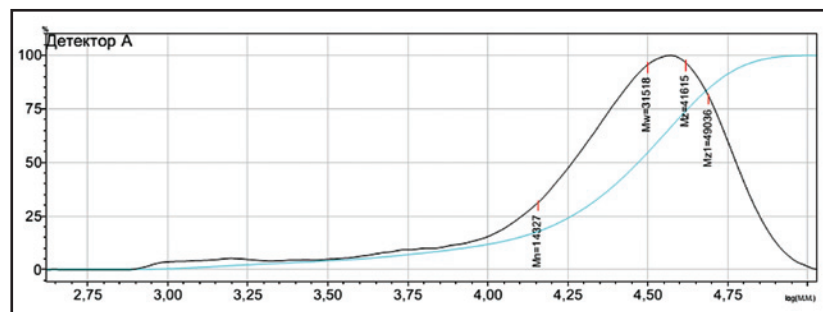


Рис. 6. Кривая ММР для ПМС-10000

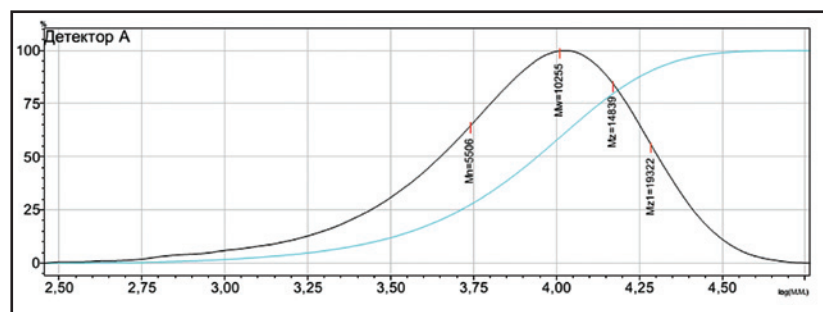


Рис. 7. Кривая ММР для ПМС-200

$M_w/M_n=2,19987$, для ПМС-200 – $M_w/M_n=1,86239$ при скорости сдвига в полимере в пределах $D=200 \text{ с}^{-1}$.

Данные соотношения средневесовой к среднечисловой молекулярной массе находятся в пределах нормативного значения $M_w/M_n=2,0$. Это характеризует

стабильное физико-химическое состояние рассматривавшегося полимера.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Ю.К. Машков. Трибофизика металлов и полимеров (монография). – ОмГТУ, 2013. – 240 с.
2. Разработка модели трибологической системы контактирования деталей пар трения / Польский Е.А., Сорокин С.В. // Вестник БГТУ, 2006. – № 2. – с. 80-82.
3. В.П. Тихомиров, О.А. Горенко, В.В. Порошин. Трибология: методы моделирования процессов (учебник и практикум для академического бакалавриата, 2-е изд., испр. и доп.) – М.: Юрайт, 2018. – 239 с.
4. Dynamic characterization of the torsional vibration damper using quasi-static torque loading test/ С. Kaplan, T. Karacay //Researchgate, october 2018.
5. Torsional vibration of crankshafts: effects of non-constant moments of inertia/ С. Delprete, G. Genta, E. Brusa // Researchgate, august 2018.
6. В.П. Ржевский, Ф.В. Паровой, Д.С. Лежин, В.С. Мелентьев, А.С. Гвоздев. Исследование крутильных колебаний валов (уч. пособие). – Самара: СГАУ, 2011. – 40 с.
7. Специальные устройства снижения амплитуды крутильных колебаний коленчатых валов / Никишев А.А., Петрученко А.Н., Предко А.В. // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии (сб. научн. статей). 2023. – Вып. № 5. – с. 87-97.
8. Экспериментальное определение технического состояния валовых линий судовых энергетических установок по крутильным колебаниям / Глушков С.С., Лебедев О.Б. // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2017. – № 1-2. – с.70- 74.
9. П.А. Истомин. Крутильные колебания в судовых ДВС. – Л.: Судостроение, 1968. – 303 с.
10. Расчет гасителей крутильных колебаний коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания / В.Ф. Дрозденко // Двигателестроение. 2010. – № 2(240). – с.7-10.
11. Исследования влияния характеристик полиметилсилоксановой жидкости на работоспособность силиконового демпфера судовой энергетической установки/ Бородина О.Ю., Глушков С.П., Панова А.Н. //Речной транспорт (XXI век). 2023. – № 4(108). – с.47-50.
12. А.Н. Гоц. Крутильные колебания коленчатых валов автомобильных и тракторных двигателей (уч. пособие). – Владимир: ВГУ, 2008. – 199 с.
13. Н.К. Барамбойм. Механохимия высокомолекулярных соединений. – М.: Химия, 1978. – 384 с.

УЧРЕЖДЕНИЕ: Сибирский государственный университет водного транспорта (СГУВТ)

ТЕМА: Об использовании биотоплива в качестве горючего в дизельном двигателе речного судна

АВТОРЫ: Б.О. ЛЕБЕДЕВ, д.т.н., профессор; О.Б. ЛЕБЕДЕВ, к.т.н.;
Е.В. ЖЕРДЕВА, аспирант

УДК 620.9;629.5

Основным источником энергии для речного флота пока является дизельное топливо, которое имеет большое влияние на качество работы теплового двигателя и всей топливной системы в целом.

Перспективы совершенствования данного горючего, предвосхищающие радикальные изменения его состава или удешевление производства, в обзорах аналитиков практически не просматриваются, поскольку использование этих углеводородов не соответствует последним экологическим мировым стандартам, и мало кто занимается улучшением экологических качеств минерального топлива.

В стратегических документах России задачей развития энергетического сектора в сфере экологии и противодействия изменениям климата обозначено сдерживание роста и уменьшение негативного воздействия добычи, производства, транспортировки и потребления энергоресурсов на окружающую среду, климат и здоровье людей.

По весьма приблизительным подсчетам ежегодно судоходная отрасль расходует около 400 млн т нефтепродуктов, а это – 10% затрат всего транспортного сектора на планете; и до 2020 г. считалось, что водная коммуникация является одним из самых сильных источников загрязнения атмосферы.

Одно из важных условий снижения вредного воздействия на окружающую среду от выхлопных газов дизельных двигателей – увеличение производства высококачественных моторных биотоплив с улучшенными экологическими характеристиками, соответствующими международным нормам и стандартам.

Государственная стратегия энергетического развития определяется двумя основными документами:

- Доктриной энергетической безопасности РФ, перечисляющей приоритеты развития национального энергетического комплекса с учетом внешнеполитических вызовов энергетической безопасности [1];

- Энергетической стратегией РФ на период до 2035 г., нацеленной на эффективное использование природных топливно-энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для роста экономики и повышения качества жизни населения страны [2].

В упомянутой Стратегии целью инновационной и научно-технической политики в энергетике среди прочего отмечена необходимость решения ряда задач:

- воссоздание и развитие научно-технического потенциала, включая фундаментальную науку, прикладные исследования и разработки, модернизацию экспериментальной базы и системы научно-технической информации;

- создание благоприятных условий для развития инновационной деятельности, направленной на коренное обновление производственно-технологической базы топливно-энергетического комплекса (ТЭК), ресурсосбережение, повышение экономичности, надежности, безопасности и экологичности энергетических установок и систем, ускоренное развитие использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и улучшение потребительских свойств продукции ТЭК.

Применение жидкого или газообразного биотоплива в поршневых двигателях внутреннего сгорания (ДВС) сегодня является актуальным, поскольку эти системы в значительной степени распространены как для устойчивой выработки электроэнергии, так и для транспорта благодаря их гибкости и простоте использования.

Улучшение процесса горения нетрадиционного топлива и усиление контроля за ним необходимы для достижения высокой энергоэффективности без внесения существенных изменений в конструкцию двигателя или систему подачи топлива [3]. Однако оценочные модели горения, применяемые для ископаемых видов топлива (дизель, бензин, мазут, метан),

построенные на основе огромного количества экспериментальных данных, нередко плохо предсказывают фактическое поведение возобновляемых видов горючего, состав и свойства которых могут изменяться, в том числе в зависимости от технологий производства.

Биодизель – жидкое моторное биотопливо, представляющее собой смесь моноалкильных эфиров жирных кислот, получаемых из триглицеридов (реже свободных жирных кислот) реакцией переэтерификации (этерификации) одноатомными спиртами. Источником триглицеридов могут служить различные растительные масла или животные жиры [4].

Исследованиям использования экологически чистого топлива, в частности биодизельного, в дизельных двигателях, посвящено немало трудов российских и зарубежных ученых. При этом недостаточно хорошо изучены вопросы теоретической и практической оценки показателей эксплуатации мотора, которые характеризовали бы особенности его работы на биодизеле. Кроме того, известные в настоящее время технические решения не в полной мере позволяют адаптировать дизельный двигатель к рассматриваемому альтернативному горючему.

Значит, обозначенные вопросы требуют дальнейших теоретических и экспериментальных исследований на актуальные темы:

- рациональное соотношение компонентов в биодизеле, рекомендуемое к применению в качестве моторного топлива на флоте;

- обоснование использования биодизеля в судовых ДВС по индикаторным, эффективным, экологическим, топливно-экономическим показателям его работы;

- технические решения по оборудованию установок для приготовления биодизеля на речном флоте, конструктивная доработка судового дизеля для перевода на такое горючее;

- оценка влияния биодизеля на эксплуатационные показатели судна.

Решая главную задачу по анализу отечественного и зарубежного опыта применения альтернативных видов топлива, авторы настоящей статьи ориентировались прежде всего на Стратегическую программу по биоэнергетике [5], как на базовый документ, определяющий сценарий инновационного научно-технологического развития биоэнергетической отрасли.

Данная программа нацелена на обоснование актуальности и развитие приоритетных направлений научных исследований и разработок ключевых технологий в области биоэнергетики на принципах импортозамещения с учетом мировых трендов в науке, технологий, рынков для формирования в России устойчивой инновационной технологической основы развития сектора биоэнергетики, повышения его конкурентоспособности и решения конкретных социально-экономических проблем с одновременной диверсификацией и построением «зеленой» экономики (биоэкономики на принципах циркулярной экономики) и переходом от экспорта природных ресурсов к экспорту технологий и высокотехнологичных продуктов.

Растительные масла (рапсовое, подсолнечное, соевое и пальмовое) оказались весьма удачным источником биотоплива для дизельных двигателей [6]. В настоящее время стоимость растительного масла и изготовленного из него горючего сопоставима с ценой нефтяного дизтоплива. Таким образом, в ряде случаев применение альтернативы становится экономически выгодным, особенно в странах богатых растительным маслом.

Для промышленного производства биодизеля сегодня используются различные растительные масла и жиры (из сои, рапса, ятрофы, пальмы, рыжика, водорослей и др., а также отработанные кулинарные масла и животные жиры). Биодизель может применяться как в смеси с традиционным дизтопливом, так и в чистом виде (тогда необходимо внесение конструктивных изменений в двигатель). Различные государства используют 5-7-10-20%-е смеси – соответственно B5-B7-B10-B20.

Наиболее перспективной культурой для производства биодизеля в России считается рапс. С 2001 г. в нашей странекратно выросли его посевы и объемы изготовления масла. По данным Росстата, в 2022 г. площадь составила 2,3 млн га (+39,2% к уровню 2021 г.); валовой

сбор культуры – 4,6 млн т (+63,2%), в том числе озимого рапса – 1,6 млн т.

Биодизель из рапсового масла применяется в качестве самого распространенного смешанного топлива (с традиционным дизелем), прошедшего испытания по его использованию в различных условиях в ряде научных организаций, в том числе МГАУ им. В. П. Горячкина, ВНИИ механизации сельского хозяйства РАСХН, Ульяновской ГСА.

В частности в Рязанском ГАУ им. П.А. Костычева была разработана конструкторская документация на переоборудование трактора «МТЗ-80» для работы на биотопливе на основе рапсового масла, созданы опытные образцы универсального подогревателя и бака для альтернативного горючего.

Россия обладает практически неограниченной биоресурсной базой, пригодной для изготовления топлива для нужд транспорта. Тем не менее, производство жидкого моторного биотоплива в нашей стране пока не получило развития по объективным и субъективным причинам.

Низкий уровень использования ВИЭ в России влечет за собой недостаточность реализации исследовательского потенциала в наиболее актуальных фундаментальных и прикладных направлениях биотехнологии и биоэнергетики.

Развитие производства биодизеля в нашей стране тормозится также по причине недостаточности нормативной базы, налогового регулирования и государственного стимулирования. Введение в 2016 г. стандарта для смесей биодизельного топлива «B6-B20» для дизельных двигателей разных типов, содержащего от 6 до 20% биодизельного топлива в смеси с традиционным дизтопливом, совсем не повлияло на рост производства и рынок альтернативного горючего.

Единичные проекты с минимальными инвестициями в объекты по изготовлению биотоплива в России свидетельствуют об отсутствии позитивных изменений в рассматриваемой сфере на протяжении длительного периода.

Реальные перспективы развития рынка моторных биотоплив могут быть связаны с внедрением новых технологий производства, обеспечивающих конкурентоспособные цены на конечные продукты, при условии поддержки таких проектов со стороны государства. Пока Россия значительно отстает от миро-

вых лидеров в развитии внутреннего рынка жидких биотоплив. Нельзя упускать возможность оперативного создания индустрии экспортно-ориентированного производства биотоплив для транспорта.

Высока вероятность того, что по причине недостатка готовых к внедрению отечественных технологий, материальная база таких производств будет комплектоваться за счет поставок импортного оборудования, в том числе заводов «под ключ», то есть в комплекте с зарубежными технологиями, что заведомо не будет способствовать появлению собственных разработок.

Среди отечественных изготовителей укомплектованных производственных линий стоит выделить компанию «ТехЭкспресс», поставляющую аппаратуру для получения биодизеля. Организация предлагает минизаводы по производству биодизеля из рапса в объеме от 100 т рапса в год, с выходом масла – от 340 л из 1 т рапса. В перечень поставки входят пресс и камерный фильтр, на выходе из которого получается готовое рапсовое масло, пригодное для заливания в топливный бак.

Реальные перспективы развития отрасли по применению моторных биотоплив могут быть связаны с внедрением новых технологий производства, обеспечивающих конкретный сектор экономики. Себестоимость биодизеля собственного изготовления, предназначенного для использования на речном флоте, будет намного ниже цены используемого сегодня дизтоплива.

Перспектива использования биодизеля соответствует Стратегии развития внутреннего водного транспорта РФ на период до 2030 г., где одной из целей обозначено повышение уровня его экологичности.

Дальнейшие исследования рационально направить на решение следующих задач:

- теоретическое изучение параметров рабочего цикла и эксплуатационных показателей СЭУ на минеральном дизтопливе и на биодизеле;

- экспериментальная оценка физико-механических свойств дизтоплива при различных соотношениях биодизеля и обычного углеводородного горючего и характеристики деталей дизельной топливной аппаратуры при работе на дизтопливе; обоснование выбора рационального состава биодизеля по показателям теоретических расче-

тов и физико-механических свойств альтернативного топлива;

– экспериментальная оценка индикаторных, эффективных и экологических показателей СЭУ при работе на биодизеле по сравнению со штатным циклом;

– экспериментальные исследования СЭУ при эксплуатации на традиционном дизтопливе и биодизеле;

– оценка экономических показателей работы СЭУ при замещении дизтоплива биодизелем;

– разработка установки по производству рационального состава биодизеля.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Доктрина энергетической безопасности РФ (утв. указом Президента России от 13.05.2019 г. № 216. 2. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 г. (утв. распоряжением правительства РФ от 09.06.2020 г. № 1523-р.). 3. Состав и теплота сгорания биотоплив, получаемых из растительных масел / Марков В.А., Нагорнов С.А., Девянин С.Н. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Естественные науки». 2012. – № 2. – с.65-80. 4. Биодизель [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.ru.wikipedia.org/wiki/Биодизель. 5. Стратегическая программа исследований по биоэнергетике (ред. 6 перераб. и доп.). – М.: Технологическая платформа «Биоэнергетика». 2021. – 217

с. 6. С.Н. Девянин, В.А. Марков, В.Г. Семенов. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей. – М.: Изд. МГАУ им. В.П. Горячкина, 2008. – 340 с. 7. Альтернативные топлива растительного происхождения / Семенов В.Г., Зинченко А.А. // Химия и технология топлив и масел. 2005. – № 1. – с. 29-34. 8. Глобальная статистика биоэнергетики за 2019 г. 9. Ресурсный потенциал углеводородов: современное состояние, проблемы, пути решения / Лоджевская М.И. // Геология нефти и газа. 2010. – № 5. – с. 35-43. 10. Развитие рынка биотоплива в мире / Хоруженко Е.С., Дорогов В.К. // Инновационная экономика (мат. IV Межд. научн. конф.). – Казань: Бук, 2017. – с. 27-31.

УЧРЕЖДЕНИЕ: Сибирский государственный университет водного транспорта (СГУВТ)

ТЕМА: Применение ГИС-технологий в натуральных исследованиях узлов слияния рек (на примере Сибирского региона)

АВТОРЫ: В.В. ШАМОВА, к.т.н., профессор кафедры СП, ВП и ГТС; В.В. БЕЛЯЕВА, ассистент кафедры СП, ВП и ГТС; С.В. СТУПКО, аспирант кафедры СЭУ; В.В. САЛИКОВ, аспирант кафедры СП, ВП и ГТС; А.В. БОТВИНКОВ, ст. преподаватель кафедры ИС

УДК 627.74

Безопасность судоходства на внутренних водных путях – это базовый принцип, без которого невозможна реализация современных масштабных проектов, направленных на увеличение объемов доставки грузов и пассажиров речным транспортом. Между тем, в настоящее время существуют некоторые проблемы с выполнением комплекса путевых мероприятий по коренному улучшению навигационной ситуации непосредственно на затруднительных участках слияния рек (СР). Данный вопрос представляет интерес как в теоретическом, так и в практическом плане.

В связи с экономической ситуацией и корректировкой технико-экономических показателей в отрасли в целом в последние десятилетия производится не сплошная русловая съемка, а лишь гидрографическая в пределах судового хода и на лимитирующих перекатах, согласно госзаданию. При этом поддержание гарантированных габаритов целесообразно только там, где эксплуатируется флот.

На судоходных отрезках СР определяющим фактором при проектировании путевых работ должна выступать рентабельность перевозок. Но в зоне слияния реки далеко не всегда бывают одного порядка, с одинаковыми гидроморфологическими характеристиками и типами питания. Из-за непрерывного взаимодействия сходящихся водных потоков здесь устанавливается сложный гидрологический режим (в отличие от бесприточных участков). Следовательно, местные гарантированные габариты могут отличаться, и потребуются использование флота с разной осадкой, что приведет к снижению экономических показателей транспортной операции.

Как показал проведенный авторами настоящей ста-

ты анализ морфологических и гидрологических особенностей узлов СР в Сибирском федеральном округе, судоходные условия на более чем 2/3 рассматривавшихся акваторий затруднены для движения флота по причинам наличия перекатов, кривизны фарватера или многорукавности [2, 3]. С учетом подобных сведений обычно обосновывается необходимость в путевых работах.

Традиционно в межнавигационный, осенне-зимний, период создаются и обновляются навигационные карты (НК), планируются путевые мероприятия на предстоящий сезон. Однако принятый порядок приводит к тому, что из-за изменчивости рельефа русел в зонах СР, с постоянным интенсивным гидрологическим переформированием, на отдельных участках данные ранее проведенных съемок нередко оказываются неактуальными на момент издания карт.

Решить такую проблему способны новые методы классификации и улучшения судоходных условий в

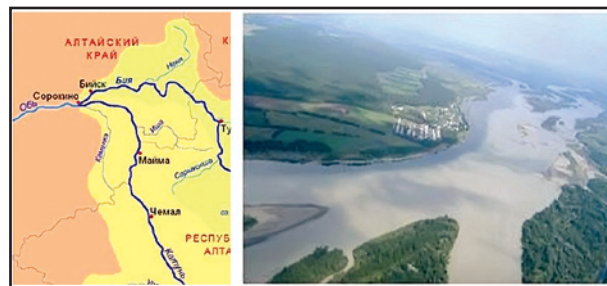


Рис. 1. Слияние рек Бия и Катунь

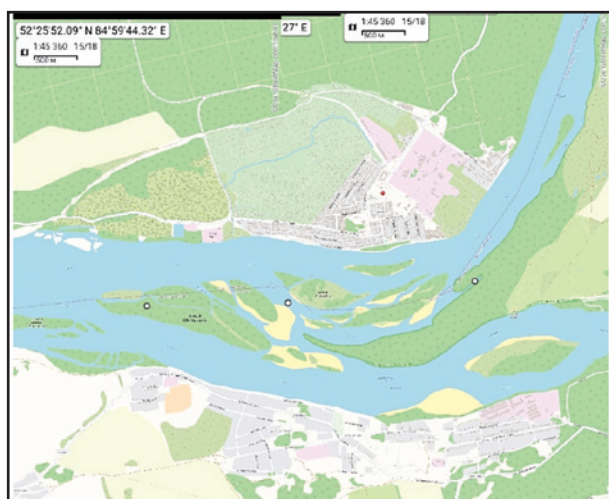


Рис. 2. Растровое изображение слияния рек

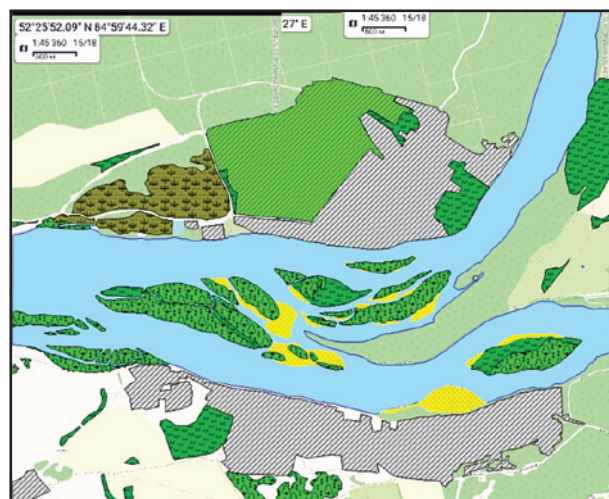


Рис. 3. Нанесенные слои объектов на карте



Рис. 4. Электронная карта

узлах СР, позволяющие снизить экономические затраты при создании эксплуатационных прорезей.

В навигацию 2023 г. в зоне слияния рек Бия и Катунь была выполнена русловая съемка (рис. 1).

Эти реки, а также Обь на участках от истока до г. Барнаул затруднительны для прохождения флота. Левый берег р. Бия и правый берег р. Катунь являются берегами о. Сенной, то есть они пойменные. Часть левого берега Катунь и часть правого берега Оби – коренные, высокие. Русло Оби – сложно-разветвленное, в его левой части расположено устье Катунь, а выше Бийско-Катунской стрелки находится дельта Бии. Скорость течения в устьевой части Бии и Катунь зависит от величины взаимного подпора рек и возрастает, когда уровень воды в них (соответствующий бесподпорному режиму) и скорости течений выравниваются, и далее в одном русле как бы существуют две реки с разными водными массами. Грунт в руслах рек состоит из песка с галькой и гравием; вдоль берегов встречаются камни [1].

Основной переток Катунских вод и их слияние с Бийскими реализуется по среднему рукаву дельты Катунь, расположенному между островами Одинцовский и Нижний Одинцовский; в устье второго находится точка водного пути, принятая за начало отсчета расстояний по оси судовых ходов рек Бия, Катунь и Обь.

Материалы русловой съемки обрабатывались с помощью геоинформационных систем (ГИС). Данный инструмент позволяет анализировать и в надлежащем виде представлять разнообразную информацию о рассматриваемом объекте, отображенном на электронной карте, с его свойствами, включая гидрологические характеристики, собранные различными методами (наземными, воздушными, космическими и другими типами фиксации). На основе сведений об объектах, привязанных к электронной карте исследуемой местности, специалист планирует мероприятия [4].

Последовательность действий оператора такова: выбирается растровое изображение изучаемой области (рис. 2), определяются координаты опорных точек, в базе данных ГИС регистрируется снимок, согласно правилам создания новых слоев, формируются необходимые слои объектов (рис. 3), которые описываются конкретными параметрами.

На рис. 4 показан результат русловой съемки, нанесенный на электронную карту рассматриваемой зоны.

Технологии ГИС, нашедшие широкое применение в исследованиях мирового океана, оказываются востребованными в таких прикладных сферах, как морская и речная навигация, благодаря чему кардинально изменяется подход к управлению флотом. Достоинства электронных карт – достоверность и полнота сведений, а также удобство использования – трудно переоценить в аспекте обеспечения безопасности судоходства.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. В.А. Баула, Р.С. Чалов, Е.М. Плессевич. Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна (монография). – Новосибирск: «РИПЭЛ плюс», 2001. – 300 с.
2. Особенности русловых процессов в узлах слияния рек (на примере Обского бассейна) / Беляева В.В., Пилипенко Т.В. // Речной транспорт (XXI век), 2022. – №1. – с. 57-58.
3. В.М. Ботвинков. Исследование методов улучшения судоходных условий в узлах слияния рек (дисс. канд. наук). – НИИВТ, 1982.
4. В.В. Шамова. ГИС водоемов и водотранспортных объектов (уч.пособ. для студентов). 2-е изд. – Новосибирск: НГАВТ, 2013. – 409 с.

В условиях санкций для России актуальными вызовами и приоритетами являются обеспечение устойчивого роста транспортного комплекса, создание технологического суверенитета и отраслевой импортонезависимости, трансформация транспортно-логистических цепочек.

При этом важный элемент транспортной стратегии – повышение уровня контейнеризации, предполагающее совершенствование портовой инфраструктуры, модернизацию флота, улучшение логистических процессов и развитие мультимодальных маршрутов.

По аналитике компании «BIMCO», объем глобального рынка морских контейнерных перевозок в 2023 г. увеличился: на 0,2% – по сравнению с 2022 г., на 1,5% – по сравнению с 2019 г., то есть до начала пандемии [1]. Наибольшее повышение зафиксировано на транспортном коридоре «Север–Юг».

Согласно [2], процесс морской перевозки контейнеров можно представить в виде множества взаимосвязанных операций, реализующих конкретные функции и представляющих собой последовательность действий, выполняемых операторами судоходной компании.

В рамках настоящей статьи предлагается метод сетевого планирования для построения модели последовательности этих операций, основанный на графике цепи решений не только офисного персонала собственника флота, но и всех причастных к процессам управления структур.

Задача сетевого планирования состоит в том, чтобы графически, наглядно и системно отобразить последовательность и взаимозависимость работ, оптимизировать действия или мероприятия, обеспе-

чивающие своевременное и планомерное достижение поставленной цели, сократить до допустимого минимума продолжительность технологического процесса.

Для отображения и алгоритмизации действий или ситуаций применяются сетевые модели [3] процессов работы оператора, делается анализ распределения времени исполнения всех процедур в зависимости от изменения оказывающих влияние на систему внешних факторов, которые также изучаются.

Для создания сетевого графика (СГ) вначале строится матрица, отражающая последовательность событий работы операторов, где определено время выполнения отдельных процедур [4].

СГ – это ориентированный граф без контуров, его дуги имеют одну или несколько числовых характеристик. Дугами изображают работы, а вершинами – события. Работа – любой трудовой процесс или действие, сопровождающееся затратами времени и ресурсов. Событие – итог некоторого процесса, результат выполнения предшествующих ему работ.

В рамках исследования на основе данных таблицы 1 строился СГ последовательности и продолжительности работ (для 1-го и 2-го блоков, рис. 1 и 2; цифры над стрелками обозначают коды работ) сотрудников контейнерной линии; выявлялся критический путь в сетевой модели, проводилась оптимизация и создавалась диаграмма Ганта.

Любая последовательность работ называется «путем». Путь от начального до завершающего события называется «полным». Полный путь, имеющий наибольшую протяженность во времени, называется «критическим». Его длина называется «критическим временем» ($t_{кр}$). Путь от исходного до промежуточного события называется «предшествующим», а от промежуточного до завершающего – «последующим».

К основным временным параметрам СГ относятся резервы времени событий и работ, они рассчитываются через их ранние и поздние сроки.

Ранним сроком свершения события $t_p(j)$ называется «самый ранний момент», к которому завершаются все работы, предшествующие этому событию, и рассчитывается по формуле:

$$t_p(j) = \max_{(i,j) \in U_j^+} (t_p(i) + t(i,j)),$$

где $(i,j) \in U_j^+$ – множество работ, предшествующих событию j .

$t(i,j)$ – продолжительность работы (i,j) .

Поздним сроком свершения события $t_n(i)$ называется «самый поздний момент времени», необходимый для завершения всех работ, следующих после этого события, и определяется так:

$$t_n(i) = \min_{(i,j) \in U_i^-} (t_n(j) - t(i,j)),$$

где $(i,j) \in U_i^-$ – множество работ предшествующих событию i .

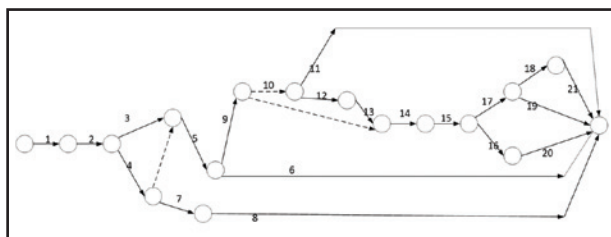


Рис. 1. Сетевой график для 1-го блока операций

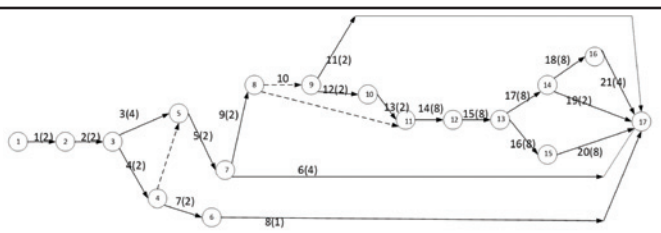


Рис. 2. Сетевой графика для 1-го блока операций с продолжительностью по времени соответствующих работ

**Последовательность и продолжительность видов работ сотрудников,
обслуживающих контейнерную линию**

Таблица 1

№	Вид работы	Время, ч	Пред. работы	Исполнитель
1-й блок				
Подтверждение букинга от оперативного отдела				
1	Оперативное реагирование на запросы. Обработка поступившего букинга. Информирование клиента о фидерном расписании	2		1-й оператор
2	Согласование принятия линией груза (негабаритного, опасного)	2	1	1-й оп.
3	Согласование возможности включить партию контейнеров в карго-план на планируемый рейс	4	2	1-й оп.
4	Проверка по наличию порожнего оборудования	2	2	1-й оп.
5	Подтверждение букинга	2	3, 4	1-й оп.
6	Оперативное реагирование на запросы	4	5	1-й оп.
Выдача оборудования				
7	Стыковка импортных и экспортных потоков	2	4	2-й оп.
8	Выдача порожнего контейнера из стока линии под затарку груза	1	7	2-й оп.
Оформление погрузки на судно				
9	Передача информации о букинге на терминал	2	5	2-й оп.
10	Получение сертификата VGM, инструкций на коносамент (фиктивная работа)	0	9	2-й оп.
11	Внесение данных о VGM	2	10	2-й оп.
12	Загрузка инструкций на коносамент, формирование драфта (проекта) коносамента	2	10	2-й оп.
13	Получение подтверждения коносамента от клиента	2	12	2-й оп.
14	Проверка документов от экспедиторов для отправки груза	8	9, 13	2-й оп.
15	Оформление документов на отход судна	8	14	2-й оп.
16	Оформление счетов по обработке груза в порту погрузки (демередж, детеншн)	8	15	1-й оп.
Контроль за доставкой груза до порта назначения				
17	Выдача фидерного коносамента	8	15	1-й оп.
18	Контроль за получением оплаты фрахта	8	17	1-й оп.
19	Рассылка нотисов клиенту о прибытии фидерного судна	2	17	1-й оп.
Финансовый отдел				
20	Расчетные операции с терминалом погрузки	8	16	Спец. фин. отд.
21	Обработка запросов оперативного отдела	4	18	Спец. фин. отд.
2-й блок				
Оформление выдачи груза в порту назначения				
22	Предварительное информирование (уведомление таможенного органа о перемещении товаров и транспортных средств через таможенную границу)	2	19	3-й оп.
23	Уведомление терминала о прибытии контейнера	2	19	3-й оп.
24	Подготовка документов для приходящего судна	4	22, 23	3-й оп.
25	Номинация экспедитора на импортный груз	2	19	3-й оп.
26	Получение оригинала коносаментов/ телекс-релиза	2	23	3-й оп.
27	Выдача копии фидерного коносамента со штампом «Груз таможенный», удостоверяющий, что груз прибыл в порт и находится под таможенным контролем	8	26	3-й оп.
28	Оформление счетов по расходам, связанным с обработкой груза в порту назначения	4	27	3-й оп.
29	Выдача релиза для вывоза груза из порта	2	28	3-й оп.
30	Принятие порожних контейнеров	2	29	3-й оп.
Агентский отдел				
31	Получение пакета судовых и транспортных документов (коносаменты, грузовой план, карантинные и санитарные свидетельства)	2	26	Агент
32	Документальное оформление прибывающего судна и подготовка приемосдаточных операций с грузом	4	31	Агент
33	Оформление отгрузочной инструкции оператору терминала (разнарядки)	4	32	Агент
34	Подготовка таможенных документов на грузы, выполнение таможенных формальностей	4	33	Агент
Финансовый отдел				
35	Расчеты с терминалом выгрузки	4	28	Спец.фин.отд.
36	Выставление счетов на клиента	8	35	Спец.фин.отд.
37	Оформление бухгалтерских документов	8	36	Спец.фин.отд.



**Сроки выполнения работ
и резервы времени для 1-го блока**

Таблица 2

Рабо- та	Продол- житель- ность, ч	Сроки выполнения работ				Резерв времени работы
		Ранние		Поздние		Полный
		Начало	Окончание	Начало	Окончание	
1-2	2	0	2	0	2	0
2-3	2	2	4	2	4	0
3-4	2	4	6	6	8	2
3-5	4	4	8	4	8	0
4-5	0	6	6	8	8	2
4-6	2	6	8	49	51	43
5-7	2	8	10	8	10	0
6-17	1	8	9	51	52	43
7-8	2	10	12	10	12	0
8-9	0	12	12	12	12	0
8-11	0	12	12	16	16	4
9-10	2	12	14	12	14	0
9-17	2	12	14	50	52	38
10-11	2	14	16	14	16	0
11-12	8	16	24	16	24	0
12-13	8	24	32	24	32	0
13-14	8	32	40	32	40	0
13-15	8	32	40	36	44	4
14-16	8	40	48	44	52	4
14-17	2	40	42	50	52	10
15-17	8	40	48	44	52	4
16-17	4	48	52	48	52	0

Если ранние и поздние сроки свершения событий критического пути (критических событий) совпадают, то $t_p(K_{pum.}) = t_n(K_{pum.})$.

Отдельная работа характеризуется различными возможными сроками выполнения:

– ранний срок начала:

$$t_{pn}(i, j) = t_i \quad ; \quad (1)$$

– ранний срок окончания:

$$t_{po}(i, j) = t_i + t(i, j) \quad ; \quad (2)$$

– поздний срок окончания:

$$t_{no}(i, j) = t_j^* \quad ; \quad (3)$$

– поздний срок начала:

$$t_{nn}(i, j) = t_j^* - t(i, j) \quad ; \quad (4)$$

– полный резерв:

$$R_{nn}(i, j) = t_j^* - t_i - t(i, j) \quad (5)$$

В таблице 2 даны определенные сроки выполнения работ и резервы времени выполнения каждой процедуры.

Критический путь для 1-й части проекта будет содержать работы: 1→2→3→5→7→8→10→12→13→14→15→17→19. Его длительность составляет 52 ч.

Далее строится линейный график проекта. На нем

каждая работа (i, j) изображается в привязке к оси времени Ot горизонтальным отрезком, его длина в соответствующем масштабе равна продолжительности работы t_{ij} . Начало каждой процедуры совпадает с ранним сроком свершения ее начального события. Работы представляются в той же последовательности, что и на СГ.

СГ для 2-го блока работ показаны на рис. 4 и 5.

Нумерация событий проводилась в соответствии с их расположением на графике. Был получен упорядоченный СГ, на нем над стрелками в скобках указана продолжительность соответствующих работ.

В таблице 3 даны определенные сроки выполнения работ и резервы времени.

Таким образом, критический путь для 2-й части проекта содержит работы: 23→26→27→28→35→36→37. Его длительность – 36 ч.

На рис. 6 приведена диаграмма Ганта для 2-й части проекта.

Для описания логики взаимодействия ресурсов разного класса в ходе выполнения процедур осуществлялась формализация операций при организации букирования и управления перевозкой контейнера, определялся критический путь процесса, имеющий наибольшую протяженность во времени.

Описанный метод, позволяющий повысить эффективность и точность работы операторов контейнерных линий, сократить время и затраты на организацию доставки каждого контейнера, может быть использован как в автоматических системах управления логистическими процессами, так и в ручном режиме для принятия менеджерами решений на основе анализа данных.

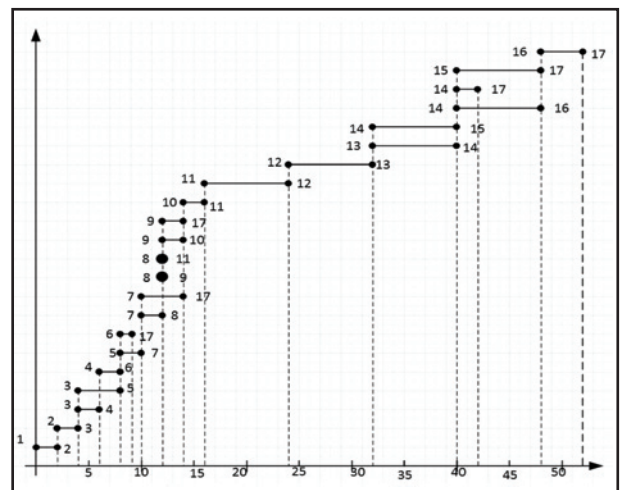


Рис. 3. Диаграмма Ганта для 1-го блока работ

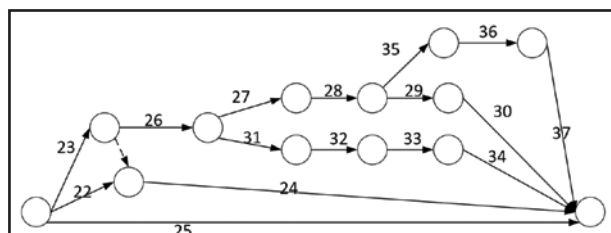


Рис. 4. Сетевой график для 2-го блока операций

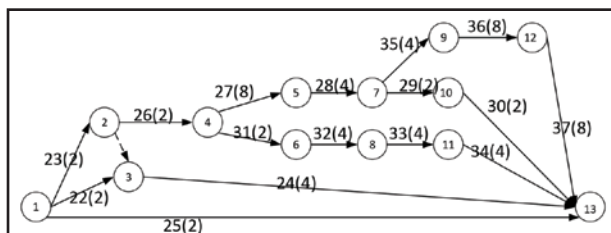


Рис. 5. Сетевой график для 2-го блока операций с продолжительностью по времени соответствующих работ

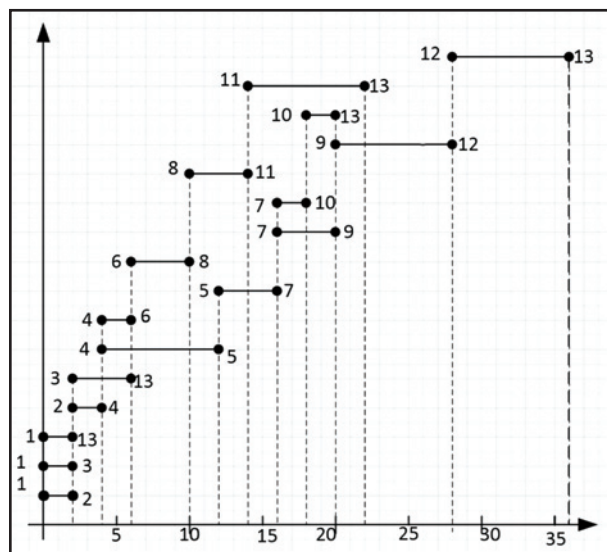


Рис. 6. Диаграмма Ганта для 2-го блока работ

Сроки выполнения работ и резервы времени для 2-го блока

Рабо- та	Продол- житель- ность, ч	Сроки выполнения работ				Резерв времени работы
		Ранние		Поздние		Полный
		Начало	Окончание	Начало	Окончание	
1-2	2	0	2	0	2	0
1-3	2	0	2	30	32	30
1-13	2	0	2	34	36	34
2-3	0	2	2	32	32	30
2-4	2	2	4	2	4	0
3-13	4	2	6	32	36	30
4-5	8	4	12	4	12	0
4-6	2	4	6	22	24	18
5-7	4	12	16	12	16	0
6-8	4	6	10	24	28	18
7-9	4	16	20	16	20	0
7-10	2	16	18	32	34	16
8-11	4	10	14	28	32	18
9-12	8	20	28	20	28	0
10-13	2	18	20	34	36	16
11-13	4	14	18	32	36	18
12-13	8	28	36	28	36	0

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Containership report December 2023 [Электронный документ]. – Режим доступа: www.bimco.org/news/market_reports/container-reports/2023/202312-containership-report. 2. А.Л. Кузнецов, А.В. Кириченко, О.В. Соляков, А. Д. Семенов. Порто-ориентированная логистика (монография) – М.:

Таблица 3

«Моркнига», 2021. – 247 с. 3. С.Н. Черняева, Л.А. Коробова, В.В. Денисенко. Имитационное моделирование систем. – Воронеж: «ВГУИТ», 2016. – 94 с. 4. Сетевое моделирование процесса фрахтования танкеров как элемент цифровизации коммерческой работы на водном транспорте / Дьяконова М.Д. // Вестник ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова. 2020. – т. 12, № 3. – с. 504-514. 5. Анализ особенностей работы операторов судоводных компаний и перспективы применения цифровых технологий при принятии решений / Морозова Д.А. // Мат-лы конференции «Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта России» (20 мая 2021 г.). – СПб: «ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова», 2021. – ч. 2. – 192 с. 6. Решение задачи прогнозирования и оперативного управления работой морской контейнерной линии на основе имитационного моделирования / Фетисов В.А., Майоров Н.Н. // Вестник ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова. 2015. – № 3(31). – с. 193-201. 7. А.Л. Кузнецов, А.В. Кириченко, О.В. Соляков, А.Д. Семенов Морские контейнерные перевозки (монография). – М.: «Моркнига», 2019. – 41 с. 8. А. В. Кириченко, А. Л. Кузнецов, А. А. Давыденко, С. В. Латухов, В. А. Никитин Морская контейнерная транспортно-технологическая система (монография). – СПб: «МАНЭБ», 2017. – 310 с. 9. Направления цифровизации транспортной отрасли / Кузнецов А.Л., Щербакова-Слюсаренко В.Н. // Вестник ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова. 2018. – № 6(52). – с. 1179-1190. 10. Перспективы развития контейнерных систем на крупных полигонах транспортной сети / Изотов О.А. // Речной транспорт (XXI век). 2021. – № 3(99). – с. 52-54.

АННОТАЦИИ

Методика оценка комфортабельности туристических речных судов / Роннов Е.П., Михеев Д.А., Кочнев Ю.А. // Речной транспорт (XXI век). 2024. – № 2 (110). – с. 26-29.

Проводится анализ показателей комфортабельности туристических речных судов. Предлагается методика оценки их уровня с целью присвоения класса «звездности» по аналогии с системой классификации береговых гостиниц.

Ключевые слова: туристическое речное судно, комфортабельность, методика, классификация.

Контакты: kaf_ptps@vsuwt.ru, mikheev_2001@mail.ru, tmnnkoch@mail.ru

Рассредоточение стока по рукавам среди островов сложноразветвленного русла средней и нижней Лены, его изменчивость и учет при выполнении путевых мероприятий / Чалов Р.С., Сахаров А.И., Голубцов Г.Б., Куракова А.А., Семаков В.А. // Речной транспорт (XXI век). 2024. – № 2 (110). – с. 30-38.

Выявляются основные закономерности рассредоточения стока среди островов, образующих очень сложные по морфологии параллельно-рукавные разветвления, его изменчивость во времени и учет при обосновании мероприятий по обеспечению безопасности судоходства, выполнению дноуглубительных работ.

Ключевые слова: нижняя Лена, сложноразветвленное русло, сток воды, дноуглубление, безопасность судоходства.

Контакты: rschalov@mail.ru, saharovAI@abvvp.ru, georgy1995golubcov@yandex.ru, a.a.kurakova@mail.ru, vsemakov@yandex.ru

Особенности нормативного регулирования безопасности плавания автономных судов внутреннего водного транспорта / Дмитриев В.И., Каретников В.В., Миляков Д.Ф. // Речной транспорт (XXI век). 2024. – № 2 (110). – с. 40-41.

Рассматриваются вопросы нормативного регулирования процесса обеспечения безопасности плавания автономных судов внутреннего водного транспорта.

Ключевые слова: безопасность, судоходство, «человеческий фактор», автономное судно, центр дистанционного управления.

Контакты: vldmi@mail.ru, spguwc-karetnikov@yandex.ru, denism@navis.spb.su

Анализ развития современных критериев остойчивости судна в неповрежденном состоянии / Осокин М.В., Жуков М.В., Тихонов В.И. // Речной транспорт (XXI век). 2024. – № 2 (110). – с. 41-46.

Рассматриваются проблемы и перспективы практического применения второго поколения критериев динамической остойчивости судна в неповрежденном состоянии. Предлагается метод уточнения момента инерции действующей ватерлинии на волне.

Ключевые слова: момент инерции, действующая ватерлиния, параметрический резонанс, качка, волнение, остойчивость судна.

Контакты: kaf_sbs@vsuwt.ru

Обзор проблематики энергетической эффективности морских судов и способов сокращения выбросов ими парниковых газов / Андрищенко С.П., Дмитриев А.С., Тельцов Д.С., Лебедев О.Б., Иванчик С.Н. // Речной транспорт (XXI век). 2024. – № 2 (110). – с. 46-48.

Рассматриваются введенные международной морской организацией (ИМО) необходимые меры, позволяющие сократить выбросы вредных веществ с отработавшими газами судовых дизелей.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, морские суда, парниковые газы, экология.

Контакты: s.p.andryushenko@nsawt.ru, omen669@mail.ru, telcov.dmitrii@mail.ru, razor1987@list.ru, ivan_ilija@ngs.ru

Трибомеханическая система динамического гасителя крутильных колебаний вязкого трения судового дизеля / Бородина О.Ю., Глушков С.П. // Речной транспорт (XXI век). 2024. – № 2 (110). – с. 48-51.

Анализируются физико-химические показатели полимера в динамическом гасителе крутильных колебаний вязкого трения кривошипно-шатунного механизма судового дизеля с целью определения работоспособности и продления срока службы демпфера.

Ключевые слова: крутильные колебания, демпфер вязкого трения, трибологическая система, полимер, молекулярно-массовое распределение.

Контакты: Borodinaoayu@mail.ru, rcpl.glushkov@yandex.ru

Об использовании биотоплива в качестве горючего в дизельном двигателе речного судна / Лебедев Б.О., Лебедев О.Б., Жердева Е.В. // Речной транспорт (XXI век). 2024. – № 2 (110). – с. 52-54.

Проводится анализ состояния и перспектив применения биодизельного топлива как более экологичной и экономичной альтернативы традиционного углеводородного горючего на речном флоте.

Ключевые слова: биодизель, речной флот, дизельный двигатель, экологичность, экономичность.

Контакты: lebedevbo@list.ru, razor1987@list.ru, jelevi@mail.ru

Применение ГИС-технологий в натуральных исследованиях узлов слияния рек (на примере Сибирского региона) / Шамова В.В., Беляева В.В., Ступко С.В., Саликов В.В., Ботвинков А.В. // Речной транспорт (XXI век). 2024. – № 2 (110). – с. 54-55.

Приводится пример использования ГИС-технологии при натуральном исследовании узла слияния рек Бия и Катунь. Формируется электронная карта рассматриваемого участка с целью планирования мероприятий по улучшению местных условий судоходства.

Ключевые слова: узел слияния рек, безопасность судоходства, ГИС, карта.

Контакты: vera-shamova@rambler.ru, pobeda854@mail.ru, stanislav.st54@ssvl.ru, badvitos@gmail.com, a.v.botvinkov@nsawt.ru

Модель контейнерной линии на основе теории графов в контексте стратегического планирования / Морозова Д.А. // Речной транспорт (XXI век). 2024. – № 2 (110). – с. 56-59.

Предлагается метод сетевого планирования для построения модели множества взаимосвязанных операций, реализующих конкретные функции и представляющих собой последовательность действий, выполняемых операторами судоходной компании.

Ключевые слова: контейнерная линия, линейное судоходство, оптимизация, сетевой график.

Контакты: morozovada@gumrf.ru

ANNOTATIONS

The method of estimation comfort of tourist river vessels / E. Ronnov, D. Mikheev, Y. Kochnev // River transport (XXIst century). 2024. – № 2 (110). – p. 26-29.

Makes analysis of comfort indicators of tourist river vessels. Suggests the method to estimate their level in order to assign a «stardom» class by analogy with coastal hotels classification system.

Key words: tourist river vessel, comfort, method, classification.

Contacts: kaf_ptps@vsuwt.ru, mikheev_2001@mail.ru, tmnnkoch@mail.ru

The dispersion of water flow along arms among islands of complexly branched riverbed of middle and lower Lena, its variability and consideration in realisation dredging / R. Chalov, A. Sakharov, G. Golubtsov, A. Kurakova, V. Semakov // River transport (XXIst century). 2024. – № 2 (110). – p. 30-38.

Reveals main patterns of water flow dispersion among islands forming very complex parallel-sleeve branches in morphology, its variability in time and consideration in substantiation measures to provide safety of navigation, realisation dredging.

Key words: middle and lower Lena, complicated riverbed, water flow, dredging, safety of navigation.

Contacts: rschalov@mail.ru, saharovAI@abwvp.ru, georgy1995golubcov@yandex.ru, a.a.kurakova@mail.ru, vsemakov@yandex.ru

The features of normative regulation for safety navigation of autonomous vessels of inland water transport / V. Dmitriev, V. Karetnikov, D. Milyakov // River transport (XXIst century). 2024. – № 2 (110). – p. 40-41.

Describes questions about normative regulation for process to provide safety navigation of autonomous vessels of inland water transport.

Key words: safety, shipping, «human factor», autonomous vessel, Center for remote control.

Contacts: vlidmi@mail.ru, spguwc-karetnikov@yandex.ru, denism@navis.spb.su

The analysis of development of modern criteria of stability of vessel in undamaged state / M. Osokin, M. Zhukov, V. Tikhonov // River transport (XXIst century). 2024. – № 2 (110). – p. 41-46.

Describes the problems and prospects of practical application of second generation of criteria of stability of vessel in undamaged state. Suggests the method to correct moment of inertia of acting waterline on wave.

Key words: moment of inertia, actual waterline, parametric resonance, pitching, excitement, vessel's stability.

Contacts: kaf_sbs@vsuwt.ru

The review of issues of energy efficiency of marine vessels and ways to reduce their greenhouse gas emissions / S. Andryushenko, A. Dmitriev, D. Tel'tsov, O. Lebedev, S. Ivanchik // River transport (XXIst century). 2024. – № 2 (110). – p. 46-48.

Describes introduced by International maritime organization (IMO) necessary measures to reduce emissions of harmful substances from exhaust gases of marine diesel engines.

Key words: energy efficiency, marine vessels, greenhouse gases, ecology.

Contacts: s.p.andryushenko@nsawt.ru, omen669@mail.ru, telcov.dmitrii@mail.ru, razor1987@list.ru, ivan_ilija@ngs.ru

Tribomechanical system of dynamic suppressor of torsional vibrations with viscous friction of ship's diesel / O. Borodina, S. Glushkov // River transport (XXIst century). 2024. – № 2 (110). – p. 48-51.

Analyses physicochemical parameters of polymer in dynamic suppressor of torsional vibrations with viscous friction of crank mechanism of ship's diesel in order to determine operability and prolong service life of damper.

Key words: torsional vibrations, viscous friction damper, tribological system, polymer, molecular weight distribution.

Contacts: Borodinaoyu@mail.ru, rcpl.glushkov@yandex.ru

About using biofuel as a combustible in diesel engine of river vessel / B. Lebedev, O. Lebedev, E. Zherdeva // River transport (XXIst century). 2024. – № 2 (110). – p. 52-54.

Analyses state and prospects of using biodiesel fuel as a more environmentally friendly and economical alternative to traditional hydrocarbon fuel in river fleet.

Key words: biodiesel, river fleet, diesel engine, ecology, economy.

Contacts: lebedevbo@list.ru, razor1987@list.ru, jelevi@mail.ru

Application of GIS-technologies in natural studies of river confluence nodes (on the example of Siberian region) / V. Shamova, V. Belyaeva, S. Stupko, V. Salikov, A. Botvinkov // River transport (XXIst century). 2024. – № 2 (110). – p. 54-55.

Shows the example of using GIS-technologies in natural studies of confluence nodes of rivers Biya and Katun'. Formation of electronic map of this section for the purpose of planning measures to improve local navigable conditions.

Key words: river confluence nodes, safety of navigation, GIS, map.

Contacts: vera-shamova@rambler.ru, pobeda854@mail.ru, stanislav.st54@ssvl.ru, badvitos@gmail.com, a.v.botvinkov@nsawt.ru

The container line model based on graph theory in context of strategic planning / D. Morozova // River transport (XXIst century). 2024. – № 2 (110). – p. 56-59.

Suggests network planning method to build model of set of interrelated operations that implement specific functions and represent sequence of actions performed by operators of shipping company.

Key words: container line, linear shipping, optimization, network schedule.

Contacts: morozovada@gumrf.ru

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ! РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА ОБЪЯВЛЯЕТ КОНКУРС ОТРАСЛЕВОЙ ФОТОГРАФИИ.

Окружающий мир и происходящие в нем события, определенно, никого не могут оставить равнодушным и безучастным. Невольно в какой-то момент хочется запечатлеть увиденное и поделиться им с друзьями и коллегами. Благо какая-нибудь фотокамера («мыльница», встроенная в мобильный телефон или планшетный компьютер) всегда под рукой. Разумеется, гораздо лучше, когда имеется аппаратура посерьезнее. А чтобы сделать необычный снимок, порой достаточно оказаться в нужное время в нужном месте плюс немного желания и творческого поиска. Ведь у каждого человека есть талант, надо только уметь его раскрыть.

В первую очередь водники (в силу специфики профессии), а также любители речного флота во время работы (или на отдыхе) чаще других становятся очевидцами красивого природного явления, уникальной операции на судне или в порту, эксплуатации редкого экземпляра транспортного средства и т.д.

Теперь у каждого, вне зависимости от статуса и должности, есть возможность поделиться своими наблюдениями.

Присылайте ваши фото (в любом размере и качестве) на электронную почту: rekarus@bk.ru с пометкой «На фотоконкурс», не забывая указывать название фото, дату и место съемки, координаты для связи, имя и фамилию автора. Самые интересные из них будут опубликованы в нашем журнале.

УДАЧИ ВАМ И ЯРКИХ СНИМКОВ!

